

HTWS Zittau / Görlitz (FH)
University of Applied Sciences
FG Ökologie & Umweltschutz

INSTITUT FÜR OSTSEEFORSCHUNG WARNEMÜNDE
an der Universität Rostock BALTIC SEA RESEARCH INSTITUTE



Die Abhängigkeit der benthischen Besiedlung ausgewählter Bereiche der Pommernbucht von ausgewählten Umweltfaktoren

Diplomarbeit

zur Erlangung des Grades

Diplom – Ingenieur (FH)

des Studienganges

Ökologie und Umweltschutz
(Spezialisierung Naturschutz &
Landschaftsplanung)

der Hochschule Zittau/Görlitz (FH) – University of Applied Sciences

vorgelegt von

Michael Glockzin

geboren am 29.03.1972 in Schönebeck/Elbe

Referent: Prof. Dr. rer. nat. R. Schulz
(Hochschule Zittau/Görlitz, FH)

Koreferent: Dr. rer. nat. M. L. Zettler
(Institut für Ostseeforschung Warnemünde)

Zittau, 01.02.2006

Sperrvermerk

Die vorliegende Diplomarbeit enthält vertrauliche Daten des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW). Veröffentlichungen oder Vervielfältigungen – auch nur auszugsweise – sind ohne die ausdrückliche Genehmigung des Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) nicht gestattet. Die Diplomarbeit ist nur den Korrektoren sowie den Mitgliedern des Prüfungsausschusses zugänglich zu machen.

„Everybody believes in the exponential law of errors; the experimenters, because they think it can be proved by mathematics; and the mathematicians, because they believe it has been established by observation.“

LIPPMAN in a letter to POINCARÉ

Kurzreferat

Kausale Zusammenhänge zwischen benthischer Besiedlung und Umweltfaktoren sind vor allem für die südwestliche Ostsee bis dato relativ unerforscht. Das Verständnis dieser Zusammenhänge ist jedoch wichtig, um Auswirkungen natürlicher und anthropogener Einflüsse auf das benthische Ökosystem beurteilen zu können. Ferner können solche Zusammenhänge in Geoinformationssystemen zur Quantifizierung und Modellierung biologischer Prozesse genutzt werden. Die im südwestlichen Teil der Ostsee liegende Pommernbucht bietet auf Grund ihrer Hydrologie und Morphologie gut ausgebildete Gradienten von Umweltparametern bei einer, im Vergleich zur übrigen Ostsee, relativ geringen Artenanzahl. Daher wurden abiotische und biotische Daten, die im Institut für Ostseeforschung Warnemünde im Zeitraum von 1998 bis 2005 für das deutsche Gebiet der Pommernbucht gesammelt wurden, mit statistischen Methoden auf Zusammenhänge hin untersucht. Ferner wurden alle vorliegenden Daten und Ergebnisse in ein Geoinformationssystem implementiert.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungsverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	11
1 Einleitung.....	12
2 Material und Methoden.....	15
2.1 Karten.....	15
2.2 Das Untersuchungsgebiet.....	16
2.2.1 Geografische Lage, Genese und Abgrenzung.....	16
2.2.2 Morphologie.....	19
2.2.3 Hydrografie.....	21
2.3 Hard- und Software.....	26
2.4 Daten, Datenquellen und Datenbehandlung.....	27
2.4.1 Biotische Parameter – Abundanz- und Biomassedaten.....	27
2.4.2 Abiotische Parameter – Bathymetrische Daten.....	28
2.4.3 Abiotische Parameter – Sedimentdaten.....	31
2.4.4 Abiotische Parameter – Strömungsdaten.....	32
2.4.5 Abiotische Parameter – Salinität und Sauerstoffgehalt.....	33
2.5 Implementierung der Daten in ein Geoinformationssystem.....	34
2.5.1 Implementierung der bathymetrischen Daten.....	35
2.5.2 Implementierung der abiotischen und biotischen Parameter.....	36
2.6 Statistische Auswertung.....	36
2.6.1 Auswahl biotischer und abiotischer Parameter zur statistischen Untersuchung.....	37
2.6.2 Anpassungstests.....	40
2.6.3 Rangkorrelation nach SPEARMAN.....	41
2.6.4 Multivariate Verfahren.....	42
2.6.4.1 ANOSIM (Analysis of Similarity).....	42
2.6.4.2 Cluster – Analyse.....	43
2.6.4.3 Ordination – nMDS – Plot.....	46
2.6.4.4 SIMPER.....	48
2.6.4.5 Ordination – PCA – Hauptkomponentenanalyse.....	48
2.6.4.6 Ordination – CCA – Kanonische Korrespondenzanalyse.....	50
2.6.4.7 BIO-ENV und RELATE.....	51
3 Ergebnisse.....	53
3.1 Ergebnisse der GIS – Implementierung.....	53
3.1.1 Das digitale Geländemodell (DEM) des Meeresbodens der Pommernbucht.....	53
3.1.2 Das Strömungsmodell.....	54

3.1.3	Sedimenteigenschaften.....	55
3.1.3.1	Mittlere Korngröße.....	55
3.1.3.2	Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff.....	56
3.1.3.3	Sortierung.....	57
3.1.3.4	Permeabilität.....	59
3.1.4	Temperatur.....	60
3.1.5	Salinität.....	60
3.2	Statistik.....	61
3.2.1	SPEARMAN – Rangkorrelation.....	61
3.2.2	nMDS- und Clusteranalyse.....	72
3.2.3	BIO-ENV und RELATE.....	80
3.2.4	PCA - Analyse.....	82
3.2.5	CCA - Analyse.....	87
3.3	Die benthische Besiedlung ausgewählter Arten.....	88
4	Diskussion.....	101
4.1	Die Pommernbucht – ausgewählte Umweltfaktoren.....	101
4.2	Die Abhängigkeit der benthischen Besiedlung der Pommernbucht von ausgewählten Umweltfaktoren.....	105
5	Zusammenfassung.....	125
6	Quellenverzeichnis.....	127
	Anhang I.....	135
	Anhang II.....	137
	Anhang III.....	138
	Anhang IV.....	139
	Anhang V.....	140
	Anhang VI.....	141

Abkürzungsverzeichnis

(*)	$p < 0,01$, Signifikanzniveau, gilt nur in Verbindung mit r
(**)	$p < 0,05$, Signifikanzniveau, gilt nur in Verbindung mit r
ANOVA	Analysis of Variance – statistisches Verfahren, Varianzanalyse
ANOSIM	Analysis of Similarity - statistisches Verfahren, Ähnlichkeitsanalyse
AFTG	Aschefreies Trockengewicht - entspricht der Biomasse eines Organismus
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BFF	Bundesforschungsanstalt für Fischerei
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BIO-ENV	Biological – Environmental Link - Vergleich von Biologischen und Umweltdatenmatrizen – eine PRIMER – Programmoption
BLUE	Best Linear Unbiased Estimator , Schätzer mit geringster Abweichung
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie
CCA	Canonical Correspondance Analysis - Kanonische Korrespondenzanalyse
CPOM	Coarse Particular Organic Matter – im Wasser suspendierte grobe organische Partikel
DEM	Digital Elevation Model – Digitales Geländemodell
DYNAS	Dynamik natürlicher und anthropogener Sedimentation
EOF	Empirical Orthogonal Function – in der Ozeanografie gebräuchliche Bezeichnung der Hauptkomponentenanalyse
EU	Europäische Union
FG	Frischgewicht
FPOM	Fine Particular Organic Matter - im Wasser suspendierte organische Feinpartikel
FS	Forschungsschiff
GCS	Geocode System – engl.: geografisches Koordinatensystem
GK	Gauss – Krüger – System , winkeltreues geographisches Projektionssystem
GPS	Geographical Positioning System - Satellitengestütztes System zur Ortsbestimmung
IOW	Institut für Ostseeforschung Warnemünde
IOWTOPO1	Digitales Geländemodell der Ostsee, auf der Homepage des IOW zum freien Download verfügbar
nMDS (– Plot)	nicht-metrische Multidimensionale Skalierung , statistische Berechnungs- und Darstellungsmethode
MARNET	Marine Environmental Monitoring Network in the North Sea and Baltic Sea – Umweltdatenbank und -reportsystem des BSH
MKG	Mittlere Korngröße des Sedimentes – Kürzel in Grafiken und Tabellen
MORWIN	Modellierung von Windwatten – eine Projektbezeichnung
MV	Mecklenburg-Vorpommern
OB	Oderbank – eine Sandbank im Gebiet der Pommernbucht

ODAS	O cean D ata A cquisition S ystems – Autonome Messsysteme zur Aufnahme abiotischer Parameter im MARNET – Verbund des BSH
Org	Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment – Kürzel in Grafiken und Tabellen
p	propability - Wahrscheinlichkeitsparameter in der Statistik, oft auch nur (*), (**)
PAK	P olyzyklische a romatische K ohlenwasserstoffe
PB	P ommern b ucht, Gebiet in der Ostsee, Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit
PC	P ersonal C omputer
PCA	P rincipal C omponent A nalysis – Hauptkomponentenanalyse
Perm	Permeabilität des Sediments – Kürzel in Grafiken und Tabellen
psu	practical salinity unit (früher: Promille), 1 psu = 1 g Salz pro 1 Liter Meerwasser
POC:	P articular O rganic C arbon - suspendierter organischer Kohlenstoff in Partikelform
R, r	Korrelationskoeffizient, kann Werte von $-1 < r < 1$ annehmen
RELATE	engl. <i>to relate</i> , Beziehungen herstellen, verknüpfen – Eine PRIMER – Programmoption
SIMPER	S imilarity P ercentage – Prozent Ähnlichkeit – Eine PRIMER – Programmoption
SINCOS	S inking C oasts – Projektbezeichnung
Sort	Sort ierung des Sediments – Kürzel in Grafiken und Tabellen
TBT	T ributyltin = Tributylzinn – Wirkstoff in Schutzanstrichen (<i>Anti – Fouling</i>) von Schiffen
TG	T rockengewicht
tif	tagged image file format – Format für Bilddateien
TIN	T riangulated I rrregular N etwork – Oberflächenmodell in ArcView
TRUMP	T ransport- und U msatzprozesse in der P ommerschen B ucht, wissenschaftliches Projekt unter Leitung von Prof. Bodo von Bodungen am Institut für Ostseeforschung (IOW)
WGS 84	W orld G eodetic S ystem of 1984 – geozentrisches Koordinatensystem

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abb. 1: Zur Lösung der Aufgabenstellung genutzte Themen- und Fachgebiete.....	15
Abb. 2: Geografische Lage des Untersuchungsgebietes in der südwestlichen Ostsee.....	17
Abb. 3: Lage und Grenzen des Untersuchungsgebietes in der Pommernbucht.....	19
Abb. 4: Morphologie der Pommernbucht.....	20
Abb. 5: Salinität im bodennahen Wasserkörper der Pommernbucht, Mittelwerte 1998 - 2005.....	22
Abb. 6: Sauerstoffgehalt im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte 1998 - 2005.....	23
Abb. 7: Modellierte Mittelwerte und Richtungen windinduzierter Strömung.....	24
Abb. 8: Modellierte Maximalwerte windinduzierter Strömung in Bodennähe.....	24
Abb. 9: Kollagen der Jahresmittelwerte 1998 - 2005 - Salinität und Sauerstoffgehalt.....	25
Abb. 10: Lage und Verteilung der Datenpunkte für biotische Parameter in der Pommernbucht.....	28
Abb. 11: Lage und Verteilung aller bathymetrischen Datenpunkte im Gebiet der Pommernbucht....	30
Abb. 12: Lage und Verteilung der Datenpunkte für Sedimentdaten in der Pommernbucht.....	31
Abb. 13: Lage und Verteilung der Datenpunkte des Strömungsmodells in der Pommernbucht.....	33
Abb. 14: Lage und Verteilung der Datenpunkte für abiotische Parameter in der Pommernbucht.....	34
Abb. 15: Bestimmung der Transformation (nach CLARKE & WARWICK 1997).....	45
Abb. 16: Schematische Darstellung der BIO-ENV - Methode (CLARKE & WARWICK 1998).....	52
Abb. 17: Mittlere Korngrößen des Sedimentes im Untersuchungsgebiet.....	56
Abb. 18: Gehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs im Sediment des Untersuchungsgebietes.	57
Abb. 19: Sortierung des Sedimentes im Untersuchungsgebiet.....	58
Abb. 20: Permeabilität des Sedimentes im Untersuchungsgebiet.....	59
Abb. 21: Grafische Darstellung der Rangkorrelationen zwischen allen abiotischen Parametern.....	62
Abb. 22: Spearman – Rangkorrelationskoeffizienten - Datensatz A, alle Koeffizienten.....	63
Abb. 23: Spearman - Rangkorrelationskoeffizienten; (*), (**) - Signifikanzniveau - Datensatz A....	64
Abb. 24: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit der Wassertiefe.....	65
Abb. 25: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit der Salinität.....	66
Abb. 26: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit dem Sauerstoffgehalt.....	67
Abb. 27: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit der mittleren Korngröße.....	68
Abb. 28: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit der Organik im Sediment.....	69
Abb. 29: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit der Sortierung.....	70
Abb. 30: Spearman - Korrelationskoeffizienten - Datensatz A mit der Permeabilität.....	71
Abb. 31: Cluster - Analyse, Abundanzen - Datensatz B.....	72
Abb. 32: Geografische Darstellung Clusteranalyse aus Abbildung 31 (S. 73).....	73
Abb. 34: Geografische Darstellung Clusteranalyse in Abbildung 33 (S. 76).....	76
Abb. 33: Cluster - Analyse der Abundanzen, nach Taxa zusammengefasst - Datensatz B.....	75
Abb. 35: Kollage - 6 nMDS - Plots, nach Taxa zusammengefasste Abundanzen - Datensatz B.....	77
Abb.: 36: nMDS - Plot der Abundanzen mit markierten Tiefengruppen- Datensatz B.....	78
Abb. 37: Clusteranalyse – Abundanzen der Arten – Datensatz B.....	79

Abb. 38: nMDS - Plot der Arten - Abundanzen Datensatz B.....	80
Abb. 39: PCA - Korrelationsbiplot der abiotischen Parameter, Datensatz C - Abio.....	83
Abb. 40: PCA - Korrelationsbiplot der Abundanzen - Datensatz B.....	84
Abb. 41: PCA - Analyse der Abundanzen - Darstellung der 1. Hauptkomponentenwerte.....	85
Abb. 42: CCA - Triplot, Abundanzen und abiotische Parameter.....	87
Abb. 43: Verteilung und Abundanzen von <i>Bathyporeia pilosa</i> im Untersuchungsgebiet.....	89
Abb. 44: Verteilung und Abundanzen von <i>Cerastoderma glaucum</i> im Untersuchungsgebiet.....	90
Abb. 45: Verteilung und Abundanzen von <i>Corophium volutator</i> im Untersuchungsgebiet.....	91
Abb. 46: Verteilung und Abundanzen von <i>Hediste diversicolor</i> im Untersuchungsgebiet.....	92
Abb. 47: Verteilung und Abundanzen von <i>Hydrobia ulvae</i> im Untersuchungsgebiet.....	93
Abb. 48: Verteilung und Abundanzen von <i>Macoma balthica</i> im Untersuchungsgebiet.....	94
Abb. 49: Verteilung und Abundanzen von <i>Marenzelleria neglecta</i> im Untersuchungsgebiet.....	95
Abb. 50: Verteilung und Abundanzen von <i>Mya arenaria</i> im Untersuchungsgebiet.....	96
Abb. 51: Verteilung und Abundanzen von <i>Pygospio elegans</i> im Untersuchungsgebiet.....	97
Abb. 52: Verteilung und Abundanzen von <i>Streblospio dekhuyzeni</i> im Untersuchungsgebiet.....	98
Abb. 53: Verteilung und Abundanzen von <i>Tubificoides benedeni</i> im Untersuchungsgebiet.....	99
Abb. 54: Verteilung und Abundanzen von <i>Tubifex costatus</i> im Untersuchungsgebiet.....	100
Abb. 55: Die Beziehungen der abiotischen Parameter in der Pommernbucht zueinander.....	104
Abb. 56: PCA - Analyse der Abundanzen - Darstellung der 1. Hauptkomponentenwerte.....	106
Abb. 57: Benthos - Datenpunkte mit vollständigem Satz abiotischer Parameter.....	136
Abb. 58: Dreidimensionale Ansicht der Morphologie der Pommernbucht.....	137

Tabellenverzeichnis	Seite
Tab. 1: Überblick über die verwendete Software.....	26
Tab. 2: Auswahl der Arten für statistische Verfahren.....	39
Tab. 3: Stufen der Transformation (nach CLARKE & WARWICK 1997).....	45
Tab. 4: Grenzen der Stress – Werte zur Beurteilung einer MDS (nach LOZÁN & KAUSCH 2004).....	47
Tab. 5: Flächenanteile der einzelnen Korngrößenfraktionen am Untersuchungsgebiet.....	56
Tab. 6: Flächenanteile der Sortierungsklassen nach FOLK & WARD am Untersuchungsgebiet.....	58
Tab. 7: Flächenanteile der Gebiete unterschiedlicher Permeabilität am Untersuchungsgebiet.....	60
Tab. 8: Spearman – Rangkorrelationskoeffizienten; (*), (**) – Signifikanzniveau.....	61
Tab. 9: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 31 (S. 75).....	73
Tab. 10: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 31 (S. 75).....	74
Tab. 11: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 33 (S. 78).....	76
Tab. 12: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 33 (S. 78).....	77
Tab. 13: Ergebnisse der ANOSIM der nMDS Abundanzen taxonomischer Gruppen und Tiefe.....	79
Tab. 14: Ergebnisse BIO-ENV – Datensatz C-Bio und C-Abio.....	81
Tab. 15: Ergebnisse BIO-ENV – Datensatz C-Bio und C-Abio, Abundanzen nach Taxa.....	82
Tab. 16: Prozentanteile der einzelnen Arten nach Abundanz entsprechend PCA – Analyse.....	86
Tab. 17: Prozentanteile der einzelnen Taxa nach Abundanz entsprechend PCA – Analyse.....	86
Tab. 18: Änderung der Anteile an der Gesamtabundanz der jeweiligen Art.....	106
Tab. 19: Anordnung der Arten und Darstellung aller Rangkorrelationskoeffizienten.....	124
Tab. 20: Alle Spearman – Rangkorrelationskoeffizienten, Arten mit abiotischen Parametern	138
Tab. 21: Häufigkeit der einzelnen Arten nach PCA - Hauptkomponentenprojektion.....	139
Tab. 22: Artenliste – alle für die Pommernbucht von 1998 bis 2005 nachgewiesenen Arten.....	140
Tab. 23: Artenliste Fortsetzung – für die Pommernbucht nachgewiesene Arten 1998 – 2005.....	141

1 Einleitung

Die Pommernbucht ist ein relativ flaches Brackwassergebiet und gehört zur Küstenzone der südwestlichen Ostsee. Die submarine Morphologie der Bucht wird vorwiegend von Sandbänken sowie glazifluviatilen Rinnen und Becken geprägt (NEUMANN & BUBLITZ 1968). Von Norden her gelangen salzreiche Wassermassen aus der Nordsee über den Skagerrak, das Kattegat, die Belte und den Öresund in das angrenzende Arkonabecken und von dort in die Pommernbucht. Im Süden mündet die Oder über das Oderhaff in die Pommernbucht und sorgt so für einen ständigen Zustrom von Süßwasser. Dies verursacht einen Salinitätsgradienten entlang der Nord – Süd – Achse der Bucht (MOHRHOLZ 1998). Mit der Oder gelangen allochthone Nährstoffeinträge in die Bucht und werden dort, zusammen mit den autochthon in der Bucht gebildeten Nährstoffen, hauptsächlich durch windinduzierte Strömungen verfrachtet (PASTUZSAK ET AL. 2003, SIEGEL ET AL. 2005). Die makrozoobenthische Besiedlung des Meeresbodens profitiert dabei vor allem von partikulärem organischem Material (FPOM, POC), das entweder im bodennahen Wasserkörper suspendiert enthalten ist oder im/auf dem Sediment aggregiert vorliegt (LÖFFLER ET AL. 2000). Das Sediment selbst spielt dabei oft eine entscheidende Rolle für die Verfügbarkeit der Nährstoffe für die benthischen Organismen (LOPEZ & LEVINTON 1978, WIEKING & KRÖNCKE 2004). Als Substrat zur Besiedlung ist es vor allem für endobenthisch lebende Arten von größter Bedeutung. Wechselwirkungen zwischen Substrateigenschaften, Nährstoffflüssen und hydrologischen Parametern formen Gradienten, an denen entlang sich die Besiedlung benthischer Arten vollzieht (O'BRIEN ET AL. 2003, KUBE ET AL. 1996). Die räumliche und zeitliche Struktur und Dynamik der Umweltfaktoren der Pommernbucht war schon mehrfach Gegenstand eingehender Untersuchungen (LASS ET AL. 2000, FORSTER ET AL. 2003, TAUBER & EMEIS 2005 u.v.a.). Die benthische Besiedlung der Pommernbucht wurde ebenfalls schon des öfteren untersucht, allerdings lag der Fokus hier nur selten auf den Wechselwirkungen zwischen abiotischen und biotischen Parametern. Vor allem volkswirtschaftliche Gesichtspunkte standen bei früheren Untersuchungen oft im Vordergrund (z.B. HERTLING 1928). Ausführlich wurde die Bucht erst wieder in den 50er und 60er Jahren untersucht (DEMEL & MULICKI 1954, LÖWE 1963). Von den 1980er Jahren bis heute nahm die Zahl der in der Pommernbucht durchgeführten benthologischen Untersuchungen stark zu (z.B. GRUSZKA 1991, WARZOCHA 1995, KUBE ET AL. 1997, POWILLEIT & KUBE 1999 u.v.a.). Kausalzusammenhänge zwischen Umweltfaktoren und benthischer Besiedlung wurden dabei von einigen Autoren zwar

vermutet (z.B. von KUBE ET AL. 1996), sind jedoch bis dato nur unzureichend oder gar nicht erforscht. Doch gerade die Erforschung der Struktur und Dynamik solcher Zusammenhänge ist von grundlegender Bedeutung für das Verständnis biologischer und ökologischer Prozesse. Nur auf dieser Grundlage ist eine Beurteilung der Auswirkungen natürlicher und anthropogener Einflüsse möglich. Bedingt durch die Variabilität der Arten hinsichtlich ihrer Lebensraumauswahl können sich Wechselwirkungen zwischen der Besiedlung und Umweltfaktoren in Mustern von Abundanz- und Artenverteilungen manifestieren. Der Weg zum Verständnis dieser Muster besteht oft aus zwei Schritten. Im ersten Schritt werden die Muster in der Verteilung der Organismen beschrieben. In einem zweiten Schritt werden die Parameter ermittelt, die diese Verteilung bedingen. Alternativ dazu kann man auch zuerst die Muster in der Umwelt ermitteln und dann die Reaktion der Organismen auf diese Muster feststellen. Die Grundlage ist in beiden Fällen jedoch die Identifikation und Beschreibung von Mustern, die in den Daten enthalten sind und das Wissen über die Autökologie der Arten, mit dem die Muster interpretiert werden müssen (McGARIGAL ET AL. 2000, BEGON ET AL. 1998).

Wird diese Erkenntnis über Muster und Abhängigkeiten in Verbindung mit einem Geoinformationssystem genutzt, erschließt sich eine ganze Reihe von Möglichkeiten: Vorzugsgebiete für Arten können vorab bestimmt oder Risikoanalysen im Bezug auf anthropogene Einflussnahmen in Gebieten mit benthischer Besiedlung durchgeführt werden. Durch die Verknüpfung mit Methoden der Fernerkundung können marine Gebiete erhöhter Produktivitätsraten und eventuelle Auswirkungen auf das Benthos besser abgeschätzt werden (z.B. in VALAVANIS ET AL. 2004). Die Erstellung von Gebietsbilanzen für Stoffflüsse oder Filterleistungen von Muschelbänken wäre ebenso möglich wie die Visualisierung von Zusammenhängen für Forschung und Lehre. Vielleicht könnte sogar eines Tages das Ökosystem der Pommernbucht modelliert und so seine Bestandteile, Zusammenhänge und Wirkungsgefüge besser verstanden und geschützt werden.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, einen ersten Schritt in diese Richtung zu gehen und die Vorbereitungen für die Nutzung dieser Möglichkeiten zu treffen. Neben der Implementierung von Daten in ein Geoinformationssystem mussten dazu in erster Linie die eventuell vorhandenen Muster und Abhängigkeiten zwischen den biotischen und abiotischen Parametern des Untersuchungsgebietes identifiziert und beschrieben werden. Diese Identifikation und Beschreibung von Mustern ist u.a. mit multivariaten statistischen Methoden möglich.

Daher wurde zuerst aus den vorhandenen Daten der Abundanzen und Umweltfaktoren

eine zur statistischen Analyse geeignete Datengrundlage geschaffen. Zeitgleich wurden alle für die biotischen und abiotischen Parameter vorhandenen Daten in ein Geoinformationssystem (ArcView) implementiert. Um einen räumlichen Eindruck von der submarinen Morphologie des Untersuchungsgebietes zu bekommen, wurde aus bathymetrischen Punktdaten ein digitales Geländemodell interpoliert. Dieses Geländemodell bildete sozusagen das Gerüst für die Kartenerstellung und Visualisierung von Zusammenhängen. Für alle anderen abiotischen Parameter wurden ebenfalls Interpolationen berechnet. Diese räumlichen Raster wurden zur Quantifizierung und Visualisierung abiotischer Parameter genutzt. In der folgenden statistischen Auswertung wurden zunächst ausgewählte Arten und alle abiotischen Parameter mit univariaten Methoden auf eventuell bestehende Zusammenhänge hin geprüft. Im Anschluss daran wurden ausgewählte Arten und alle abiotischen Parameter multivariaten statistischen Analysen unterzogen. Zur Analyse wurden hierbei einfache und unbedingte multivariate Verfahren benutzt, um die in den einzelnen Datenmatrizen selbst enthaltenen Muster zu extrahieren. Die gefundenen Muster wurden mit ArcView visualisiert. Auf diese Weise konnten Gebiete entlang benthischer Faunengrenzen isoliert werden. Arten und Umweltfaktoren für bestimmte Stationen wurden mit bedingten multivariaten Ordinationsverfahren auf Abhängigkeiten hin untersucht. Zum Schluss wurden Umweltfaktoren/Umweltfaktorkombinationen isoliert, welche die in den biotischen Daten vorhandenen Muster am besten erklärten. In einer abschließenden Diskussion wurden die gefundenen Abhängigkeiten innerhalb und zwischen den biotischen und abiotischen Parametern nach dem Stand des Wissens kausal interpretiert. Dabei wurde versucht, Zusammenhänge und Wirkungsgefüge für die im Untersuchungsgebiet wirkenden Umweltfaktoren herauszuarbeiten. Für ausgewählte Arten wurden plausible Erklärungen für Abhängigkeiten zwischen Besiedlung und Umweltfaktoren diskutiert. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Variabilität der Lebensraumauswahl bestimmter Arten.

2 Material und Methoden

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung dieser Arbeit mussten theoretische Grundlagen und Methoden verschiedener Fachgebiete verknüpft werden (siehe Abb. 1, unten). Ohne die interdisziplinäre Zusammenarbeit sowohl mit den verschiedenen Fachbereichen im Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) als auch mit Behörden, z.B. dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie (BSH), hätte diese Arbeit nicht realisiert werden können. Dies gilt zum einen vor allem für die Beschaffung der Daten für die biotischen und abiotischen Parameter, auf denen diese Arbeit beruht. Zum anderen musste vor allem bei der Einarbeitung in neue Themengebiete, wie z.B. der GIS – Implementierung oder Geländemodellierung, auf die Erfahrungen der Mitarbeiter des IOW in den entsprechenden Sektionen zurückgegriffen werden.

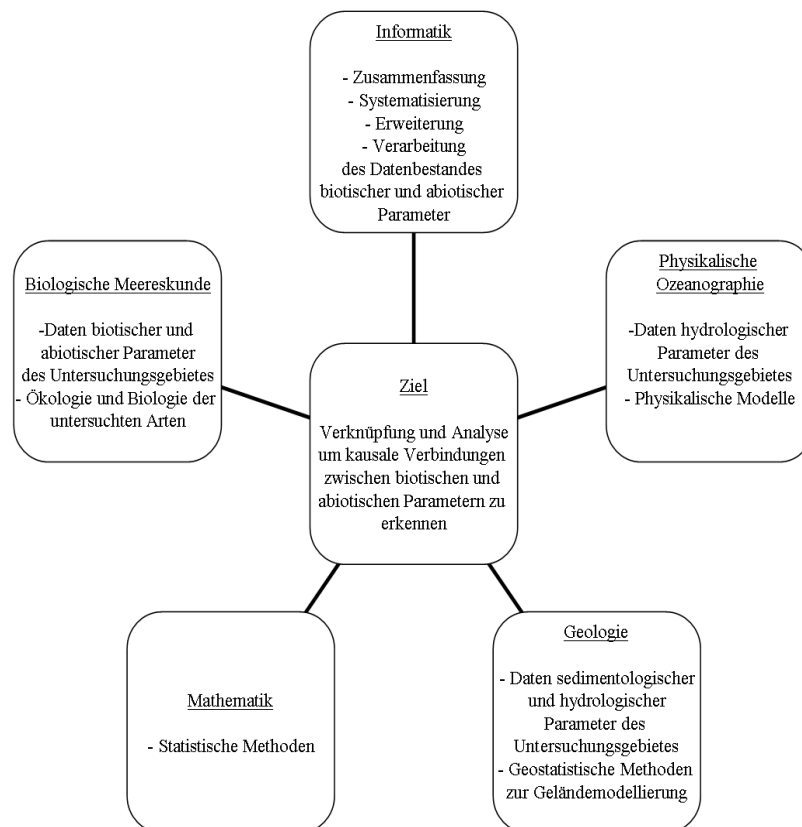


Abb. 1: Zur Lösung der Aufgabenstellung genutzte Themen- und Fachgebiete

2.1 Karten

Die in dieser Arbeit gezeigten Karten und Abbildungen ohne Quellenangabe wurden vom Autor erstellt. Alle geographischen Karten wurden mit ESRI – ArcGIS/ArcView 8.2 oder SURFER 8.02 unter Verwendung der in Abschnitt 2.4 „Daten, Datenquellen und Datenbehandlung,“ auf Seite 27 genannten Datenquellen erstellt.

2.2 Das Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit umfasst die in den deutschen Hoheitsgewässern liegenden Areale der Pommernbucht. In der Literatur wird statt von Pommernbucht auch von der Pommerschen Bucht oder Pommern – Bucht gesprochen. Die Schreibweise der Gebietsbezeichnung wird in der Literatur nicht einheitlich verwendet und ändert sich je nach Jahr und Autor der Veröffentlichung. In der vorliegenden Arbeit wird der Ausdruck Pommernbucht verwendet. Nachfolgend wird ein Überblick über die geografische Lage, Abgrenzung und Morphologie der Pommernbucht und des in ihr enthaltenen Untersuchungsgebietes gegeben.

2.2.1 Geografische Lage, Genese und Abgrenzung

Die Pommernbucht erstreckt sich im südwestlichen Teil der Ostsee zwischen $13,5^\circ$ und $15,5^\circ$ östlicher Länge und zwischen $53,9^\circ$ und $54,7^\circ$ nördlicher Breite. Die Bucht liegt somit im Bereich der Boddenausgleichsküste der westlichen Ostsee. In der Ost – West – Ausdehnung erreicht sie in etwa eine Breite von 100 km, in der Nord – Süd Ausdehnung eine Länge von etwa 60 – 70 km und so in etwa eine Fläche von ca. 5.580 km^2 , bei einer mittleren Tiefe von 13,2 m und einem Volumen von ca. $73,6 \text{ km}^3$ (MOHRHOLZ 1998). Die Abbildung 2 auf Seite 17 gibt einen Überblick über die geografische Lage der Pommernbucht in der südwestlichen Ostsee. Entwicklungsgeschichtlich ist die Pommernbucht ein relativ junges Gebiet, das zuerst durch mehrere eiszeitliche Gletschervorstöße geformt und anschließend im Rahmen der Littorinatransgression geflutet wurde. Die Transgression erreichte das Gebiet ca. 7.800 v. Chr. Bedingt durch den schnellen Meeresspiegelanstieg zu Beginn der Transgression wurden dabei Teile der Landschaft, wie zum Beispiel die im Zentrum der Pommernbucht liegende Oderbank, großflächig und schnell geflutet. Dadurch wuchs die zur Sedimentation zur Verfügung stehende Akkumulationsfläche schneller als der durch die flutenden Wassermassen gelieferte Nachschub an erodiertem Sediment, was zu einer gleichmäßigen Sedimentverteilung über den Meeresboden ohne die Ausbildung von Uferterrassen oder Rippelfeldern führte. Diese Strukturen bildeten sich erst später aus, als der Meeresspiegelanstieg sich verlangsamte (HOFFMANN & BARNASCH 2005). Der bis heute andauernde Prozess der Littorinatransgression sowie die Sedimenterosion und -ablagerung wirken nach wie vor prägend auf terrestrische und submarine Strukturen in diesem Gebiet der Ostsee (SCHWARZER ET AL. 2003).

Übersichtskarte - Lage des Untersuchungsgebietes Pommernbucht in der südwestlichen Ostsee

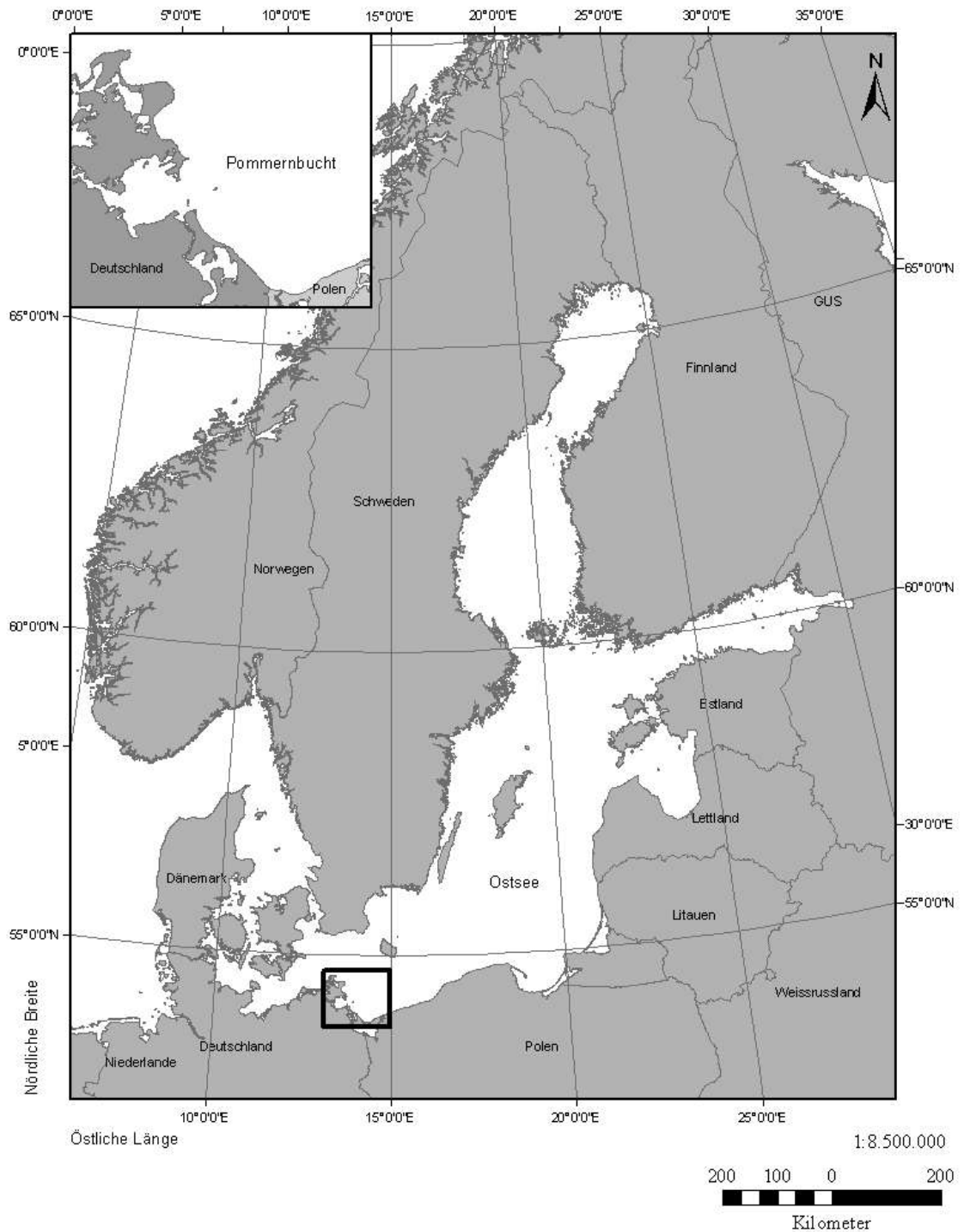


Abb. 2: Geografische Lage des Untersuchungsgebietes in der südwestlichen Ostsee

Der südliche Teil der Pommernbucht wird mit zum Ästuarsystem der Oder gerechnet. Dieser Fluss mündet hier indirekt über das Oderhaff in die Pommernbucht. Die Pommernbucht stellt damit einen Teil der, für diesen Bereich der Ostsee typischen, morphologischen Dreiteilung der Ästuarsysteme in Fluss, Haff und Bucht dar. Die Ästuar der Pregel (Frisches Haff) und der Memel (Kurisches Haff) weisen eine ähnliche Struktur auf (RHEINHEIMER 1996). Der nordwestliche Teil der Pommernbucht stellt einen Südausläufer der Arkonasee dar. Im Westen wird die Bucht durch die Insel Rügen begrenzt, im Südwesten bilden die Insel Ruden und die 2 – 3 m tiefe Boddenrandschwelle des Greifswalder Boddens eine natürliche Grenze. Usedom und Wollin stellen die südliche Begrenzung der Pommernbucht dar (NEUMANN & BUBLITZ 1968). Als natürliche nördliche Grenze zur offenen Ostsee wird die 20 m – Isobathe angenommen. Entlang dieser Isobathe scheint eine starke Strömung die Bucht dynamisch von den Prozessen der offenen See abzuschirmen. In Satellitenaufnahmen wird oft eine thermische Front entlang dieser Isobathe beobachtet (MOHRHOLZ ET AL. 1999).

Das eigentliche, ca. 3.500 km² umfassende Untersuchungsgebiet der vorliegenden Arbeit erstreckt sich im westlichen Teil der Pommernbucht von 53,7 ° bis 54,4 ° nördlicher Breite und von 13,6 ° bis 14,7 ° östlicher Länge (siehe Abb. 3, S. 19). Da nur der deutsche Teil der Pommernbucht untersucht wurde, wird das Untersuchungsgebiet durch die seewärtige politische Grenze zwischen Deutschland und Polen östlich begrenzt. Ansonsten gelten für das Untersuchungsgebiet die gleichen begrenzenden Strukturen wie für die Pommernbucht selbst. Lediglich die nördliche Begrenzung entspricht nicht der oben genannten 20 m – Isobathe. Statt dessen wurde die 25 – m Isobathe als natürliche Grenze zur offenen Ostsee gewählt. Dies geschah aus zwei Gründen: Zum einen bietet die 25 m – Isobathe eine echte homogene nördliche Abgrenzung, denn sie wird nicht von anderen submarinen Strukturen unterbrochen, wie dies bei der 20 – m Isobathe der Fall ist. Diese Isobathe reicht, bedingt durch die Sassnitzrinne, streng genommen fast bis in die zentrale Pommernbucht. Zum anderen konnten so Stationen, die genau auf dieser Tiefenlinie lagen, als Begrenzungen für Interpolationen genutzt werden. In den folgenden Abschnitten werden die Morphologie und Hydrologie der Pommernbucht und des Untersuchungsgebietes kurz erläutert. Die dazu in den entsprechenden Abschnitten verwendeten Karten stellen bereits einen Teil des erst ab Abschnitt 3.1 „Ergebnisse der GIS – Implementierung,, (S. 53) behandelten Ergebnisteils der Arbeit dar und werden dort nicht mehr aufgeführt sondern es wird lediglich auf sie verwiesen.

Lage und Grenzen des Untersuchungsgebietes in der Pommernbucht

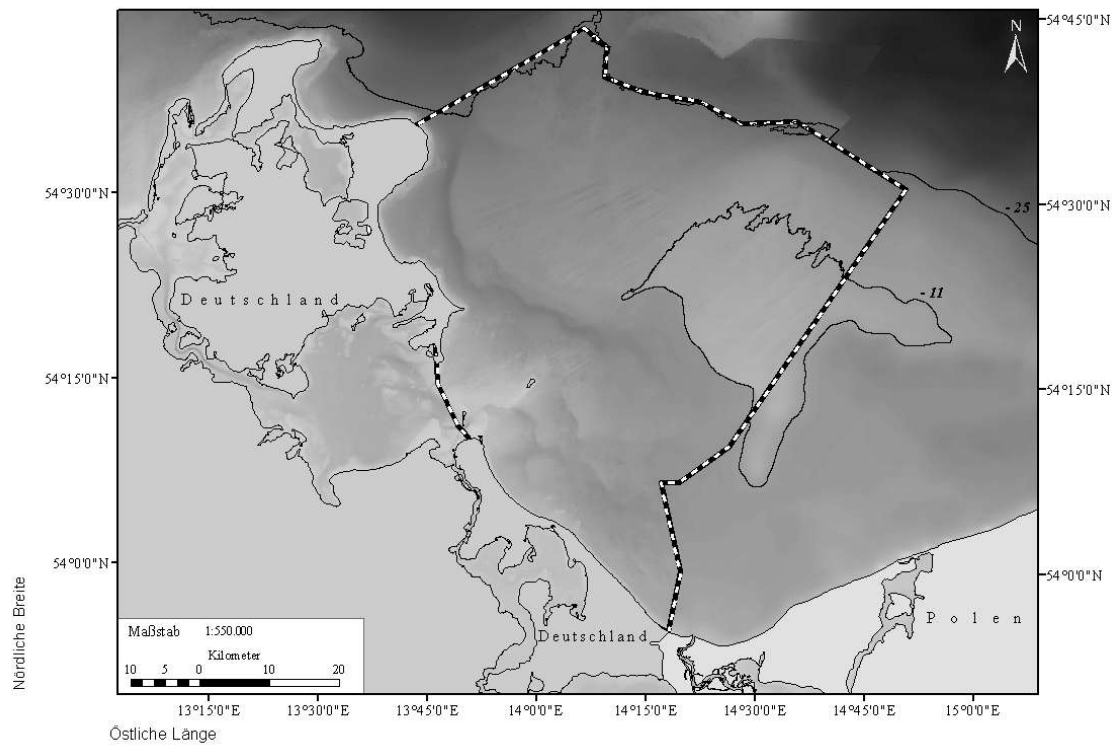
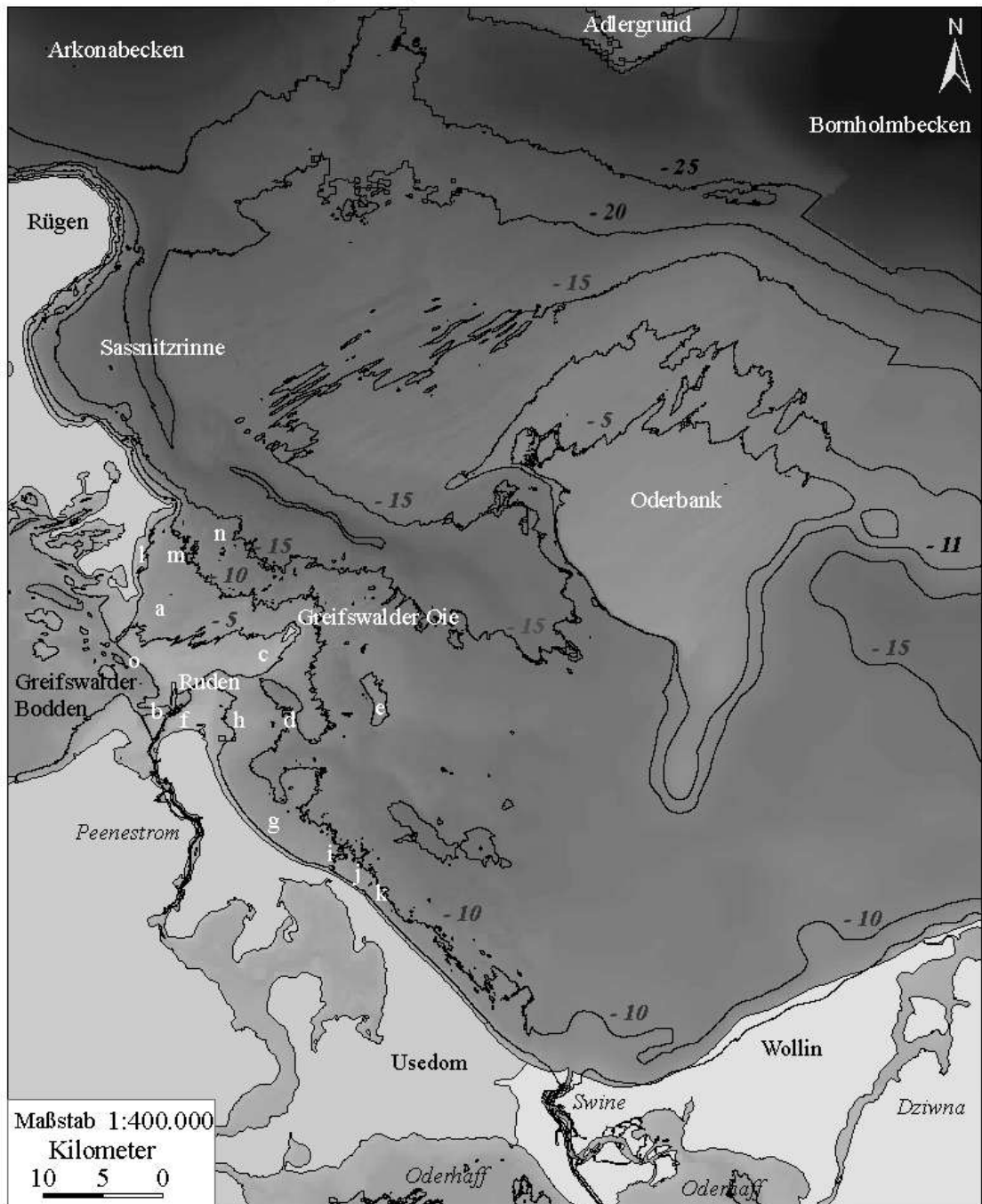


Abb. 3: Lage und Grenzen des Untersuchungsgebietes in der Pommernbucht

2.2.2 Morphologie

Die Abbildung 4 auf der Seite 20 zeigt die submarinen morphologischen Strukturen der Pommernbucht. Im Anschluss an eine 25 m – Isobathe fällt der Meeresboden der Pommernbucht nordwestlich zum Arkonabecken und nordöstlich zum Bornholmbecken hin steil ab. In der Mitte der Pommernbucht liegt die größte submarine Erhebung der Pommernbucht: die Oderbank. Sie teilt die Pommernbucht in einen westlichen und einen östlichen Teil. Die Oderbank liegt zwischen 54,2° und 54,5° nördlicher Breite sowie 14,1° und 14,6° östlicher Länge und erstreckt sich von Süd nach Nord über ca. 35 km. Sie erreicht im Norden eine West-Ost-Ausdehnung von 25 km und bedeckt damit ein Gebiet von 480 km². Sie ist damit die größte Sandbank in der Ostsee (KLEIN 2003). Wie aus der Abbildung 4 auf Seite 20 ersichtlich ist, steigt die Oderbank von Norden nach Süden sanft zu einem nahezu ebenen Plateau an, das im Süden mit einer ausgeprägten Hangkante abfällt. Die Oderbank ist, im Gegensatz zu anderen Untiefen der Ostsee, nicht glazifluviatilen Ursprungs, sondern entstand durch den im Abschnitt 2.2.1 (S. 16) beschriebenen raschen Anstieg des Wasserspiegels nach der letzten Eiszeit. Sie ist auch, im Gegensatz zu anderen Untiefen der deutschen Ostsee, nicht mit groben Restsedimenten aus eiszeitlichem Schotter bedeckt (GOSSELCK & KUBE 2004).

Morphologie der Pommernbucht



Submarine Strukturen: a - Landtief, b - Osttief, c - Oier Riff, d - Usedomer Steintrendel, e - Usedombank, f - Peenemünder Haken, g - Zinnowitzbank, h - Gansegrund, i - Vinetabank, j - Streckelberg, k - Koserowbank, l - Dammriff, m - Steintrendel, n - Idunagrund, o - Boddenrandschwelle

Abb. 4: Morphologie der Pommernbucht (verändert nach KLEIN (2003), MOHRHOLZ (1998) und NEUMANN & BUBLITZ (1968))

In der Abbildung verwendete Kleinbuchstaben verweisen auf submarine Strukturen wie Bänke, Riffe oder Schwellen.

Besonders im Süden und Westen der Pommernbucht übte die Eiszeit einen stark formgebenden Einfluss auf die Morphologie aus. Oszillationen des eiszeitlichen Gletscherandes führten in den Randgebieten der Bucht zur intensiven Formgestaltung jungweichselzeitlicher Ablagerungen. Von Rügen nach Usedom ist die Morphologie durch tief ausgeschürfte schmale Zungenbecken und ein intensives Stauch- und Stapelgefüge gekennzeichnet. Die Boddenrandschwelle wird als submariner Verlauf einer von Rügen nach Usedom ziehenden Stauchendmoränenzone angesehen (NEUMANN & BUBLITZ 1968).

2.2.3 Hydrografie

Der Brackwasserkörper der Ostsee (im Westen ca. 25 psu, in der Pommernbucht ca. 7 psu) ist über die Darsser Schwelle (18 m Wassertiefe), die Beltsee, das Kattegat und den Skagerrak und mit der marinen Nordsee (>30 psu) verbunden. Über diese Verbindung findet der Austausch von salzarmem Oberflächenwasser von der Ostsee in die Nordsee und salzreichem Tiefenwasser von der Nordsee in die Ostsee statt. Klimatische Bedingungen und Dichteunterschiede sind der Motor dieses für die Ostsee lebenswichtigen Austausches, denn das mit der Zeit an Sauerstoff verarmende Tiefenwasser der Ostseebecken wird fast ausschließlich durch den Einstrom von salz- und sauerstoffreichem Nordseewasser erneuert (RHEINHEIMER 1996). Das nordwestlich der Pommernbucht gelegene Arkonabecken gilt nach dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee als erstes eigentliches Ostseebecken. Im Tiefenwasser des Arkonabeckens herrschen, bedingt durch die oben genannte dynamischen Austauschprozesse zwischen Nord- und Ostsee, stark schwankende Salzgehalte von ca. 13 psu bis 15,5 psu. Vor der Ostküste Rügens verläuft von Nordwesten nach Südosten die Sassnitzrinne, ein ehemaliges Flussbett der Oder, das heute in einer Wassertiefe von 20 m bis 23 m liegt. Da die Halokline im Arkonabecken ebenfalls in etwa 20 – 30 m Wassertiefe verläuft, kann unter bestimmten Windbedingungen, zum Beispiel bei starkem Ostwind, salzreiches Wasser aus der Arkonasee entlang dieser Rinne fast bis in die zentrale Bucht vordringen. Das nordöstlich der 25 – m Isobathe gelegene Bornholmbecken ist über das Bornholmsgat, das südlich des Adlergrundes verläuft, direkt mit dem Arkonabecken verbunden. Die Salzgehalte im Tiefenwasser des Bornholmbeckens schwanken zwischen 7,5 psu und 8 psu. Da die Halokline im Bornholmbecken in etwa zwischen 35 m und 50 m Wassertiefe verläuft, findet von hier kaum ein Zustrom salzreichen Wassers in die Pommernbucht statt (MOHRHOLZ ET AL. 1999). Das von Nordwesten aus dem Arkonabecken in die Pommernbucht vordringende salzreiche Wasser verteilt sich, auf Grund seiner höheren Dich-

te, hauptsächlich entlang der tieferen Gebiete der Pommernbucht und unterschichtet so das aus dem Süden in die Bucht aus Oder, Peene und Dziwna einfließende Süßwasser. Die Folge ist ein abnehmender Salzgehaltsgradient von Norden nach Süden. Die Abbildung 5 (unten) der Mittelwerte für die zwischen 1998 und 2005 in der Pommernbucht gemessenen Salzgehalte zeigt dies deutlich. Mindestsalzgehalte von ca. 2 psu sind in der Pommernbucht hauptsächlich in den Einstromgebieten der Flüsse und in den Haffen, maximale Salzgehalte von ca. 16 psu hauptsächlich im Norden in größeren Tiefen der Pommernbucht zu finden. Das Untersuchungsgebiet liegt somit in der mixomesohalinen oder auch poikilohalinen Zone¹.

Salinität im bodennahen Wasserkörper der Pommernbucht - Mittelwerte 1998 - 2005

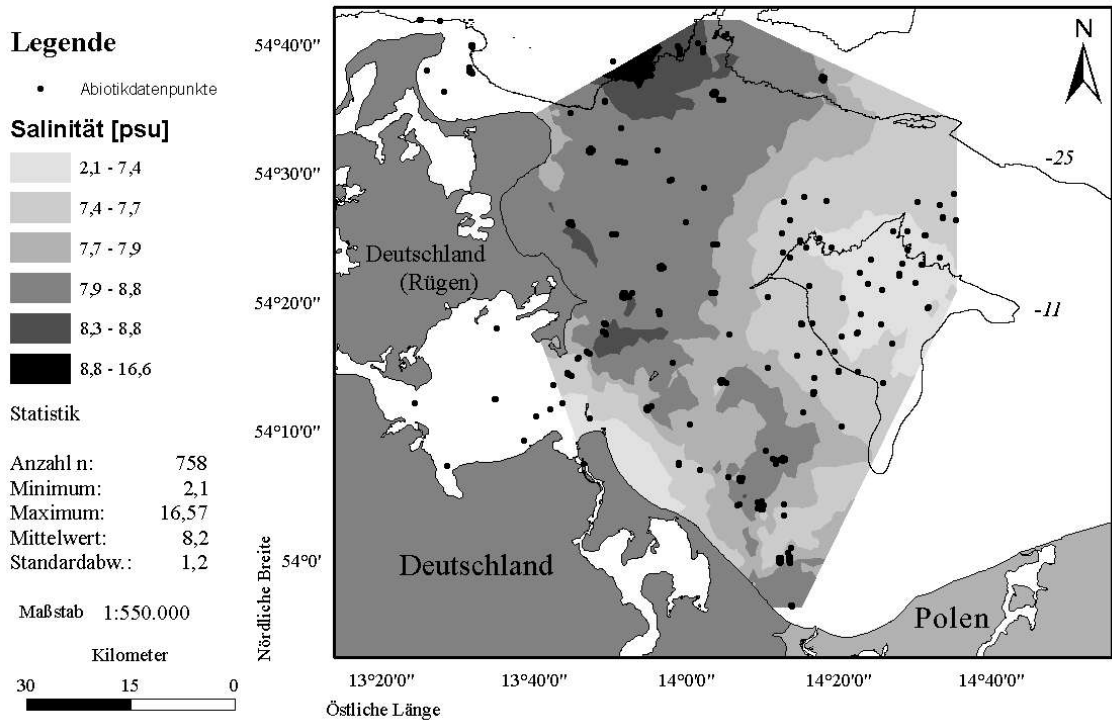


Abb. 5: Salinität im bodennahen Wasserkörper der Pommernbucht, Mittelwerte 1998 - 2005

Die Sauerstoffversorgung im bodennahen Wasserkörper der Pommernbucht war im Untersuchungszeitraum von 1998 – 2005 gut bis sehr gut und wies nur geringe Schwankungen auf. Der oben beschriebene Einstrom von salzreichem und von der Oberfläche der Nordsee stammendem Wasser über das Arkonabecken versorgt vor allem die tiefer gelegenen Bereiche des Gebietes mit Sauerstoff. Das sich langsam am Boden fortbewegende, sauerstoffreiche und schwere Nordseewasser dringt dabei bis in die zentrale Pommernbucht vor. Dies zeigt die Abbildung 6 (S. 23). Längere Unterbre-

¹ Salinitätsbereiche für Brackwasser (mixohaliner Bereich): 0,5 – 5 psu = oligomixohalin, 5 – 18 psu = mesomixohalin, 18 – 30 psu = polymixohalin (VENICE SYSTEM. 1958).

chungen dieser Versorgung mit sauerstoffreichem Tiefenwasser können in der Bucht zu hypoxischen Bedingungen mit starken Auswirkungen auf die benthische Besiedlung, wie z.B. einem Massensterben bestimmter Arten, führen. Dieser Effekt konnte im Sommer 1994 im südwestlichen Teil der Pommernbucht beobachtet werden (POWILLEIT & KUBE 1999). Für den betrachteten Zeitraum der vorliegenden Arbeit (1998 bis 2005) sind dem Autor keine Hypoxien oder gar Anoxien für die Pommernbucht bekannt.

Sauerstoffgehalt im bodennahen Wasserkörper, Mittelwerte 1998 - 2005

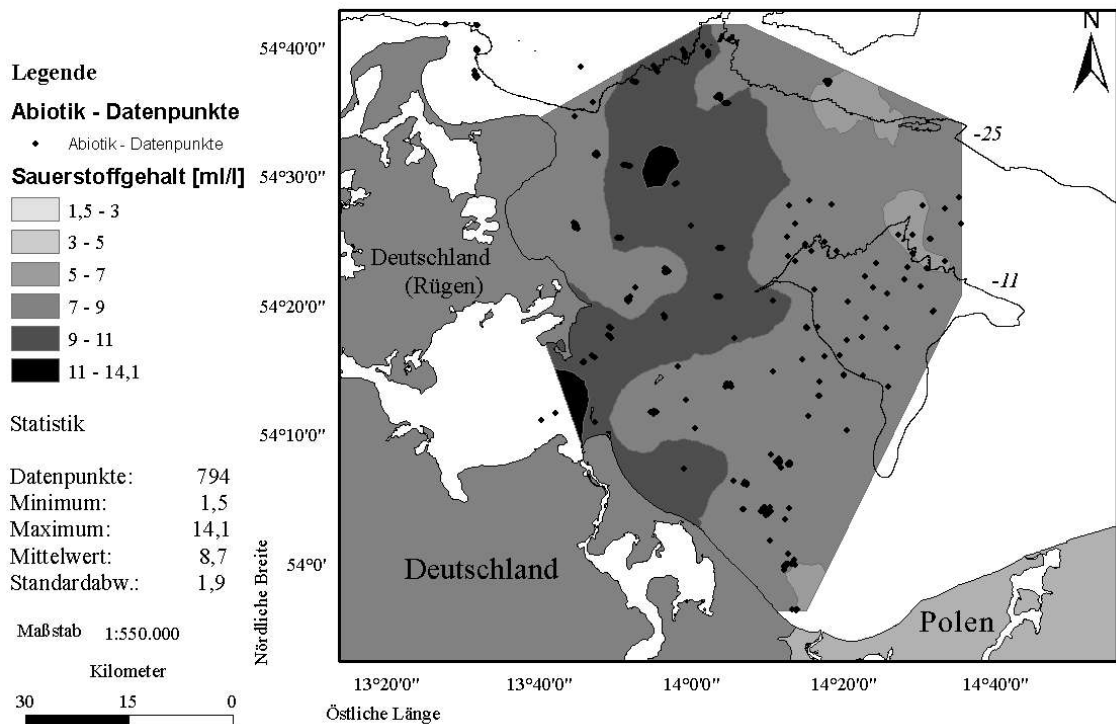


Abb. 6: Sauerstoffgehalt im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte 1998 - 2005

Im Gegensatz zu den tiefer gelegenen Becken der zentralen Ostsee ist die Schichtung der Halo- und Thermoklinen in den flacheren Gebieten der Ostseebuchten nicht stabil. Dies ist in der Abbildung 9 (S. 25) vor allem für das Gebiet der Oderbank zu erkennen. Der Wasserkörper der Pommernbucht wird hauptsächlich durch windgetriebenen EKMAN – Transport, kompensierende Bodenausgleichsströmungen und küstenparallele Strombänder durchmischt (siehe Abb. 7, S. 24). Die Durchmischung der Wasserschichten ist dabei stark von der Jahreszeit abhängig. Bedingt durch die Windinduktion der Strömung finden sich vor allem in den flacheren Gebieten der Pommernbucht, wie z.B. der Oderbank, Maximalwerte für windinduzierte bodennahe Strömungen (siehe Abb. 8, S. 24). Aus diesem Grund werden auf der zentral in der Pommernbucht gelegenen Oderbank Maximalwerte für windinduzierte Strömungen modelliert (LASS ET AL. 2000).

Windinduzierte Strömung in Bodennähe - Mittelwerte 01. 01. 2002 - 28. 12. 2004

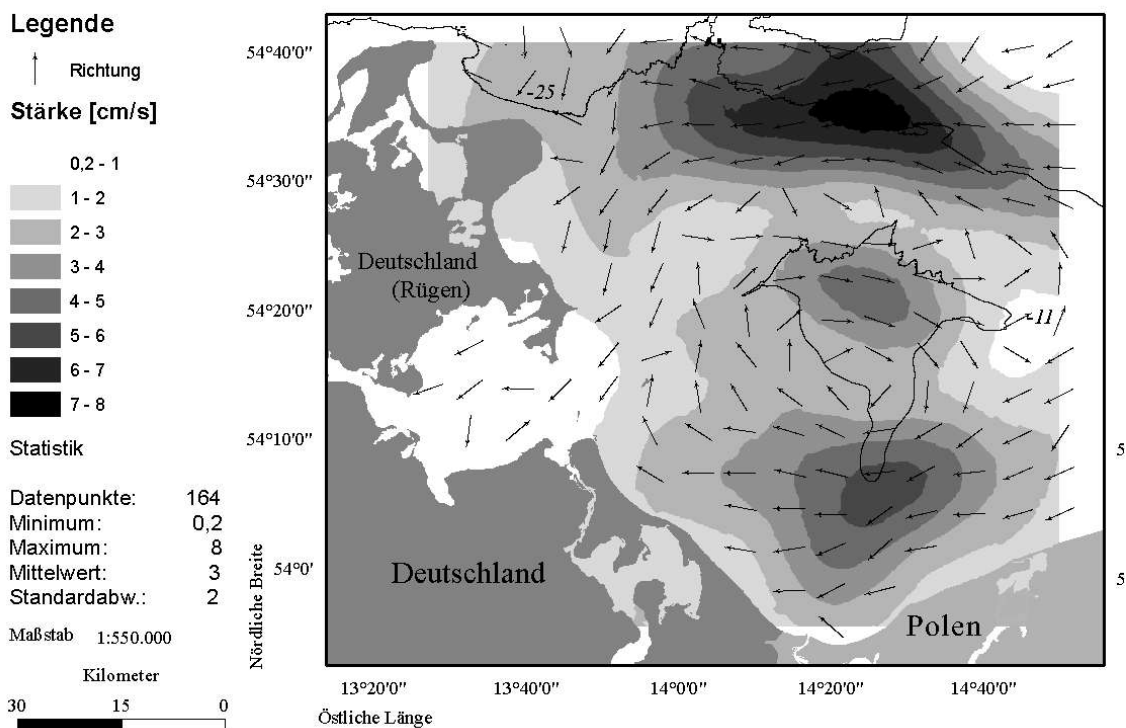


Abb. 7: Modellierte Mittelwerte der windinduzierten Strömung und Strömungsrichtungen in Bodennähe für das Untersuchungsgebiet vom 01.01.02 bis 28.12.04

Windinduzierte Strömung in Bodennähe - Maximalwerte 01. 01. 2002 - 28. 12. 2004

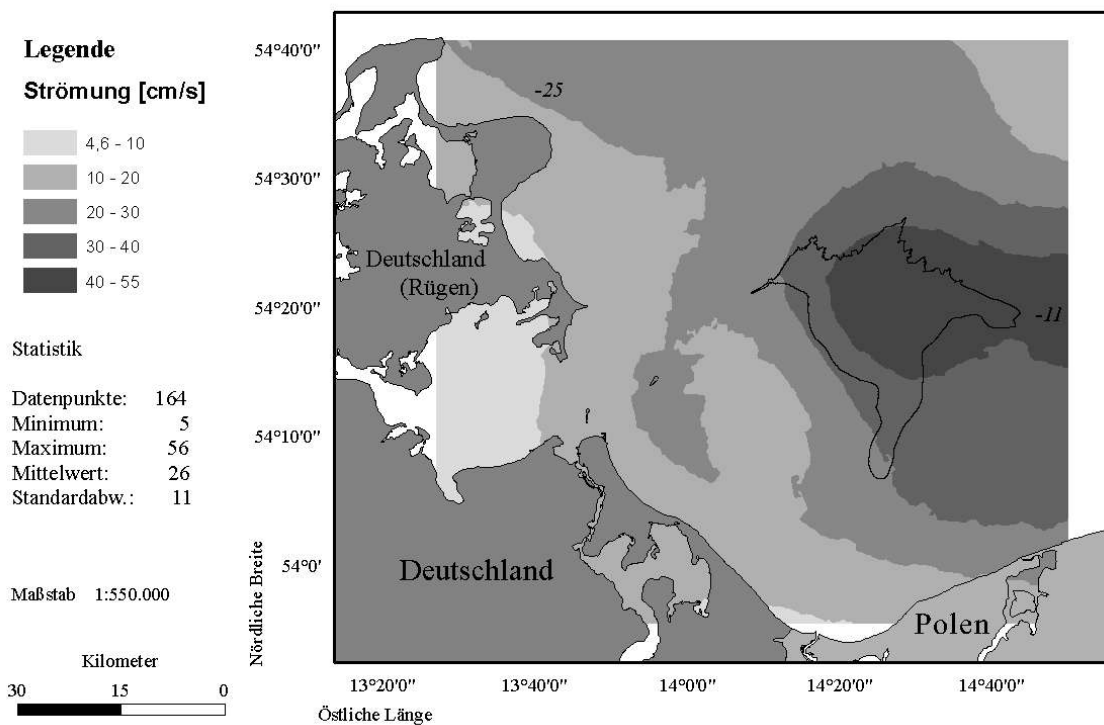


Abb. 8: Modellierte Maximalwerte der windinduzierten Strömung in Bodennähe für das Untersuchungsgebiet vom 01.01.02 bis 28.12.04

Im Süden ergießt sich die Oder mit einer jährlichen mittleren Abflussmenge von etwa 17 km³ bis 18 km³ über das Oderhaff in die Pommernbucht. Dieser Fluss hat somit einen Anteil von fast 95 Prozent an der Süßwasserzufuhr der Pommernbucht und einen Anteil von 4 Prozent am gesamten Flusswassereinstrom der Ostsee. Die Abflussmenge der Oder zeigt eine starke saisonale Varianz mit maximalen Werten in den Monaten März bis Mai und einem Minimum von Juli bis Oktober. Die Oder mündet über das Oderhaff, Swine, Peenestrom und Dziwna in die Pommernbucht. Der größte Austausch zwischen Haff und Bucht findet dabei durch die Swine statt, der Peenestrom und die Dziwna sind von geringerer Bedeutung für den Wasseraustausch (MOHRHOLZ 1998).

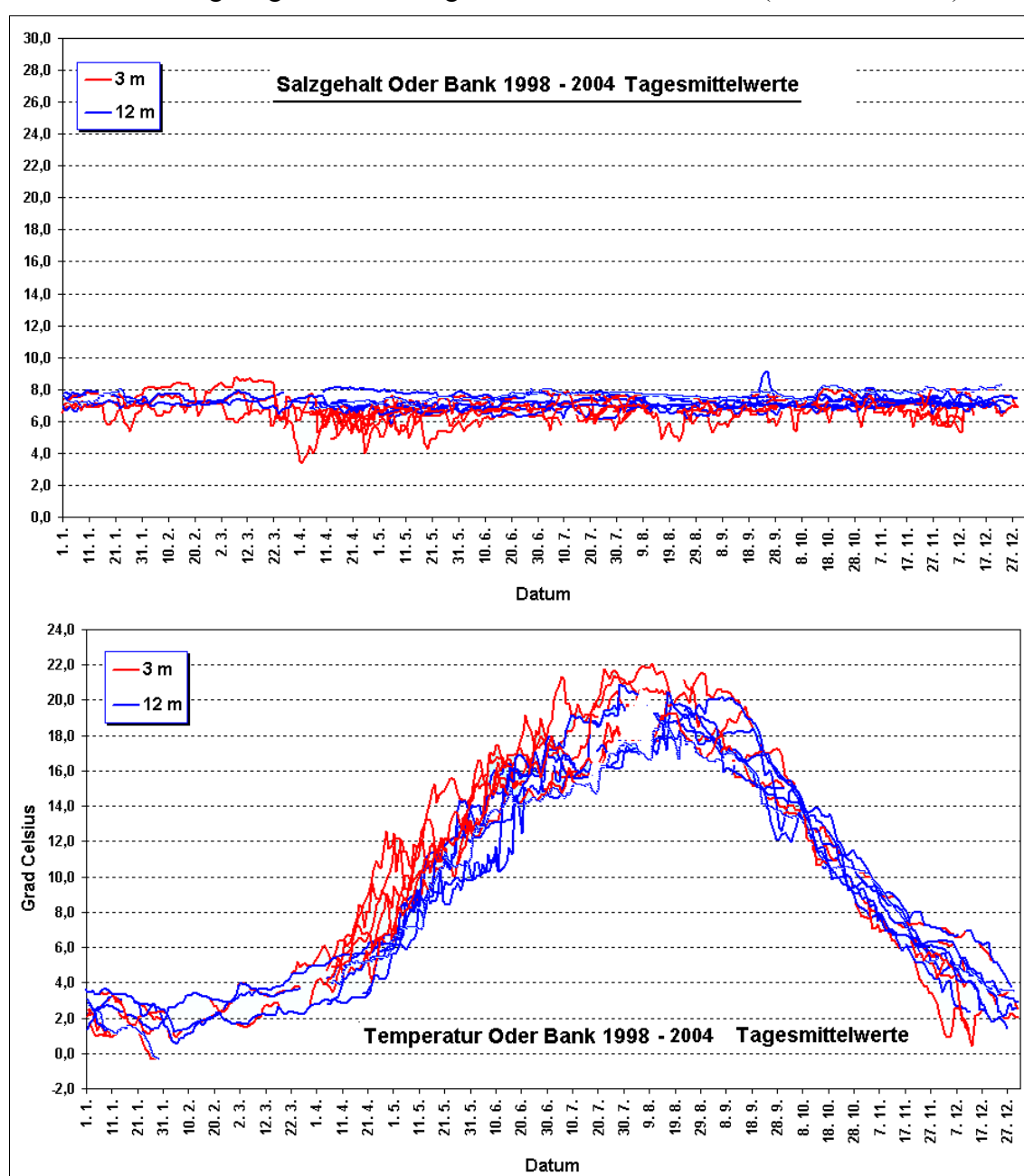


Abb. 9: Kollagen der Jahresmittelwerte für Temperatur und Salinität des Wasserkörpers in 3 m (rot) und 12 m (blau) Wassertiefe an der ODAS – Boje 1998 – 2005 (54°05' N, 14°10' E - Oderbank, Quelle: BSH)

2.3 Hard- und Software

Die Verarbeitung, Darstellung und Analyse großer Datenmengen stellten einen Schwerpunkt der Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit dar. Für diese Arbeiten wurde dem Autor vom IOW ein Arbeitsplatz – PC mit einer Athlon 3.0 GHZ – CPU, 520 MB – RAM und Netzwerkanschluss (LAN) zur Verfügung gestellt. Einen Überblick über die verwendete Software gibt die Tabelle 1, (unten).

Tab. 1: Überblick über die verwendete Software

Programm	Hersteller	Verwendungszweck
WINDOWS XP PROFESSIONAL 2002	Microsoft	Betriebssystem
PRIMER-E-V5	Primer – E Ltd.	Speziell für benthische Untersuchungen entwickelte Statistiksoftware
SPSS 13.0	SPSS Inc.	Statistiksoftware
SURFER 8.02	Golden Software Inc.	Software zur Bearbeitung und Visualisierung von Messdaten
TEXTPAD 4.7.3	Helios Software Solutions	Texteditor zur Bearbeitung großer Datenmengen
MATLAB 7	The MathWorks Inc.	Entwicklungsumgebung für mathematische Funktionen
OPENOFFICE – SUITE 1.1.5	Sun Microsystems Inc.	Textverarbeitungs- und Tabellenkalkulationssoftware
MICROSOFT – EXCEL 2002	Microsoft Office – Paket	Tabellenkalkulation
ARCVIEW 8.2	ESRI	GIS – Software
ARCVIEW 3.2	ESRI	GIS – Software
Biplot 1.1	State Dept. Virginia Tech.	Excel - Statistik – Erweiterung für multivariate Analysen
ORIGIN 5.0	MicroCal TM	Software zur Visualisierung und Analyse von Messdaten

2.4 Daten, Datenquellen und Datenbehandlung

Die Datengrundlage der vorliegenden Arbeit entstammt verschiedenen Quellen. Bis auf den Großteil der bathymetrischen Daten, die mir freundlicherweise vom BSH Rostock zur Verfügung gestellt wurden, waren alle anderen Daten bereits im Institut für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) in den verschiedenen Sektionen vorhanden. Diese Daten wurden mir, sofern dies aus rechtlichen Gründen möglich war, bereitwillig überlassen. Einige Daten waren zentral in der ODIN – Datenbank des Institutes gespeichert und konnten frei recherchiert werden.² Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die genaue Herkunft und Zusammensetzung der verwendeten Daten.

2.4.1 Biotische Parameter – Abundanz- und Biomassedaten

Die Daten der biotischen Parameter Abundanz und Biomasse benthischer Arten der Jahre 1993 bis 2005 wurden freundlicherweise von Herrn DR. M. L. ZETTLER aus der Benthos-Datensammlung der biologischen Sektion des IOW zur Verfügung gestellt. Abundanz- und Biomassedaten der von 1998 bis 2005³ im Untersuchungsgebiet Pommernbucht nachgewiesenen rezenten Arten lagen in Form von EXCEL – Tabellen vor. Für jede untersuchte Station waren in der Datenbank Abundanzen als Individuen/m² (Ind./m²), Frischmassen in mg/m² und Biomassen als aschefreies Trockengewicht (AFTG) in mg/m² angegeben. Neben diesen biotischen Parametern enthielt die benthologische Datenbank noch Daten der abiotischen Parameter für jede Probenahmestation. Abundanz- und Biomassedaten für die Jahre 1993 bis 1996 lagen als archivierte dBASE – Dateien im ASCII – Format und als Originalprotokolle vor. Diese Daten wurden im Zeitraum von 1993 bis 1996 im Rahmen des TRUMP – Projektes im Untersuchungsgebiet erhoben (KUBE 1996). Nach entsprechender Einheitenüberprüfung und -anpassung wurden diese Daten der bestehenden benthologischen Datenbank hinzugefügt. Bei der Visualisierung der Daten in ArcView fiel auf, dass der Datensatz vor allem nordwestlich der Oderbank größere räumliche Lücken aufwies. Um diese Lücken zu schließen, wurden Benthos- und Bodenproben einer Septemberausfahrt des laufenden Jahres aus diesem Gebiet bearbeitet. Nach Abschluss der Vorarbeiten lag ein Datensatz für die biotischen Parameter der Pommernbucht über einen Zeitraum von 12 Jahren mit 3.717 Einzeldaten für 213 Probenahmen und 89 rezente Arten vor (Abbildung 10, Seite 28).

² Nur evaluierte und überprüfte Daten werden in die ODIN – Datenbank übernommen.

³ Ein Großteil der Daten stammt aus dem vom BfN finanzierten *Projekt zur Untersuchung des geplanten Meeresschutzgebietes Oderbank* von 2004/2005

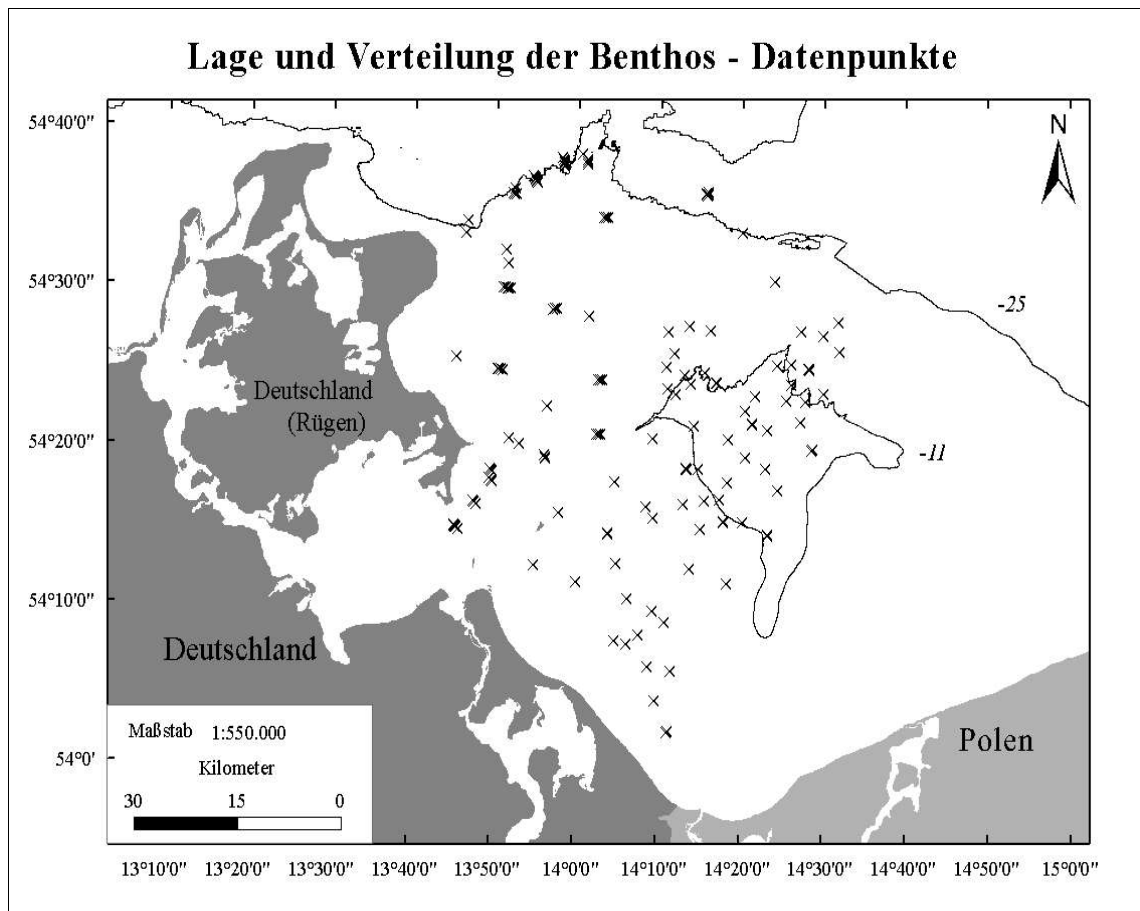


Abb. 10: Lage und Verteilung der Datenpunkte für biotische Parameter in der Pommernbucht, Daten von 1998 bis 2005

2.4.2 Abiotische Parameter – Bathymetrische Daten

Für die Berechnung des digitalen Geländemodells der Pommernbucht wurden Daten aus verschiedenen Quellen verwendet:

- Tiefendaten des Untersuchungsgebietes wurden freundlicherweise vom BSH – Rostock zur Verfügung gestellt. Die Übergabe der Daten erfolgte als Textdatei (x, y, z – Werte) mit Angabe der Koordinaten im geografischen System *WGS 84* in Dezimalgrad. Da dieser Datensatz vor allem für das Gebiet der Oderbank nicht flächendeckend vorlag, stellte das BSH zusätzlich Kopien bathymetrischer Vermessungskarten im tif – Format zur Verfügung. Die geografische Lage der Tiefendaten war in den kopierten Seekarten sowohl im *WGS 84* als auch im GAUSS – KRÜGER – Koordinatensystem angegeben. Diese Karten wurden georeferenziert und mit ArcView digitalisiert. Auf diese Weise konnten 43.649 zusätzliche Datenpunkte gewonnen werden. Die Auflösung der Datenpunkte des BSH - Datensatzes ist sehr hoch, die Abstände zwischen den Datenpunkten schwanken

zwischen 30 m und 300 m. Nach Auskunft des BSH⁴ entstammen die bathymetrischen Daten den digitalisierten Echolotscans der BSH - Messschifffahrten und sind evaluiert, d.h. sie wurden an den während der Messkampagne aktuell gültigen Normpegel der Ostsee angepasst. Dieser Normpegel orientiert sich an Normalnull (NN) und wird an die jeweils bestehenden natürlichen Wasserstände der Ostsee angepasst (MÜLLER-NAVARRA ET AL. 2003). Die Genauigkeit der Daten liegt nach BSH – Auskunft bei etwa ± 30 cm in der Tiefe und ca. ± 5 m in der Fläche. Submarine Strukturen wie Stein- und Geröllfelder wurden ebenfalls durch diesen Datensatz abgedeckt.

Ein im IOW in der geologischen Sektion vorhandener bathymetrischer Datensatz des MORWIN – Projektes konnte verwendet werden. Diese Daten lagen als negative Tiefenangaben in Metern mit Angabe der geografischen Koordinaten im GAUSS – KRÜGER – Koordinatensystem vor. Die Auflösung und Genauigkeit dieser Daten entsprach dem BSH – Datensatz. Die Daten des MORWIN – Projektes sind frei im Internet zu beziehen (BRÜGGEMANN ET AL. 1997).

- Der polnische Teil der Pommernbucht gehört streng genommen nicht mehr zum Untersuchungsgebiet und es sind aus wehrpolitischen Gründen auch keine bathymetrischen Daten für dieses Gebiet verfügbar. Um das bathymetrische Tiefenmodell der Pommernbucht dennoch möglichst vollständig wiederzugeben, wurden Daten für das polnische Seegebiet aus dem für die gesamte Ostsee im IOW vorliegenden IOWTOPO1-Datensatz (SEIFERT & KAYSER 1995) entnommen und mit den oben genannten bathymetrischen Daten verschnitten. Die Auflösung dieses Datenrasters ist geringer als die der BSH – Daten und liegt bei ca. 1 km bis 3 km Punktabstand.
- Digitale Daten für die Küstenlinien des Untersuchungsgebietes wurden der ESRI – GIS Data & Map – CD entnommen. Es wurde die Europa – Karte gewählt, um eventuelle spätere Erweiterungen der Bathymetrie auf andere Gebiete der Ostsee zu erleichtern. In der Europa – Karte waren einige Feinstrukturen, zum Beispiel Seen, nicht enthalten, daher wurde diese Karte mit einer detaillierteren und ebenfalls von ESRI stammenden GIS – Karte für Deutschland verschnitten (ESRI 2002).
- Um das DEM der Bathymetrie mit realen Werten zu vergleichen, wurden Tiefendaten aus archivierten DATADIS⁵ – Tiefenaufzeichnungen der vom 21.

4 Mündliche Auskunft Herr MONK, BSH – Rostock.

5 DATADIS = IOW - internes elektronisches Logbuch für die Fahrt Daten der Forschungsschiffe.

bis 27. April 2004 mit dem FS Prof. A. Penck durchgeführten Benthosfahrt 400410 extrahiert (GLOCKZIN 2004). Zusätzlich dazu wurden alle in der Benthosdatenbank enthaltenen Tiefen extrahiert und mit den extrahierten DATADIS – Tiefenwerten verschnitten. Zu beachten ist, dass diese Daten nicht evaluiert sind, jedoch nur auf diese Weise eine Überprüfung des DEM mit realen Werten möglich war.

Zur Berechnung des bathymetrischen Modells stand nach der Verschneidung aller oben genannten Datenquellen ein Datenraster von ca. 2.900.000 Datenpunkten mit unterschiedlicher Auflösung zur Verfügung. Der Abstand der Punkte in diesem Raster ist nicht einheitlich sondern schwankt, wie bereits erwähnt, zwischen 30 m bis 300 m für den Datensatz des BSH und zwischen 1 km bis 3 km für den IOWTOPO1 – Datensatz des IOW – Warnemünde. Die Abbildung 11 (unten) zeigt die Lage und Verteilung der Datenpunkte des vollständigen, für die Erstellung des digitalen bathymetrischen Geländemodells benutzten Datensatzes im Untersuchungsgebiet.

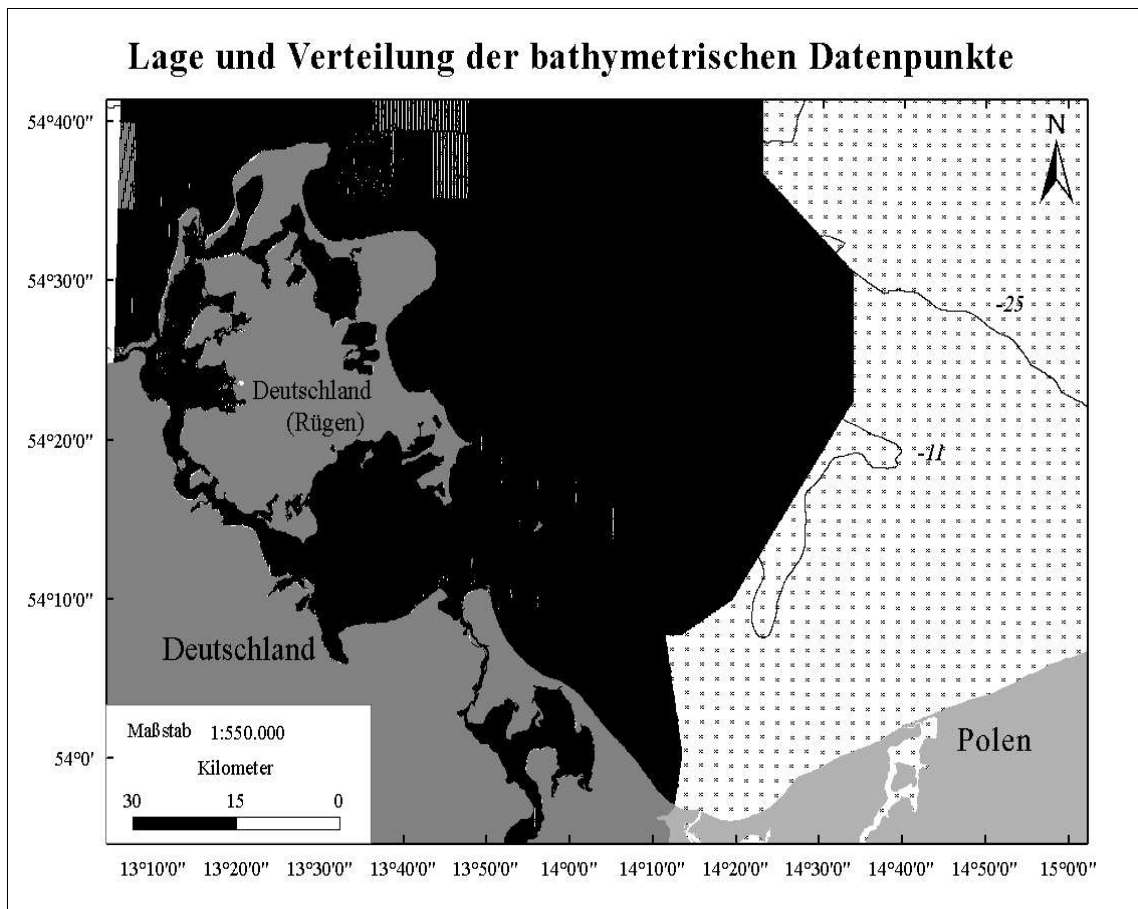


Abb. 11: Lage und Verteilung aller bathymetrischen Datenpunkte im Gebiet der Pommernbucht, auf Grund der hohen Datendichte erscheinen die BSH und IOW - Tiefendaten als schwarze Fläche, kleine Kreuze = IOWTOPO1 - Datensatz

2.4.3 Abiotische Parameter – Sedimentdaten

Der überwiegende Teil der für die Berechnung der Verteilung, Vorkommen und Charakteristik von Sedimenten verwendeten Daten in der Pommernbucht stammt aus der geologischen Sektion des IOW und wurde freundlicherweise von Herrn Dr. B. BOBERTZ zur Verfügung gestellt. Die Daten wurden dort im Rahmen der beiden Projekte SINCOS und DYNAS erhoben. Der von der geologischen Abteilung übergebene Datensatz enthielt Sedimentparameter für die Mittlere Korngröße (berechnet nach McMANUS 1988), Permeabilität (berechnet nach KRUMBEIN & MONK in FORSTER ET AL. 2003) und Sortierung (berechnet nach McMANUS 1988). Seit April 2004 werden im Rahmen von Benthosmonitoring- und Projektfahrten vom Benthoslabor an den untersuchten Stationen ebenfalls Sedimentproben entnommen und auf Korngröße (nach McMANUS 1988) und den Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff analysiert. Diese Daten sind Bestandteil der bereits unter Abschnitt 2.4.1 (S. 27) erwähnten abiotischen Parameter der Benthosdatenbank. Mit den in der biologischen Sektion vorhandenen Rohdaten für Sedimentproben von Probenahmen wurden die Parameter Permeabilität und Sortierung nach den gleichen Methoden wie in der geologischen Sektion berechnet und beide Datensätze für

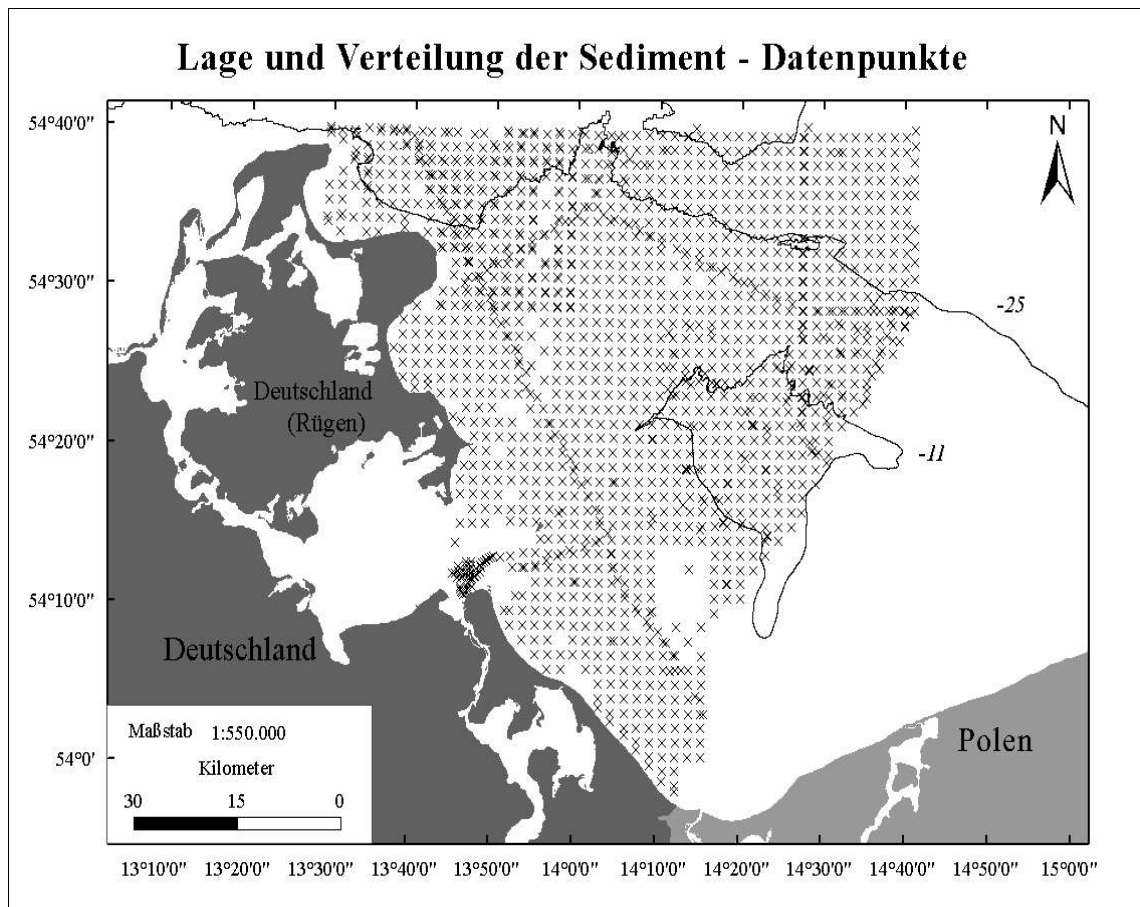


Abb. 12: Lage und Verteilung der Datenpunkte für Sedimentdaten in der Pommernbucht

die sedimentologischen Parameter mit ArcView verschnitten.⁶ Zur Interpolation der Sedimentverteilungen, -vorkommen und -charakteristik für die Pommernbucht stand ein Datenraster von 1.607 Datenpunkten mit einem Abstand der Datenpunkte von 0,5 km bis 5 km zur Verfügung (siehe Abbildung 12 auf Seite 31).

2.4.4 Abiotische Parameter – Strömungsdaten

Die Entwicklung von Strömungsmodellen setzt längerfristige Erfahrung und Praxis im Umgang mit der entsprechenden Simulationssoftware, der Programmierung von physikalischen Modellen sowie entsprechende Vorbildung voraus und hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Um Aussagen über die im Untersuchungsgebiet herrschenden bodennahen Strömungen machen zu können, wurde von Herrn DR. SEIFERT in der physikalischen Sektion des IOW – Warnemünde ein Strömungsmodell wie folgt erstellt: auf der Basis eines vereinfachten physikalischen Modells und Klimadaten der Pommernbucht wurde die Richtung und Stärke der windinduzierten bodennahen Wasserströmungen im Zeitraum vom 01. Januar 2002 bis zum 28. Dezember 2004 über drei Jahre hinweg simuliert. Das Simulationsdatenraster hatte dabei eine räumliche Auflösung von 16 mal 16 Datenpunkten im Quadrat, wobei die Punkte einen Abstand von ca. 6 km zueinander hatten. Die Verteilung der Datenpunkte zeigt die Abbildung 13 auf der Seite 33 (In dieser Abbildung sind einige Rasterpunkte von Landmassen verdeckt). Für jeden der 256 Datenpunkte wurden 547 Einzelberechnungen durchgeführt. Die zeitliche Auflösung betrug 2 Tage pro Berechnungsschritt. Insgesamt wurden von Herrn DR. SEIFERT 140.032 Einzeldaten zur Implementierung in GIS übergeben. Der Datensatz bestand dabei aus den geografischen x, y – Lagedaten der Datenpunkte im *WGS 84* – System in Dezimalgrad, der zonalen⁷ und der meridionalen⁸ Strömungskomponente sowie dem Betrag der resultierenden Strömung in cm/s. Um die Strömung in ArcView zu übernehmen wurde aus den u, v – Vektoren für jeden einzelnen der 140.032 Datenpunkte die Richtung der Strömung von 0 bis 360° per Vektoralgebra berechnet. Im Anschluss daran wurde die in Abbildung 7 (S. 24) gezeigte mittlere Strömung und die in Abbildung 8 (S. 24) gezeigte maximale Strömung in Betrag und Richtung für drei Jahre berechnet (BRONSTEIN ET AL. 1999).

6 Die den Methoden zu Grunde liegenden Verfahren und Gleichungen sind in der Literatur ausführlich beschrieben, daher wird an dieser Stelle nicht darauf eingegangen.

7 Die Strömungskomponente in Ost – West – Richtung = X – Wert.

8 Die Strömungskomponente in Nord – Süd – Richtung = Y – Wert.

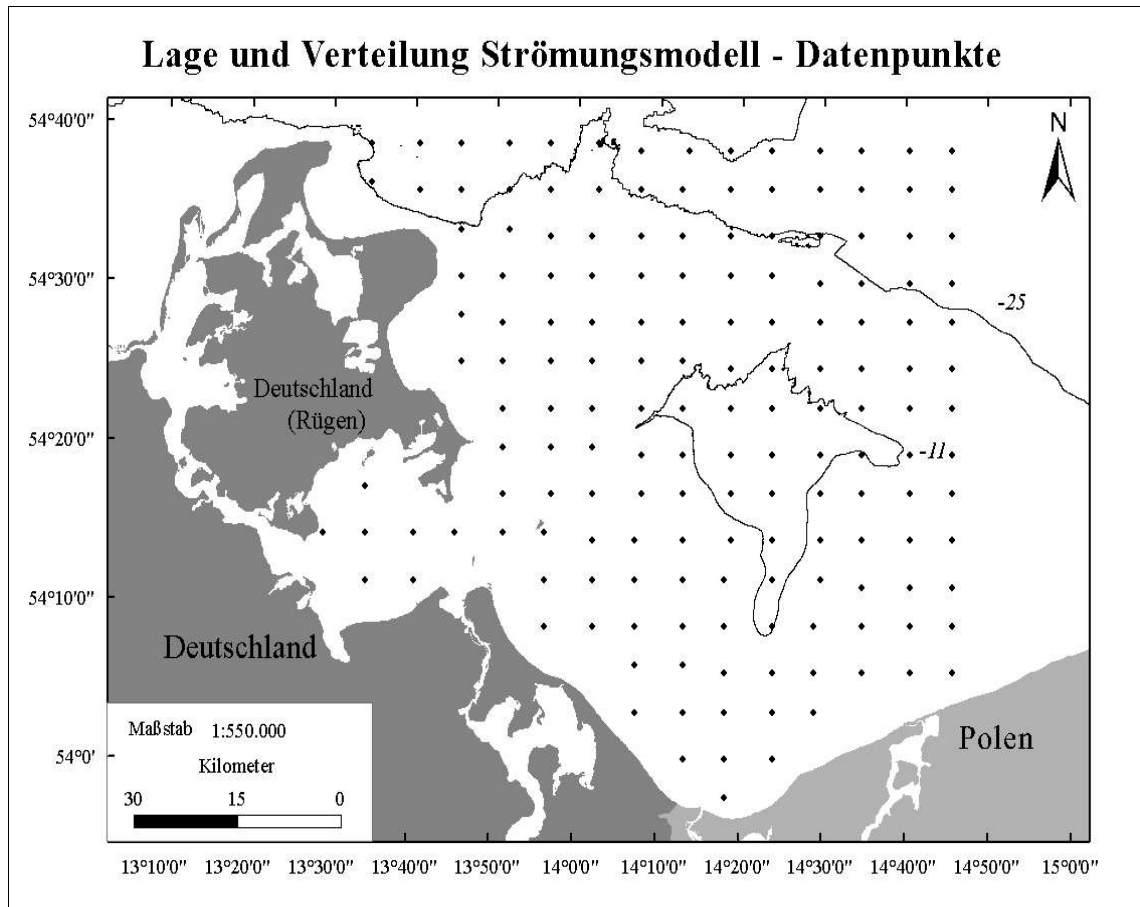


Abb. 13: Lage und Verteilung der Datenpunkte des Strömungsmodells in der Pommernbucht

2.4.5 Abiotische Parameter – Salinität und Sauerstoffgehalt

In der Benthos-Datenbank (siehe Abschnitt 2.4.1, S. 27) sind für jede beprobte Station neben den biotischen Parametern der Arten noch die physikalischen Parameter Tiefe, Salz- und Sauerstoffgehalt sowie Mittlere Korngröße und Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff enthalten. Die physikalischen Parameter sind nicht für jeden Datensatz vollständig. Dies hat unterschiedliche Gründe. Einige Methoden wurden zum Beispiel zum Zeitpunkt der Probenahme noch nicht durchgeführt, eine Erfassung des Parameters war zum gegebenen Zeitpunkt aus technischen Gründen nicht möglich oder von Anfang an für diese Stationen nicht vorgesehen. Um das bestehende Datenpunkteraster für eine Interpolation der physikalischen Parameter zu erweitern, wurden in der ODIN – Datenbank des IOW – Warnemünde zwischen 1998 und 2005 in der Pommernbucht gemessene physikalische Parameter recherchiert und so weitere 79 Datensätze gefunden. Auch diese Datensätze enthielten aus o.a. Gründen nicht alle physikalischen Parameter, aber die vorhandene Datendichte konnte so erhöht werden. Durch Verschneidung der recherchierten und den in der Benthos – Datenbank

enthaltenen Datensätzen in ArcView wurde ein eigenständiger Datensatz gebildet und hauptsächlich zur Darstellung und Recherche genutzt (Abb. 14, unten).

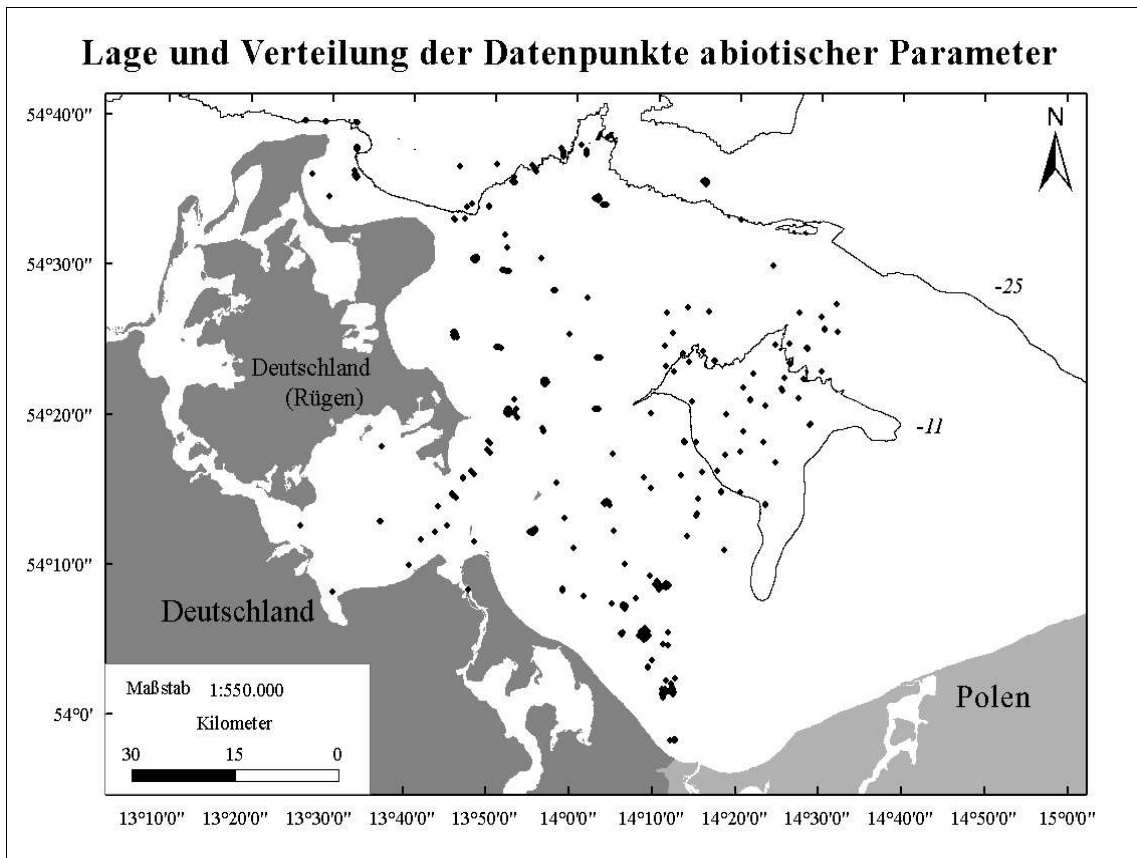


Abb. 14: Lage und Verteilung der Datenpunkte für abiotische Parameter in der Pommernbucht

2.5 Implementierung der Daten in ein Geoinformationssystem

Um die Versuchsplanung, Analyse und Visualisierung vorhandener Daten zukünftig effizienter zu gestalten, sollten die vorhandenen biotischen und abiotischen Daten in ein Geoinformationssystem (GIS) implementiert werden. In der geologischen Abteilung des IOW war sowohl ESRI ArcView 3.2 als auch ArcView 8.2, auf welches zum Zeitpunkt der Bearbeitung umgestellt wurde, vorhanden. Beide Programme sind Geoinformationssysteme der gleichen Firma, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich ihrer Programmarchitektur, Bedienung und Arbeitsweise voneinander. ArcView 8.2 ist leistungsfähiger als ArcView 3.2, abwärtskompatibel und wurde als Zielsystem der Implementierung gewählt. Eine detaillierte Darstellung aller Methoden und Arbeitsschritte ist nicht Gegenstand der Arbeit und würde ihren Rahmen sprengen. An dieser Stelle muss auf entsprechende Literatur, z.B. LIEBIG & MUMMENTHEY (2002), verwiesen werden. Es zeigte sich, dass ArcView 8.2 zwar in vielerlei Hinsicht moderner, leistungsfähiger und komplexer, damit aber auch instabiler als ArcView

3.2 ist. Ferner stellt das Programm höhere Anforderungen an die Hardware als ArcView 3.2. Für die Manipulation und Interpolation sehr großer Datenmengen, wie z.B. der bathymetrischen Datenraster, erwiesen sich beide ArcView – Versionen als ungeeignet. Einige Aufgaben wurden daher alternativ mit einem Mix aus Programmen und Methoden gelöst (siehe Tabelle 1, S. 26). Alle im folgenden beschriebenen implementierten Daten wurden unter ArcView 8.2 in einer Geodatenbank zusammengefasst. Diese Option erleichtert die Datenablage und Bearbeitung und wird von ESRI ab der ArcView - Version 8 angeboten (LIEBIG & MUMMENTHEY 2002).

2.5.1 Implementierung der bathymetrischen Daten

Aus den vorliegenden bathymetrischen Punktdaten wurde mit SURFER unter Verwendung des Interpolationsverfahrens *Ordinary KRIGING*⁹ ein DEM der Pommernbucht erstellt. Diese Interpolationsmethode weist gegenüber anderen Verfahren mehrere Vorteile auf (WALDOW 1989):

- KRIGING ist nicht nur ein erwartungstreuer linearer Schätzer, sondern auch ein BLUE (Best Linear Unbiased Estimator - Schätzer mit geringster Abweichung), da er die Schätzfehler minimiert.
- Der KRIGING – Algorithmus arbeitet exakt, d.h. die Schätzung an den Messpunkten entspricht genau dem an dieser Stelle gemessenen Wert. Dies gilt nicht für alle Interpolationsverfahren.
- KRIGING ist tolerant gegenüber unregelmäßig verteilten Messpunkten, da er zum Beispiel die Gewichte von vielen räumlich dicht beieinander auftretenden Messpunkten (Cluster) auf weiter entfernte, aber redundant platzierte Messpunkte verteilt. Das Verfahren ist in dieser Hinsicht stabiler als andere Methoden.

Die Darstellung der mathematischen Grundlagen und Berechnungen würde an dieser Stelle zu weit führen.¹⁰ Dies gilt ebenfalls für die im Verfahren verwendete Variogrammanalyse und -modellierung. Das Verfahren ist eine Standardmethode der Dateninterpolation und in der Literatur ausführlich beschrieben. Um ein abstandsgewichtetes Interpolationsverfahren wie das Verfahren nach KRIGING anwenden zu können, müssen Lagedaten in einem rechtwinkligen und isotropen

⁹ Das bedeutet: KRIGING unter Zuhilfenahme einer Variogrammanalyse.

¹⁰ Das Verfahren wird im CD – Anhang II auf der beiliegenden Daten – CD näher erläutert.

Koordinatensystem angegeben werden. Bei der Verwendung anisotropischer und nicht winkeltreuer Koordinatensysteme kann der Algorithmus zu falschen Ergebnissen führen (MEYER 2002). Daher wurde als Grundlage der GIS – Implementierung für alle geografischen Lagedaten das Koordinatensystem nach GAUSS – KRÜGER¹¹ gewählt und alle bis dato im *WGS 84* – Format vorliegenden Lagedaten in ArcView in das GAUSS – KRÜGER – Koordinatensystem transformiert und anschließend mit SURFER interpoliert. Die Auflösung des interpolierten Rasters wurde mit 50 m gewählt. Nach Abschluss der Interpolation wurde das DEM in ArcView importiert.

2.5.2 Implementierung der abiotischen und biotischen Parameter

Die Implementierung der sedimentologischen Punktdaten für die Mittlere Korngröße, Permeabilität und Sortierung in ArcView erfolgte analog der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Implementierung des bathymetrischen Datensatzes. Alle abiotischen und biotischen räumlichen Punktdaten wurden in ArcView importiert, in das GAUSS – KRÜGER – Koordinatensystem umgewandelt und als shape –Dateien¹² in einer ArcView – Geodatenbank zur weiteren Verwendung abgelegt.

2.6 Statistische Auswertung

Geeignete Visualisierungsmethoden für gemessene Parameter können oft schon Zusammenhänge zwischen biotischen und abiotischen Parametern aufzeigen. Fällt z.B. beim Eintragen von Abundanzdaten in eine Karte des Untersuchungsgebietes auf, dass bestimmte Arten in bestimmten Gebieten höhere Abundanzen aufweisen als in anderen, so kann dies ein Hinweis auf einen diese Art begünstigenden Umweltfaktor in diesem Gebiet sein. Kann diese Beobachtung auch bei entsprechenden Wiederholungen der Messung immer wieder gemacht werden, so besteht wahrscheinlich eine echte Wechselbeziehung, eine so genannte **Korrelation**¹³ zwischen den biotischen und abiotischen Parametern des Untersuchungsgebietes (RASCH ET AL. 1973).¹⁴

11 Auch bekannt als die *transverse Mercator-Projektion*, da sie die Projektion entlang eines Meridians an Stelle des Äquators, vornimmt. Sie ist dem UTM – System sehr ähnlich, die Verzerrung nimmt mit dem Abstand vom Hauptmeridian zu. GK ist winkeltreu und gut für kleinere Abbildungen geeignet, da hier die Verzerrungen minimal sind (MEYER 2002).

12 Ein Geodatenformat in ArcView.

13 **kor|re|lat**, kor|re|lativ <lat.> = sich wechselseitig erfordernd und bedingend. Im mathematischen Sinn ein stochastischer Zusammenhang zwischen gleichwertigen Zufallsvariablen (SACHS 1997).

14 In dieser Arbeit wird nur bei berechneten mathematischen Zusammenhängen von **Korrelation** gesprochen und ggf. der Korrelationskoeffizient (r) mit angegeben oder auf ihn verwiesen. Bei allen anderen, mathematisch nicht berechneten, Zusammenhängen wird der Terminus **Abhängigkeit** oder **Beziehung** verwendet.

2.6.1 Auswahl biotischer und abiotischer Parameter zur statistischen Untersuchung

Nach den im Abschnitt 2.4.1 (S. 27) beschriebenen Vorarbeiten enthielt die Benthosdatenbank Datensätze von 56 Stationen der Jahre 1993 bis 1996 und 157 Stationen der Jahre 1998 bis 2005. In jeder dieser beiden Untersuchungsperioden wurden 89 Arten rezent in der Pommernbucht nachgewiesen (siehe Artenliste I in Tabelle 22, S. 140 und Artenliste II in Tabelle 23, S. 141, Anhang). Als Datengrundlage dieser Arbeit wurden die Datensätze der Jahre von 1998 bis 2005 (im folgenden *Ursprungsdatensatz* genannt) gewählt, um relativ aktuelle benthische Daten zu benutzen. Von den vorhandenen biotischen Parametern gingen nur die Abundanzen der Arten in die statistische Betrachtung ein, da lediglich das Vorkommen der Arten entlang von Umweltgradienten untersucht wurde und nicht, wie gut sich die Arten in den entsprechenden Gebieten etabliert haben oder welche energetischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arten bestehen (WEIHER & KEDDY 1999). Vor der Artenauswahl wurden alle Stationsbezeichnungen des Ursprungsdatensatzes für die Verwendung in dieser Arbeit mit dem einheitlichen Kürzel **PB**, einer durchlaufenden Nummerierung und einer aus Monat und Jahr bestehenden Datumsangabe (z.B. PB001_09_2004) codiert. Aus dem Ursprungsdatensatz der Jahre 1998 bis 2005 wurden nun sukzessiv und gezielt Arten nach bestimmten Kriterien entfernt. Auf diese Weise entstanden 4 Datensätze biotischer Parameter (**A**, **B**, **C – Bio** und **D**) und ein Datensatz abiotischer Parameter (**C-Abio**), die zur statistischen Untersuchung genutzt werden konnten:

- **Datensatz A:** Für diesen Datensatz wurden aus den Ursprungsdaten jene Arten entfernt, die (1) nur qualitativ nachgewiesen wurden, wie zum Beispiel *Hydrozoa*, (2) nur eine Summe verschiedener Arten gleicher Gattungen darstellten, d.h. bei denen eine Bestimmung bis zur Art nicht möglich war, wie zum Beispiel *Oligochaeta indet.* und (3) nach einem Vorschlag von LOZÁN & KAUSCH (2004) mit einer Präsenz von weniger als 6% bei allen Probenahmen vorkamen. Biologisch begründete Gesichtspunkte spielten bei der Auswahl der Arten ebenfalls eine Rolle. So wurden zum Beispiel Ausnahmen von (3) gemacht, wenn es sich um Arten typischer benthischer Infauna handelte. Datensatz A enthielt 44 Arten und 157 Stationen.
- **Datensatz B:** Dieser Datensatz entstand aus Datensatz A, aus dem Arten entfernt wurden, die weniger als 3 Prozent zur Gesamtabundanz des Ursprungsdatensatzes beitrugen (nach FIELD ET AL. 1982 in CLARKE & WARWICK

1997). *Mytilus edulis* wurde trotz ihres großen Anteils an der Abundanz aus dem Datensatz entfernt, weil diese Muschel zur Bildung sehr stark geklumpter Kolonien¹⁵ neigt und die Ergebnisse der quantitativen Nachweise bei der in der Benthologie üblichen Methode der Probenahme mit einem Greifer nicht repräsentativ sind (KUBE ET AL. 1997). Datensatz C bestand noch aus 23 Arten und 157 Stationen.

- **Datensatz C-Bio:** Dieser Datensatz wurde direkt aus dem Ursprungsdatensatz gebildet. Um Zusammenhänge zwischen biotischen und abiotischen Parametern statistisch zu untersuchen, mussten Stationen aus der Originaldatenbank gewählt werden, für die alle abiotischen Parameter vorhanden waren. Diesem Kriterium entsprachen 56 Stationen. Für diese Stationen wurde die Artenauswahl nach den unter Datensatz A und B genannten Kriterien getroffen. C-Bio besteht aus 21 Arten und 56 Stationen. Die für diese 56 Stationen im Ursprungsdatensatz enthaltenen sieben abiotischen Parameter Tiefe, Sauerstoff- und Salzgehalt, Mittlere Korngröße, Permeabilität, Sortierung und Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff wurden in dem gesonderten Datensatz **C-Abio** zusammengefasst (siehe Abb. 57, S. 136, Anhang). Für die in Abschnitt 2.6.4.2 (S. 43) beschriebene Cluster – Analyse wurden die Abundanzen nach Taxa zusammengefasst. Dieser Datensatz erhielt keine eigene Bezeichnung.
- **Datensatz D:** Nach der Durchführung eines Boxplots mit Datensatz B wurden alle Arten entfernt, die zu viele Ausreißer enthielten oder nicht darstellbar waren. Nur noch 12 Arten und 157 Stationen waren in diesem Datensatz enthalten.

In Statistikprogrammen gibt es bei Datenbeschriftungen oft strikte Restriktionen für die Länge von Bezeichnungen. Daher wurden die Artnamen folgendermaßen codiert: je 3 Buchstaben des lateinischen Vor- und Zunamens bildeten ein Kürzel, z.B. wurde für *Pygospio elegans* das Kürzel *Pygele* gewählt. Auf diese Weise konnten alle Arten einwandfrei zugeordnet werden. Einen Überblick über die in den Datensätzen jeweils enthaltenen Arten, ihre Kürzel und taxonomische Zuordnung gibt Tabelle 2 (Seite 39).

¹⁵ Dies sind so genannte *Patches*. Die Ergebnisse von Abundanzen aus zwei verschiedenen Greiferprobenahmen am selben Probenahmestandort können daher auf kleinstem Raum sehr stark voneinander abweichen, je nachdem, ob eine Kolonie gegriffen wird oder nicht.

Tab. 2: Auswahl der Arten für statistische Verfahren

Arten			Datensatz				Arten			Datensatz			
			A	B	C	D				A	B	C	D
Namen	Kurz	Klasse					Namen	Kurz	Klasse				
<i>Acari indet.</i>	Acaind	Arachnida					<i>Lineus ruber</i>	Linrub	Nemertea	X			
<i>Alcyonidium polyoum</i>	Alcpol	Bryozoa					<i>Macoma balthica</i>	Macbal	Bivalvia	X	X	X	X
<i>Alkmaria rominji</i>	Alkrom	Polychaeta					<i>Manayunkia aestuarina</i>	Manaes	Polychaeta	X			
<i>Ampharete baltica</i>	Ampbal	Polychaeta	X	X			<i>Marenzelleria neglecta</i>	Marneg	Polychaeta	X	X	X	X
<i>Ampithoe rubricata</i>	Amprub	Crustacea					<i>Melita palmata</i>	Melpal	Crustacea				
<i>Arenicola marina</i>	Aremar	Polychaeta	X				<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	Micgry	Crustacea	X			
<i>Balanus improvisus</i>	Balimp	Crustacea	X	X	X		<i>Monoporeia affinis</i>	Monaff	Crustacea				
<i>Bathyporeia pelagica</i>	Batpel	Crustacea					<i>Mya arenaria</i>	Myaare	Bivalvia	X	X	X	X
<i>Bathyporeia pilosa</i>	Batpil	Crustacea	X	X	X	X	<i>Mysis mixta</i>	Mysmix	Crustacea	X			
<i>Bylgides sarsi</i>	Bylsar	Polychaeta	X	X	X		<i>Mytilus edulis</i>	Mytedu	Bivalvia	X			
<i>Callopora lineata</i>	Callin	Bryozoa					<i>Nais elinguis</i>	Naieli	Oligochaeta	X			
<i>Capitella capitata</i>	Capcap	Polychaeta					<i>Neanthes succinea</i>	Neasuc	Polychaeta	X	X	X	
<i>Carcinus maenas</i>	Carmae	Crustacea					<i>Nemertini indet.</i>	Nemind	Nemertea				
<i>Cerastoderma glaucum</i>	Cergla	Bivalvia	X	X	X	X	<i>Neomysis integer</i>	Neoint	Crustacea	X			
<i>Chironomidae indet.</i>	Chiind	Insecta					<i>Obelia sp.</i>	Obesp.	Hydrozoa				
<i>Clava multicornis</i>	Clamul	Hydrozoa					<i>Oligochaeta indet.</i>	Oliind	Oligochaeta				
<i>Corophium lacustre</i>	Corlac	Crustacea					<i>Opercularella lacerata</i>	Opelac	Hydrozoa				
<i>Corophium volutator</i>	Corvol	Crustacea	X	X	X	X	<i>Palaemon elegans</i>	Palele	Crustacea				
<i>Crangon crangon</i>	Cracra	Crustacea	X				<i>Palaemon squilla</i>	Palsqu	Crustacea				
<i>Cyathura carinata</i>	Cyacar	Crustacea	X	X	X		<i>Paranais litoralis</i>	Parlit	Oligochaeta	X			
<i>Diastylis rathkei</i>	Diarat	Crustacea	X	X	X		<i>Polydora cornuta</i>	Polcor	Polychaeta	X			
<i>Electra crustulenta</i>	Elecru	Bryozoa					<i>Polydora quadrilobata</i>	Polqua	Polychaeta				
<i>Enchytraeidae indet.</i>	Encind	Oligochaeta					<i>Pontoporeia femorata</i>	Ponfem	Crustacea	X	X		
<i>Eteone longa</i>	Etelon	Polychaeta	X				<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Potant	Gastropoda				
<i>Euratea loricata</i>	Euclor	Bryozoa					<i>Praunus flexuosus</i>	Prafle	Crustacea	X			
<i>Fabricia stellaris</i>	Fabste	Polychaeta	X	X	X		<i>Praunus inermis</i>	Praine	Crustacea				
<i>Gammarus oceanicus</i>	Gamoce	Crustacea	X				<i>Priapulus caudatus</i>	Pricau	Priapuloidae				
<i>Gammarus salinus</i>	Gamsal	Crustacea	X				<i>Prostoma obscura</i>	Proobs	Nemertea	X			
<i>Gammarus tigrinus</i>	Gamtig	Crustacea					<i>Pusillina inconspicua</i>	Pusinc	Gastropoda				
<i>Gammarus zaddachi</i>	Gamzad	Crustacea	X				<i>Pygospio elegans</i>	Pygele	Polychaeta	X	X	X	X
<i>Gastrosaccus spinifer</i>	Gasspi	Crustacea					<i>Rithropanopeus harrisi</i>	Rithar	Crustacea				
<i>Halacaridae indet.</i>	Halind	Arachnida					<i>Saduria entomon</i>	Sadent	Crustacea	X			
<i>Halicryptus spinulosus</i>	Halspi	Priapuloidae	X	X	X		<i>Scalibregma inflatum</i>	Scainf	Polychaeta				
<i>Halitholus yoldia-arcticae</i>	Halyol	Hydrozoa					<i>Scoloplos armiger</i>	Scoarm	Polychaeta	X	X	X	
<i>Hartlaubella gelatinosa</i>	Hargel	Hydrozoa					<i>Sphaerodoropsis baltica</i>	Sphbal	Polychaeta				
<i>Hediste diversicolor</i>	Heddiv	Polychaeta	X	X	X	X	<i>Stiliger vesiculosus</i>	Stives	Gastropoda				
<i>Heterotanais oerstedii</i>	Hetoer	Crustacea					<i>Streblospio dekhuyzeni</i>	Strdek	Polychaeta	X	X	X	X
<i>Hydrobia ulvae</i>	Hydulv	Gastropoda	X	X	X	X	<i>Streptosyllis websteri</i>	Strweb	Polychaeta				
<i>Hydrobia ventrosa</i>	Hydven	Gastropoda	X				<i>Tenellia adpersa</i>	Tenads	Gastropoda				
<i>Hyperia galba</i>	Hypgal	Crustacea					<i>Theodoxus fluviatilis</i>	Theflu	Gastropoda				
<i>Idotea balthica</i>	Idobal	Crustacea	X				<i>Tubificoides benedeni</i>	Tubben	Oligochaeta	X	X	X	X
<i>Idotea chelipes</i>	Idoche	Crustacea	X				<i>Tubifex costatus</i>	Tubcos	Oligochaeta	X	X	X	X
<i>Jaera albifrons</i>	Jaalb	Crustacea	X	X	X		<i>Turbellaria indet.</i>	Turind	Plathelminthes				
<i>Laomedea flexuosa</i>	Laofle	Hydrozoa					<i>Verticillina verticillata</i>	Verver	Hydrozoa				
<i>Leptocheirus pilosus</i>	Leppil	Crustacea					Summe	89		44	23	21	12

A, B, C und **D** = jeweiliger Datensatz, Bei Datensatz **C** handelt es sich um den auf Seite 38 beschriebenen Datensatz **C-Bio**.

2.6.2 Anpassungstests

Anpassungstests dienen der Prüfung, ob die Werte einer Messreihe einer theoretischen statistischen Verteilung entsprechen. Ist eine bestimmte theoretische Verteilung gegeben, so können Parameter dieser Verteilungen verglichen und für statistische Methoden genutzt werden. In diesem Fall handelt sich um so genannte *parametrische* oder *verteilungsabhängige* Tests. Sind die Voraussetzungen theoretischer Verteilungen nicht gegeben, so haben parametrische Tests nicht mehr die entsprechende Teststärke¹⁶ und sind somit für eine statistisch gesicherte Aussage ungeeignet. In diesem Fall kommen für statistische Untersuchungen verteilungsunabhängige, so genannte *nicht parametrische* Tests, in Betracht. An Stelle der Verwendung der originalen Messwerte werden hier den Messwerten zugeordnete Rangzahlen verwendet. Da parameterfreie Tests im Vergleich zu parametrischen Tests auf geringeren zugrunde liegenden Informationen beruhen und zu ihrer Verwendung weniger Voraussetzungen erfüllt sein müssen als bei parametrischen Tests, haben nicht-parametrische Tests fast immer eine geringere Teststärke als parametrische Tests (SACHS 1997). Verteilungen von Daten können grafisch oder rechnerisch beurteilt werden. Für alle in den statistischen Untersuchungen verwendeten biotischen und abiotischen Parameter wurden Box – Whisker – Plots erstellt und ein Anpassungstest nach KOLMOGOROFF - SMIRNOFF mit SPSS durchgeführt. Den Ergebnissen der Anpassungstests wird hier vorgegriffen, da sie bei der im folgenden beschriebenen Auswahl der jeweils verwendeten statistischen Methoden und Datentransformationen berücksichtigt wurden. Die Daten der abiotischen Parameter waren fast durchweg normalverteilt, nur die Verteilungen der biotischen Parameter in **Datensatz D** entsprachen hauptsächlich der POISSON – Verteilung. Diese Verteilungsform ist typisch für Abundanz- und Biomassedaten und wird durch biologische Reaktionen auf Umweltfaktoren erklärt (YOUNG & YOUNG 1998). Im folgenden werden die zur Lösung der Aufgabenstellung verwendeten statistischen Methoden aufgeführt und ihre Verwendung kurz begründet. Die Methoden sind in der entsprechenden Fachliteratur (z.B. in MCGARIGAL ET AL. 2000) ausgiebig beschrieben. Einige der in den folgenden Abschnitten genannten Methoden werden auf der beiliegenden Daten – CD näher erläutert. Eine Darstellung aller mathematischen Hintergründe ist nicht vorgesehen und auch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

16 Teststärke = Trennschärfe = Wahrscheinlichkeit, mit der die Nullhypothese (H_0) abgelehnt wird, wenn die gegebene Alternativhypothese (H_a) richtig ist. Sie ist um so größer, je detaillierter die vom Test verwendeten Informationen über Ausgangswerte, wie zum Beispiel Mittelwert, Variabilität u.a. sind (LOZÁN & KAUSCH 2004).

2.6.3 Rangkorrelation nach SPEARMAN

Bei der Korrelationsanalyse werden stochastische Zusammenhänge zwischen gleichwertigen Zufallsvariablen untersucht. Der Korrelationskoeffizient ist dabei eine Maßzahl für Stärke und Richtung eines linearen Zusammenhangs. Voraussetzungen für die Berechnung des Korrelationskoeffizienten sind demnach (1) ein linearer Zusammenhang zwischen (2) stetigen Zufallsvariablen, die (3) bivariat (zweidimensional) verteilt sind und als (4) unabhängige Beobachtungspaare vorliegen, wobei (1) und (4) besonders wichtig sind (SACHS 1997).

Wie die im vorangegangenen Abschnitt besprochenen Anpassungstests ergaben, wiesen nur die in **Datensatz D** enthaltenen Arten und alle abiotischen Parameter eine theoretische Verteilung auf. Für alle anderen Arten konnten keine Verteilungsparameter, die theoretische Verteilungen indizieren, durch Tests bestätigt werden. Wie ebenfalls im vorangegangenen Abschnitt erwähnt wurde, kommen daher für diese Arten keine parametrischen Tests in Frage. Um trotzdem eine Aussage über vorhandene Korrelationen zwischen den Arten und Faktoren untereinander, bzw. zwischen Arten und Faktoren machen zu können, wurden die Korrelationen mit dem nicht parametrischen Verfahren der Rangkorrelation nach SPEARMAN berechnet¹⁷. Der SPEARMAN – Rangkorrelationskoeffizient für biotische und abiotische Parameter wurde mit dem Statistikprogramm SPSS 13.0 berechnet. Sämtliche Berechnungen und Anpassungen wurden dabei vom Programm automatisch vorgenommen. Dies wurde mit einer Vergleichsrechnung für ein Fallbeispiel (aus LOZÁN & KAUSCH 2004) überprüft. Folgende Einstellungen wurden in SPSS vorgenommen:

- Rangkorrelation nach SPEARMAN
- fallweiser Ausschluss von fehlenden Daten (!)
- markieren der signifikanten Koeffizienten
- Angabe der Werte für Signifikanzen

Die Bearbeitung und Visualisierung der Ergebnisse der SPEARMAN – Rangkorrelation wurde mit ORIGIN vorgenommen.

17 Das Verfahren wird im CD – Anhang II auf der beiliegenden Daten – CD erläutert.

2.6.4 Multivariate Verfahren

Bei den im Rahmen dieser Arbeit verwendeten statistischen Methoden der Cluster – Analyse (CA), Multidimensionalen Skalierung (MDS), der Hauptkomponentenanalyse (PCA) und der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) handelt es sich um multivariate statistische Verfahren.

„Die multivariate Analyse beschäftigt sich mit der Entwicklung mathematischer Modelle zur Analyse einer nicht näher spezifizierten Anzahl abhängiger Variablen. Es werden Parameter geschätzt und die Zusammenhänge zwischen den Variablen ermittelt (SACHS 1997, S. 576)“ - „sie untersucht also Zusammenhänge und/oder Unterschiede innerhalb oder zwischen mehr- oder vieldimensionalen Datensätzen (LOZÁN & KAUSCH 2004, S. 223).“ Bei der in den folgenden Abschnitten geschilderten Beschreibung der Methoden wird für biotische und abiotische Parameter die Bezeichnung *Variablen* und für Stationen die Bezeichnung *Proben* verwendet.¹⁸

2.6.4.1 ANOSIM (Analysis of Similarity)

In der PRIMER - Software können den Proben/Variablen Indikatoren, wie zum Beispiel Tiefenklassen, Buchstaben etc., zugeordnet werden. Dies ist sinnvoll, um zum Beispiel durch Cluster- oder nMDS – Analyse gefundene Klassen zu kennzeichnen. PRIMER nutzt diese Klassenindikatoren zur Beurteilung der Güte einer Ordination und testet mit dem Verfahren einer ANOSIM auf die Nullhypothese $H_0 =$ „es existieren keine Unterschiede zwischen den a priori spezifizierten Klassen“. Die vom Programm durchgeführte Berechnung erfolgt dabei nach (CLARKE & WARWICK 1997):

$$R = \frac{4(r_B - r_W)}{n(n-1)} \quad (1.0)$$

mit r_B = Durchschnitt aller Rang – Ähnlichkeiten, r_W = Durchschnitt der Rang – Ähnlichkeiten der einzelnen Klassen, n = Anzahl der Proben.

Für die Beurteilung der Ergebnisse ist zu beachten dass die höchste Ähnlichkeit mit Rang 1 bewertet wird. R liegt immer im Intervall $[-1; 1]$ und R wäre dann 1, wenn nur Ähnlichkeiten innerhalb, aber nicht zwischen den Klassen existieren, d.h. sich die Klassen vollkommen unterscheiden würden. Wenn R nah bei 0 liegt, wird die Nullhypothese angenommen. In der Praxis nimmt R einen Wert zwischen 0 und 1 an, da sich Werte kleiner 0 nur dann ergeben, wenn r_W größer ist als r_B . Dies ist sehr unwahrscheinlich und eher ein Zeichen für eine falsche Zuordnung von Datensätzen zu

¹⁸ In Anlehnung an die englische Nomenklatur: Proben/Stationen = *Samples*, Artdaten = *Variables*.

Indikatoren. Der nach (1.0) berechnete Test hat globalen Charakter, d.h. es wird zunächst nur auf eine Abweichung von 0 getestet. Dieser Test hat wenig Aussagekraft, daher führt PRIMER noch einen paarweisen Permutationstest zwischen den einzelnen Klassen durch, d.h. zuerst werden alle möglichen paarweisen Kombinationen der Klassen miteinander gebildet. Dann werden die Datensätze innerhalb der Klassen nach dem Zufallsprinzip gemischt und R neu berechnet. Um die Rechenzeit zu minimieren, kann die Anzahl dieser Permutationen im Programm frei gewählt werden. Vorgegeben ist ein Wert von 999 Permutationen pro paarweisem Vergleich. Die Anzahl real möglicher Permutationen der Datensätze in den Klassen berechnet sich nach:

$$\frac{(kn)!}{[(n!)^k k!]} \quad (1.1)$$

mit n = Anzahl der Datensätze für jede der k Klassen.

PRIMER berechnet das Signifikanzniveau für R, indem es die Verteilung der zufällig berechneten R – Werte betrachtet. Wenn also eine Anzahl t der berechneten Wertemenge T für R genau so groß oder größer als der beobachtete Wert für R ist, entspricht das Signifikanzniveau, auf dem H_0 abgelehnt werden kann:

$$100 \frac{(t+1)}{T+1} [\%] \quad (1.2)$$

In der vorliegenden Arbeit wurde die ANOSIM als Testmethode zur Überprüfung der Cluster- und nMDS – Analyseergebnisse verwendet. Diese Methode ist zuverlässiger und für die verwendeten multivariaten Matrizen mit starken Verteilungsunterschieden effizienter als z.B. ein univariater U – Median – Test, der nur eine ca. 64%ige Effizienz gegenüber einem parametrischen Test aufweist (LOZÁN & KAUSCH 2004).

2.6.4.2 Cluster – Analyse

Mit der Cluster – Analyse können Gruppen von Beobachtungen in einem Datensatz bestimmt und klassifiziert werden. Ausgangspunkt sind dabei Ausprägungen quantitativer Merkmale bei Objekten. Dazu wird die gegebene Menge der Objekte in Teilmengen (Klassen) zerlegt, die wiederum die so genannten Partitionen (Cluster) bilden. Die Objekte innerhalb dieser Klassen sollen sich ähnlich, die Klassen aber unterschiedlich voneinander sein. Im Idealfall sind die Klassen intern kohärent, aber extern isoliert. Die Distanz, die zu jeder Partition gehört und die anzeigt, wann eine Partition gebildet wird, hängt von dem Verfahren ab, das zur Bildung der Partitionen verwendet wird. Ähnlichkeits- bzw. Abstandsfunktionen berechnen zuerst aus einer j – k

- Ausgangsmatrix¹⁹ eine Distanzmatrix²⁰ D^* , aus der dann nach entsprechenden Verknüpfungsregeln²¹ die Partitionen oder auch Cluster gebildet werden. Die verwendete Ähnlichkeits- bzw. Abstandsfunktion zur Berechnung der Ähnlichkeiten/Unähnlichkeiten in der Distanzmatrix und die Verknüpfungsregel muss zum Datentyp passend gewählt werden. Letzten Endes muss aber das mit einer beliebigen Methode erhaltene Resultat nicht notwendigerweise auch der im Datensatz enthaltenen Struktur entsprechen (LOZÁN & KAUSCH 2004)! Gefundene Partitionen und zugehörige Klassen können in einem Dendrogramm grafisch dargestellt werden. Aus einem vertikalen Dendrogramm kann man eine aus k Klassen bestehende Partition erhalten, indem man die senkrecht verlaufenden Linien horizontal in der Ebene schneidet, in der k Linien verlaufen. (HANDL 2002). Im Hinblick auf eine Datentransformation und -standardisierung wurde dem von CLARKE & WARWICK (1997) vorgeschlagenen Ansatz gefolgt. Die hier beschriebenen Methoden der Datentransformation, Standardisierung und Berechnung der Distanzmatrizen gelten analog für die im nächsten Abschnitt besprochene Methode der nicht-metrischen multidimensionalen Skalierung (nMDS) und werden dort nicht mehr erläutert (CLARKE & WARWICK 1997)²². In dieser Arbeit wurde die Methode der hierarchischen Cluster-Analyse verwendet. Alle Cluster – Analysen wurden mit dem Programm PRIMER – v5 berechnet. Bei der Auswahl der Distanz- und Verknüpfungsfunktionen wurde dem von den Entwicklern dieses Programms vorgeschlagenen Ansatz für die Durchführung einer Cluster – Analyse gefolgt. Alle Ähnlichkeitskoeffizienten sowie die Standardisierungs- und Transformationsoptionen konnten im PRIMER – Programm frei gewählt werden und mussten nicht extern berechnet werden. Folgende Programmeinstellungen wurden in PRIMER für die Cluster – Analyse der Stationen auf eine Ähnlichkeit hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung hin vorgenommen:

- es wurde der **Datensatz B** verwendet.
- Um den dominierenden Einfluss von Arten mit sehr hohen Abundanzwerten auf die Analyse zu unterdrücken, wurde in PRIMER eine geeignete Transformation der Daten gewählt. Dazu wurden, nach einem Vorschlag von CLARKE & WARWICK (1997), die logarithmierten Mittelwerte und Standardabweichungen der Abundanzen

19 Das bedeutet: mit j – Zeilen und k – Spalten.

20 In der englischen Literatur wird die Distanzmatrix oft auch *Ähnlichkeits-* oder *Unähnlichkeitsmatrix* genannt (zum Beispiel in CLARKE & GORLEY 2001).

21 In der Literatur findet man auch den Ausdruck *Fusionsstrategien* oder *Verschmelzungsregeln* (zum Beispiel in MCGARIGAL ET AL. 2000).

22 Das Verfahren wird im CD – Anhang II auf der beiliegenden Daten – CD näher erläutert.

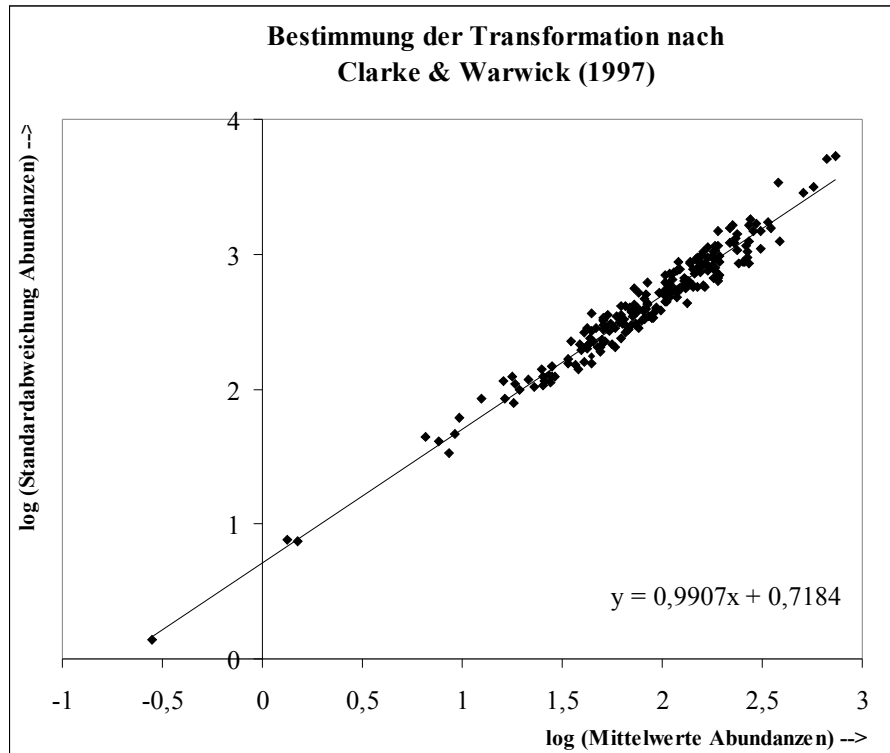


Abb. 15: Bestimmung der Transformation (nach CLARKE & WARWICK 1997)

gegeneinander aufgetragen und an Hand der Steigung der Ausgleichsgeraden die beste Transformation gewählt (siehe Abb. 15, oben). Entsprechend Tabelle 3, unten) wurde für die Transformation nach $y^* = y^\lambda$ für λ die 4. Wurzel ($\sqrt[4]{}$) gewählt.²³

Tab. 3: Stufen der Transformation (nach CLARKE & WARWICK 1997)

m	Transformation	λ
0	keine	1
0,5	Quadratwurzel	0,5
0,75	4. Wurzel	0,25
1	Logarithmus	$\lambda \rightarrow 0$
-	Presence/Absence	-

- Um den Fokus der Untersuchung mehr auf die Zusammensetzung der Arten als auf die absoluten Abundanzen zu lenken, wurde im Programm eine Spaltenstandardisierung²⁴ der zuvor transformierten Daten eingestellt.
- Berechnung des Ähnlichkeitskoeffizienten für die Distanzmatrix mit einem geeigneten Distanzmaß. In Anlehnung an CLARKE & WARWICK (1997) wurde der BRAY-

²³ CLARKE & WARWICK (1997) empfehlen bei λ annähernd 1 Transformation mit der 4. Wurzel, im Endeffekt gibt es kaum einen Unterschied zum Logarithmus. Dieser Empfehlung wurde gefolgt.

²⁴ Dazu teilte PRIMER jeden Abundanzwert einer Probenspalte durch die Gesamtsumme aller Abundanzen der jeweiligen Probenspalte und multiplizierte das Ergebnis mit 100.

CURTIS – Ähnlichkeitskoeffizient²⁵ verwendet.

- Wahl einer geeigneten Fusionsstrategie zur Bildung der Cluster aus der Ähnlichkeitsmatrix. Hier wurde die Fusionsstrategie „complete-linkage“ gewählt. Obwohl sie zur Bildung kleiner Cluster neigt und den Gruppierungsraum streckt, sollte eine Kettenbildung der Cluster, wie dies beim single-linkage Verfahren der Fall wäre, ausgeschlossen werden.

Ähnlich der Cluster – Analyse für Proben (Stationen) wurde auch die Cluster – Analyse für Variablen (Abundanzen) nach CLARKE & WARWICK (1997) durchgeführt.

- Es wurde der Datensatz B verwendet
- die Abundanzdaten wurden zeilenstandardisiert²⁶
- Im Gegenteil zur Cluster – Analyse für Proben (Stationen) wurden die Daten nicht transformiert.
- Die Ähnlichkeitsmatrix wurde mit dem BRAY-CURTIS – Ähnlichkeitskoeffizienten berechnet.
- Die Klassen wurden durch die Fusionsstrategie „complete-linkage“ aus der Ähnlichkeitsmatrix gebildet.

Die Güte der bestimmten Clusterlösungen wurde mit einer ANOSIM (siehe Abschnitt 2.6.4.1 auf Seite 42) validiert.

2.6.4.3 Ordination – nMDS – Plot

Grundsätzlich handelt es sich bei Ordinationsverfahren um eine Gruppe mathematischer Techniken, die bei Probenahmen gemachte Aufnahmen, zum Beispiel von Stationen oder Individuen, entlang bedeutender Gradientenachsen ordnen (MCGARIGAL ET AL. 2000).

Die Ordinationsverfahren selbst unterteilen sich dabei in zwei große Gruppen (nach KRATOCHWIL & SCHWABE 2001):

- Verfahren der direkten Gradientenanalyse – diese Verfahren ordnen Ergebnisse von Aufnahmen entlang ökologischer Gradienten und stellen so ein Abbild des realen ökologischen Raumes dar. Zu diesen Verfahren gehört zum Beispiel die Hauptkomponentenanalyse (PCA), die in einem späteren Abschnitt behandelt wird.

25 Dieser Koeffizient ist skaleninvariant und wird von „verbundenen Abwesenheiten“, also dem Auftreten von Doppel - „0“ - Wertvergleichen nicht beeinträchtigt.

26 Dazu teilte PRIMER jeden Abundanzwert einer Artenzeile durch die Gesamtsumme aller Abundanzen der jeweiligen Artenzeile und multiplizierte das Ergebnis mit 100.

- Verfahren der indirekten Gradientenanalyse – diese Verfahren berechnen mathematische Ähnlichkeiten/Unähnlichkeiten in Strukturen von Aufnahmen. Zu dieser Gruppe gehört zum Beispiel die im folgenden beschriebene nicht-metrische multidimensionale Skalierung (nMDS).

Ausgangsdaten zur Berechnung der nMDS sind, wie für die im vorhergehenden Abschnitt besprochenen Cluster – Analyse, Distanzmatrizen von Objekten.

Die nMDS wird dazu verwendet, Muster in vieldimensionalen Datensätzen zu erkennen und diese gut überschaubar zwei- oder dreidimensional abzubilden. Je näher sich zwei Elemente in diesen Abbildungen stehen, um so ähnlicher sollen sie sich auch in der Realität sein. Dazu müssten die Abstände d_{jk} zwischen den Objekten j und k aber ihren tatsächlichen Ähnlichkeiten/Unähnlichkeiten u_{jk} entsprechen. Um dies zu erreichen, sollten am Ende der Berechnung alle d und alle u dieselben Rangfolgen haben, also die so genannte *Monotoniebedingung* erfüllen. Die Abstände d_{jk} entsprechen dieser Bedingung in der Regel nicht, deshalb werden durch eine monotone Regression von d_0 auf die Rangfolge der Ähnlichkeit aller Objektpaare j_k neue Werte δ_1 bestimmt, welche die Monotoniebedingung erfüllen. Die Güte der Erfüllung der Monotoniebedingung wird durch den Vergleich der Distanzen d und der neu ermittelten Werte δ_1 vorgenommen. Das Maß der Erfüllung der Bedingung wird Stress genannt. PRIMER berechnet die Stress -Werte mit (nach CLARKE & WARWICK 1997):

$$Stress = \frac{\sum_j \sum_k (d_{jk} - \delta_{jk})^2}{\sum_j \sum_k d_{jk}^2} \quad (1.3)$$

Für die Beurteilung des Stress – Wertes werden die in Tabelle 4 (unten) angegebenen Grenzen vorgeschlagen (modifiziert nach LOZÁN & KAUSCH 2004).

Tab. 4: Grenzen der Stress – Werte zur Beurteilung einer MDS (nach LOZÁN & KAUSCH 2004)

Stress	Beurteilung
0,000 – 0,01	Perfekt
0,025 – 0,05	Sehr gut
0,1	gut
0,2	genügend brauchbar für 2 D - Darstellung
0,3	Grenze zur Zufallsverteilung

Sämtliche nMDS – Ordinationsplots wurden mit dem Programm `PRIMER-E-v5` berechnet. In den nMDS - Plots besteht die Möglichkeit, Datenpunkte entsprechend vorher definierter Faktoren (z.B. Wassertiefe etc.) grafisch zu skalieren. Auf diese Weise können Zusammenhänge oder Unterschiede übersichtlicher dargestellt werden. Wie für die Cluster – Analyse in Abschnitt 2.6.4.2 (auf Seite 43) beschrieben, wurden die Ergebnisse der nMDS ebenfalls mit einer ANOSIM beurteilt. Die Ergebnisse einer nMDS sind im Grunde denen der PCA ähnlich. Jedoch werden die kleineren Abstände zwischen Punkten durch eine nMDS wesentlich besser wiedergegeben als durch eine PCA. Sind in einer PCA die erste, zweite, dritte usw. Komponente abnehmend nützlich für die Erklärung der Gesamtvariation, so sind bei der nMDS alle Dimensionen gleich wertvoll. Aus diesem Grund werden Distanzen zwischen Objekten wirklichkeitsgetreuer und weniger verzerrt wiedergegeben. Richtig angewendet stellt eine PCA neben der Cluster – Analyse und nMDS jedoch eine gute Methode dar, um unterschiedliche Strukturen in Faunengruppen oder abiotischen Parametern zu finden (PRENA 1995). Eine PCA wird also eher dazu verwendet um Signale, Muster oder Zusammenhänge innerhalb eines Datensatzes zu erkennen (LOZÁN & KAUSCH 2004).

2.6.4.4 SIMPER

PRIMER kann die mit Cluster- oder nMDS – Analysen gefundenen Klassen noch daraufhin untersuchen, mit welchem Anteil bestimmte in den Klassen enthaltene Objekte zu einer Ähnlichkeit innerhalb der Klassen und zu einer Unähnlichkeit zwischen den Klassen beigetragen haben. Die Angabe des Anteils erfolgt in Prozent.²⁷ Diese Option wurde genutzt, um zu untersuchen, welche Arten innerhalb der Klassen typische *Charakterarten* waren und welche zu einer Unterscheidung der Klassen in besonderem Maße beitrugen, also *diskriminierende Arten* darstellten.

2.6.4.5 Ordination – PCA – Hauptkomponentenanalyse

Bei der PCA handelt es sich um eine „unbedingte“ Ordinationsmethode, die lediglich Muster in einem Datensatz zwar verdeutlichen, jedoch keine direkten Aussagen über die Ursachen dieser Muster machen kann (MCGARIGAL ET AL. 2000). Eine PCA ist gut dazu geeignet, zeitlich und räumlich bedingte Unterschiede in benthischen Faunengemeinschaften zu klassifizieren (z.B. O'BRIEN ET AL. 2003, PRENA ET AL. 1997).

²⁷ Daher der Name der Prozedur: SIMPER = similarity percentage – Ähnlichkeitsprozentanteil.

Ziel der Hauptkomponentenanalyse (PCA²⁸) ist es, die Struktur eines multivariaten Datensatzes auf die wesentlichen Informationen zu reduzieren, dabei aber die Variationsstruktur des Datensatzes beizubehalten.²⁹ Auf diese Weise können hoch dimensionale Datenstrukturen in niedrig dimensionalen, so genannten reduzierten Räumen, mit meistens nicht mehr als zwei Dimensionen, dargestellt werden (HANDL 2002). Für die PCA werden nur die im Datensatz selbst enthaltenen Informationen benutzt. Ausgangspunkt für eine PCA ist eine multivariate Datenmatrix von n Objekten in den Zeilen und p Variablen in den Spalten. Die Objekte entsprechen dabei den Standorten der Messung, die Variablen entsprechen den jeweils an den Standorten bestimmten Messgrößen. Grafisch kann dieser Datensatz als eine Punktwolke mit n Punkten und p Dimensionen in einem multidimensionalen Raum dargestellt werden. Sind die Variablen multivariat normalverteilt, formt die Punktwolke ein p-dimensionales Ellipsoid. Die Linie, die entlang der größten Ausbreitung dieser Ellipse gezogen werden kann, nennt man die 1. Hauptachse. Sie liegt in Richtung der maximalen Varianz des Ellipsoids. Die 2. Hauptachse liegt orthogonal zur ersten und passiert die in dieser Richtung größte Ausbreitung des Ellipsoids (McGARIGAL ET AL. 2000). Die Hauptkomponentenwerte geben an, wie groß die Abweichungen jedes Datenpunktes auf den Hauptkomponentenachsen vom gemeinsamen Mittelwert (dem Centroid) ist. Eine PCA kann varianzbasiert oder korrelationsbasiert durchgeführt werden. Geht es zum Beispiel darum, die multidimensionale Vielfalt eines Datensatzes auf einige wenige Dimensionen abzubilden, wird die „klassische“ Berechnung mit der Varianz – Kovarianzmatrix der untransformierten Rohdatenmatrix gewählt (LOZÁN & KAUSCH 2004). CLARKE & WARWICK (1997) empfehlen diese Methode vor allem zur Durchführung einer PCA mit Abundanzdaten, wobei die Ausgangsdaten mit der 4. Wurzel (fourth root, $\sqrt[4]{}$) transformiert werden sollten, um die für biotische Daten typische linkssteile Schiefe der POISSON - Verteilung zu unterdrücken. Des weiteren wird die Entfernung rarer Arten aus dem Datensatz empfohlen. Es sollten ferner nur Arten verwendet werden, für die eine einigermaßen gesicherte Verteilung vorliegt. Für die PCA – Analyse abiotischer Parameter empfehlen CLARKE & WARWICK (1997) die

28 In der Meteorologie oder Ozeanografie auch EOF (empirical orthogonal function) genannt, hier hauptsächlich zur Analyse zeitlich aufgelöster Messwerte (z.B. DIPPNER ET AL. 2001).

29 Da die ersten Hauptachsen den grössten Anteil an Variabilität des p-dimensionalen Datensatzes erklären, ist die PCA ein effektives Verfahren zur Dimensionsreduzierung bei gleichzeitiger Varianzmaximierung (LOZÁN & KAUSCH 2004).

Verwendung der Varianz-Kovarianzmatrix der z-transformierten³⁰ Ausgangswerte³¹, also eine korrelationsbasierte PCA – Analyse, da die aus der empirischen Varianz-Kovarianzmatrix gewonnenen Hauptkomponenten nicht skaleninvariant sind. Durch die z - Transformation werden die Daten dimensionslos. PCA – Analysen für die biotischen und abiotischen Parameter wurden entsprechend den oben genannten Empfehlungen durchgeführt.³² Für die biotischen Parameter wurde der **Datensatz D**, für die abiotischen Parameter der Datensatz **C-Abio** benutzt. Die Berechnung der PCA – Analyse wurde in MATLAB 7 programmiert.³³ Alle mit der PCA berechneten Ergebnisse wurden grafisch als zweidimensionaler Biplot dargestellt. Die durch eine PCA aus dem Datensatz extrahierten Hauptkomponentenwerte stellen das eigentliche Ergebnis der PCA dar und können als spaltenweise voneinander unabhängige neue Ausgangsdaten angesehen werden, die für weitere Berechnungen oder grafische Darstellungen genutzt werden können (LOZÁN & KAUSCH 2004). Deshalb wurden extrahierte und zur Analyse zurückbehaltene Hauptkomponentenwerte der einzelnen Stationen in ArcView geografisch in das Untersuchungsgebiet projiziert und ein Isoflächendiagramm interpoliert. Auf diese Weise konnten die Einflüsse der hochladenden Variablen in der Fläche grafisch dargestellt werden (DIPPNER ET AL. 2001).

2.6.4.6 Ordination – CCA – Kanonische Korrespondenzanalyse

Bei der CCA (Kanonische Korrespondenzanalyse) handelt es sich um eine so genannte „bedingte“ Ordinationstechnik, da hier die in einem Datensatz (z.B. Abundanzen) enthaltenen Muster durch die in einem zweiten Datensatz (z.B. Umweltfaktoren) enthaltenen Muster erklärt werden. CCA ist die bis dato beste multivariate Methode zur bedingten Ordination, sie hat sich, neben der PCA, als eine der hauptsächlich verwendeten multivariaten Methoden etabliert (McGARIGAL ET AL. 2000). Vor allem in der explorativen Analyse von Abhängigkeiten zwischen biotischen und abiotischen Parametern kommt ihr in letzter Zeit eine wachsende Bedeutung zu (z.B. in MINSHALL & ROBINSON 1998, SIRABELLA ET AL. 2001). Die CCA liefert besonders bei langen ökologischen Gradienten gute Ergebnisse. Die Voraussetzungen der für die CCA benutzten Datensätze sind im wesentlichen die gleichen wie für die im vorangegangenen Abschnitt besprochene PCA. Wie dort wurde für die Datenmatrix der Umweltfaktoren

30 Zentriert = von den Daten wird der Mittelwert abgezogen, Z – Transformation = von den Daten wird der Mittelwert abgezogen, danach wird durch die Standardabweichung geteilt (SACHS 1997).

31 Diese Matrix entspricht genau der Korrelationsmatrix (LOZÁN & KAUSCH 2004)!

32 Das Verfahren wird CD – Anhang II auf der beiliegenden Daten – CD erläutert.

33 Das dokumentierte Programm befindet sich im CD – Anhang III auf der beiliegenden Daten-CD.

die z-transformierte Matrix des **Datensatzes C-Abio** verwendet. Für die biotischen Parameter wurde der **Datensatz C-Bio** zur Analyse verwendet. Wie bereits im Abschnitt 2.6.2 (S. 40) erwähnt, wiesen die in diesem Datensatz enthaltenen Arten vorrangig POISSON – Verteilungen auf. Da die CCA aber die besten Ergebnisse bei einer möglichst normalverteilten Antwort der Artenparameter auf einen Umweltgradienten liefert, wurden (analog wie bei der PCA) die Abundanzwerte mit der 4. Wurzel transformiert. Die **Datensätze C-Bio** und **C-Abio** wurden deshalb verwendet, um zu gewährleisten dass (1) beide Datenmatrizen die gleiche Anzahl Proben aufweisen und (2) nur Datensätze verwendet wurden, für die alle abiotischen Parameter vollständig vorhanden waren. Die CCA wurde mit der EXCEL – Erweiterung BI PLOT 1.1 berechnet und das Ergebnis als zweidimensionaler Biplot dargestellt.

2.6.4.7 BIO-ENV und RELATE

PRIMER bietet ebenfalls die Möglichkeit, Datensätze auf Ähnlichkeiten in ihrer Struktur hin zu untersuchen um so eventuell existierende Zusammenhänge zu erkennen und zwar mit den Methoden BIO-ENV³⁴ und RELATE. Anders als bei der CCA werden hier allerdings keine Korrelations- oder Varianz – Kovarianzmatrizen, sondern Distanzmatrizen, die in zwei getrennten nMDS für biotische und abiotische Parameter gewonnen wurden, benutzt. Diese Matrizen werden mittels eines gewichteten Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN³⁵ verglichen. Das Programm sucht dazu sukzessive aus einem Satz zur Verfügung stehender abiotischer Parameter die Kombinationen von Parametern heraus, bei der dieser gewichtete Rangkorrelationskoeffizient maximal wird. Ob die Suche dabei über den gesamten Satz abiotischer Parameter oder nur einen Teil davon ausgeführt wird, kann vor der Berechnung im Programm eingestellt werden. Die Abbildung 16 auf Seite 52 zeigt den schematischen Ablauf des Verfahrens.

Die der Methode zu Grunde liegende Idee ist folgende: Gesetzt den Fall, dass abiotische Faktoren Einflüsse auf Organismen haben und diese Einflüsse die Verteilung und das Vorkommen der Organismen direkt beeinflussen, so müssten die Muster in den abiotischen Datenmatrizen den Mustern in den biotischen Datenmatrizen entsprechen. Eine entsprechende Ordination, zum Beispiel eine nMDS der Aufnahmeorte für

34 BIO-ENV = Matching of biotic and environmental patterns (CLARKE & WARWICK 1998).

35 Zur Beurteilung der Signifikanz dürfen hier nicht die üblichen, in statistischen Tabellen angegebenen, Werte benutzt werden. Der Grund dafür ist, dass es sich bei den verwendeten Rängen der Daten nicht um gegenseitig unabhängige Variablen handelt, da sie auf einer großen Anzahl stark voneinander abhängiger Ähnlichkeitsberechnungen basieren (CLARKE & WARWICK 1997).

biotische und abiotische Parameter, müsste dann diese Aufnahmeorte in gleicher Weise anordnen. Nimmt man nun wichtige abiotische Faktoren weg, verschlechtert sich diese Übereinstimmung. Analog dazu wird die Übereinstimmung besser, wenn wichtige abiotische Parameter in der richtigen Kombination hinzugefügt werden (CLARKE & WARWICK 1998). BIO-ENV liefert als Ergebnis die Kombination der abiotischen Parameter, bei der sich die Distanzmatrizen am meisten entsprechen und gibt den gewichteten Rangkorrelationskoeffizienten an, dessen Interpretation analog wie im Abschnitt 2.6.3 (S. 41) beschrieben vorgenommen wird. Die Funktion RELATE des PRIMER – Programmpakets vergleicht ebenfalls Distanzmatrizen, allerdings handelt es sich hier um einen einfachen Vergleich ohne Permutation oder Variablenauswahl. Wichtig ist, dass beide für die BIO-ENV – Prozedur verwendeten Rohdatenmatrizen die gleichen Dimensionen in Bezug auf die Spalten- oder Zeilenanzahl haben müssen, je nachdem, wofür die symmetrische Distanzmatrix gebildet werden soll! Es wurden die Datensätze **C-Bio** und **C-Abio** zur Analyse verwendet, die Berechnung der Distanzmatrizen für die biotischen und abiotischen Parameter erfolgte nach den gleichen Gesichtspunkten wie im Abschnitt 2.6.4.2 „Cluster – Analyse,, (S. 43) besprochen.

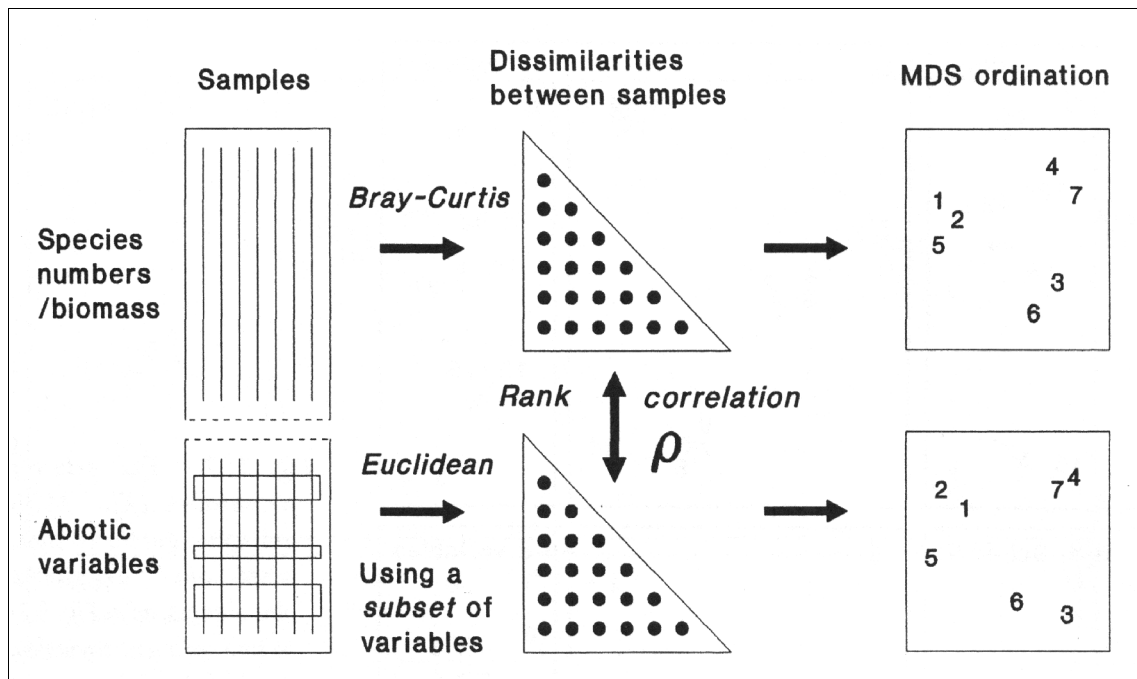


Abb. 16: Schematische Darstellung der BIO-ENV - Methode (CLARKE & WARWICK 1998)

3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der GIS – Implementierung für die abiotischen Parameter dargestellt. Im Anschluss daran erfolgt die Darstellung der Ergebnisse der statistischen Untersuchungen der biotischen und abiotischen Parameter. Die Ergebnisse der GIS – Implementierung für die biotischen Daten fließen als geografische Verteilungskarten bei der Vorstellung der ausgewählten Arten im Abschnitt 3.3 (S. 88) ein.

3.1 Ergebnisse der GIS – Implementierung

Die Zusammenfassung und Darstellung der dieser Arbeit zu Grunde liegenden biotischen und abiotischen Daten stellt das eigentliche Hauptresultat der GIS – Implementierung in ArcView dar. Mit dieser Software können künftig benthologische und abiotische Daten im Gebiet der Pommernbucht recherchiert und direkt, ohne den Umweg über Tabellenverarbeitungs- und Grafikprogramme, als grafische Ergebnisse in einer geografischen Karte dargestellt werden. Im folgenden werden die Resultate und Interpolationsergebnisse für die abiotischen Parameter dargestellt und kurz erläutert. Die Ergebnisse für die Parameter Strömung und Salinität wurden bereits im Abschnitt 2.2.3 (S. 21) im Zusammenhang mit der Hydrografie des Untersuchungsgebietes besprochen. Daher wird im folgenden für diese Parameter auf die dort gegebene Darstellung verwiesen oder die bereits geschilderten Ergebnisse erweitert.

3.1.1 Das digitale Geländemodell (DEM) des Meeresbodens der Pommernbucht

Die morphologische Karte der Pommernbucht in Abschnitt 2.2.1 (S. 16) zeigte bereits ein Ergebnis der GIS – Implementierung der bathymetrischen Daten. Erstmals wurde in der biologischen Sektion des IOW ein so hoch aufgelöstes digitales Geländemodell des Meeresbodens für dieses Gebiet der Pommernbucht erstellt. Das bathymetrische DEM bildet sozusagen das geographische Rückgrat für die Visualisierung, Kartenerstellung und Analyse der Daten. Die Feinstrukturen auf der Oderbankoberseite und Makrorippelfelder an ihren nordwestlichen Hängen stellt es ebenso detailliert dar, wie die Auswirkungen anthropogener Aktivitäten, wie z.B. ausgebagerte Fahrrinnen. Ein Vergleich der Tiefen des DEM für die deutsche Seite der Pommernbucht mit den real gemessenen Tiefen aus dem DATADIS in ArcView ergab bei 5.939 Vergleichsdaten folgende Werte für die Abweichung des DEM vom DATADIS: Mittelwert: 0,70 m und Stan-

dardabweichung 0,50 bei einer Schwankungsbreite von ± 6 m. 848 von 5.939 verglichenen Werten (ca. 14 Prozent) zeigten eine Abweichung von mehr als 1 m. Für die beobachteten Abweichungen gibt es drei mögliche Erklärungen: Eine graphische Darstellung der Abweichungen ergab, dass diese periodisch auftraten, sich aber auf der Nordseite der Oderbank häuften. Damit könnte es sich (1) um den Wellengangsrhythmus (z.B. Sturm) handeln, der sich in den nicht evaluierten DATADIS – Werten widerspiegelt oder um (2) hohe Sedimentdynamik im Gebiet oder (3) Interpolationsfehler. Daher wurde zusätzlich ein Vergleich mit den Tiefendaten aller Benthosstationen im Gebiet der Pommernbucht gemacht. Die Abweichung betrug hier im Mittel 0,60 m bei einer Schwankungsbreite von $\pm 3,5$ m. Nur 10 % dieser Daten wiesen eine Abweichung > 1 m auf und sehr dicht beieinander liegende Stationen zeigten sehr unterschiedliche Werte voneinander, deshalb wird der Fehler eher in den DATADIS- und Echolot – Werten der Probenahmen vermutet. Nur ein Vergleich mit evaluierten und aktuellen Tiefenmessungen könnte hier Klarheit schaffen. Bedenkt man den Umstand, dass die bathymetrischen Daten des BSH und IOW aus verschiedenen Datensätzen verschiedener Jahre stammen und dass die ältesten Tiefendaten 12 Jahre alt sind, so sind o.a. Abweichungen annehmbare Werte für das DEM. Die Abbildung 58 (Anhang, S. 137) zeigt das DEM in dreidimensionaler Ansicht.

3.1.2 Das Strömungsmodell

Die Strömung wurde bereits im Abschnitt 2.2.3 (S. 21) beschrieben und dort dargestellt. Bei den Darstellungen der Strömungsmittelwerte und -maxima (Abb. 7, S. 24 und Abb. 8, S. 24) ist zu beachten, dass es sich dabei lediglich um modellierte windinduzierte Strömungen handelt. Es sind daher idealisierte Werte, die immer höher liegen als in der Realität gemessene, da z.B. Bodenrauigkeiten, Wirbel etc. nicht bei der Berechnung des Modells berücksichtigt wurden.³⁶ Ungeklärt ist auch die Frage, ob es eventuell einen strömungsprägenden Einfluss der Oder gibt und wie groß dieser ist. Wichtig ist die Beobachtung, dass die modellierte bodennahe Strömung in den Küstenbereichen der Pommernbucht immer niedrigere Werte annimmt als im Zentrum der Bucht. Weiterhin kann gesagt werden, dass die bodennahe Strömung in Gebieten mit hohen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten (siehe Abb. 7, S. 24) im Hinblick auf drastische Richtungsänderungen weniger dynamisch und somit gerichteter ist, als dies für Gebiete mit niedrigen mittleren Strömungsgeschwindigkeiten der Fall ist, da sich hier entgegengesetzt

36 mündliche Auskunft Herr Dr. SEIFERT

auftretende Strömungsvektoren ausmitteln. Interessant ist auch, dass es zwei, anscheinend durch die Topografie bedingte, abgegrenzte Strömungssysteme zu geben scheint.

3.1.3 Sedimenteigenschaften

Für die sedimentologischen Parameter Mittlere Korngröße, Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff, Sortierung und Permeabilität wurden Verteilungen für die Pommernbucht interpoliert (siehe Abschnitt 2.5, S. 34). Um Aussagen über die Anteile der Parameterklassen für die einzelnen Sedimentkenngrößen zu quantifizieren wurden die flächenmäßigen Verteilungen der Klassen für die Mittlere Korngröße, Sortierung und Permeabilität in ArcView berechnet.³⁷ Zu beachten ist, dass die Parameter der Sedimentkenngrößen aus den Rohdaten der Sedimentanalysen berechnet wurden (siehe Abschnitt 2.4, S. 27), daher können die räumlichen Klassengrenzen der einzelnen Sedimentparameter, trotz z.B. gleicher Korngröße, voneinander abweichen.

3.1.3.1 Mittlere Korngröße

Die Abbildung 17 (S. 56) zeigt die Verteilung und Klassengrenzen der Mittleren Korngrößen im Untersuchungsgebiet. Bei der Wahl der Korngrößengrenzen der einzelnen Sedimentfraktionen wurde der üblichen Klassierung von Sedimenten gefolgt. Das Sediment des Untersuchungsgebietes besteht zum größten Teil aus Feinsand. Als zweithäufigste Fraktion tritt Mittelsand auf (siehe Tabelle 5, S. 56). Im südwestlichen Teil bis zur Mitte der Pommernbucht folgt die Mittlere Korngröße fast analog der Wassertiefe. Vor Usedom dominieren Mittelsande das Sediment. Vor Kap Arkona und Stubbenkammer sind ebenfalls Mittelsande zu finden. Grobsand findet sich im nördlichen Bereich des Untersuchungsgebietes, hier vor allem in der Gegend des Bornholm-gats. Bei der Betrachtung der Rohdaten fiel auf, dass im Untersuchungsgebiet vor allem im nördlichen und nordwestlichen Bereich sowie vor den Küsten die Korngrößen sehr unhomogen über das Gebiet verteilt sind. Datenpunkte mit groben und feinen Sedimenten wechseln sich hier auf kleinstem Raum ab. Flächig sehr homogen ist das Sediment dagegen in der Umgebung der Oderbank und auf der Bank selbst. Die in Abbildung 17 (S. 56) gezeigten Bereiche mit Grobsilt gehören nicht mehr zum Untersuchungsgebiet und finden sich daher auch nicht in Tabelle 5 (S. 56).

³⁷ Die Fläche des Untersuchungsgebietes liegt dabei innerhalb der im Abschnitt 2.2 (S. 16) genannten Begrenzung.

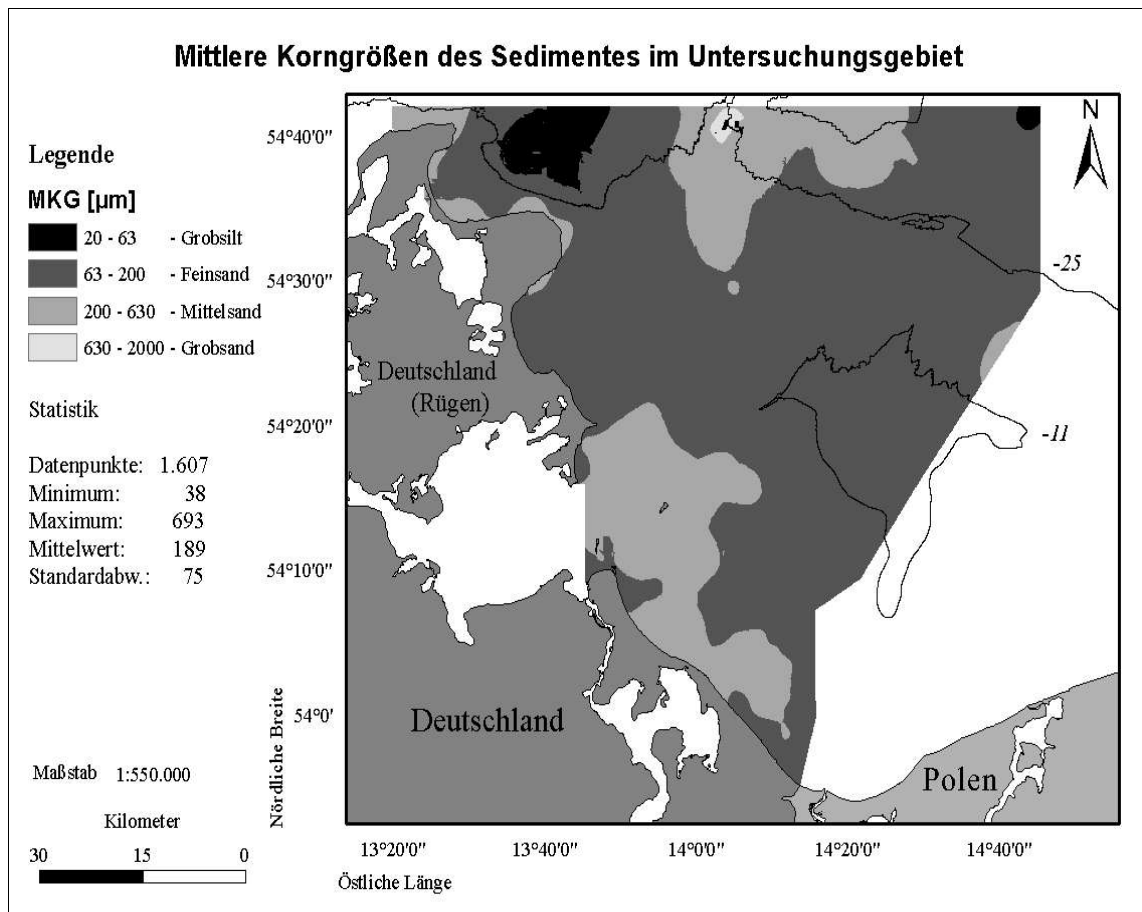


Abb. 17: Mittlere Korngrößen des Sedimentes im Untersuchungsgebiet

Tab. 5: Flächenanteile der einzelnen Korngrößenfraktionen an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes

MKG [µm]	Sedimenttyp	Flächenanteil [%]
20 - 63	Grobsilt	0,00
63 - 200	Feinsand	75,90
200 - 630	Mittelsand	23,76
630 - 2000	Grobsand	0,34
	Summe	100

3.1.3.2 Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff

Für die Interpolation des Gehaltes an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment des Untersuchungsgebietes standen für das Untersuchungsgebiet keine flächendeckenden Daten zur Verfügung. Daher ist die Verteilung der interpolierten Werte und Grenzen vor allem in Bereichen mit geringer Datendichte, wie z.B. nordwestlich der Oderbank, nur eine grobe Annäherung. Auffällig ist, dass die Bereiche mit den höchsten Gehalten an organisch gebundenem Kohlenstoff vor allem in den tieferen Bereichen des Untersuchungsgebietes und in Bereichen mit niedriger Permeabilität (siehe Abbildung

Abb. 20, S. 59) liegen. Die höchsten Werte (0,89 %) für den organisch gebundenen Kohlenstoff im Sediment finden sich südwestlich der Oderbank und an der 25 m – Isobathe, die niedrigsten Gehalte (0,12 %) direkt auf dem zentralen Oderbankplateau (Abbildung 18, unten).

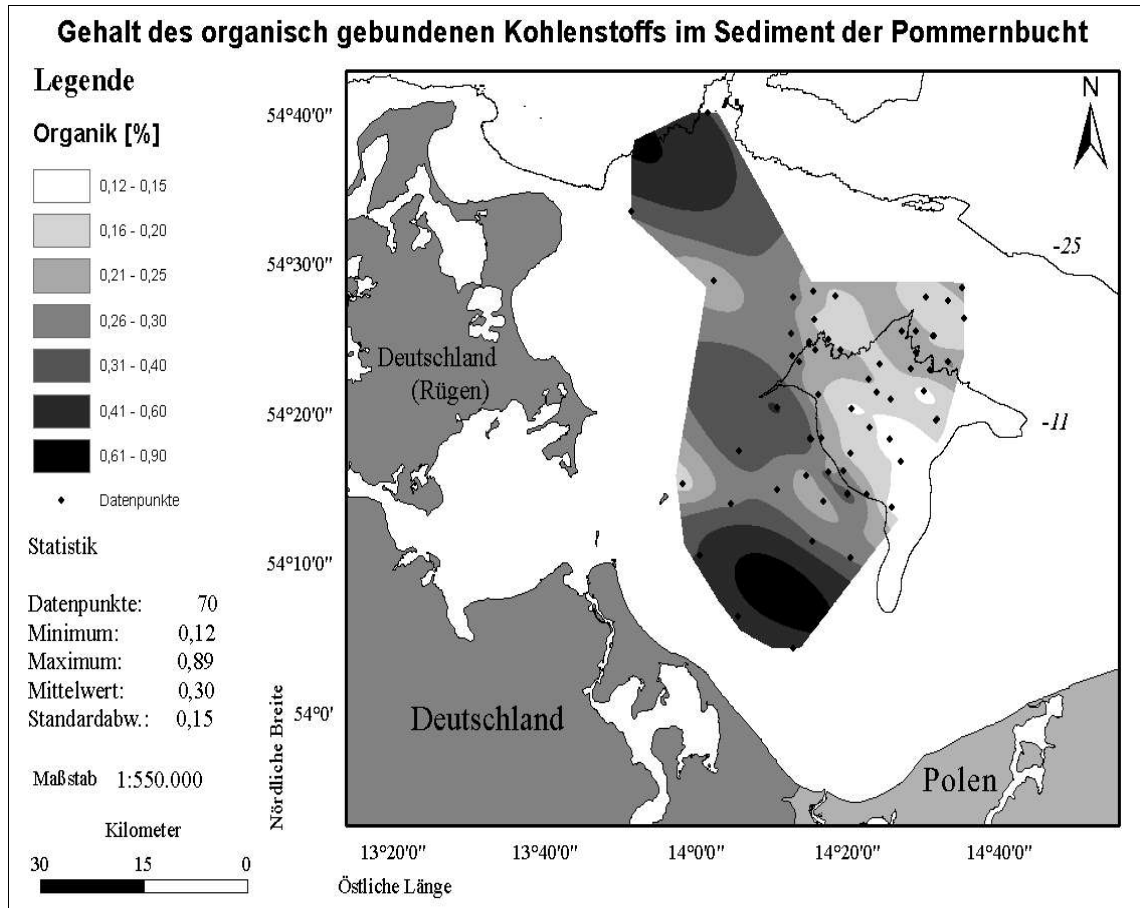


Abb. 18: Gehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs im Sediment des Untersuchungsgebietes

3.1.3.3 Sortierung

Die Sortierung der Sedimente im Untersuchungsgebiet reichte von sehr gut (0,13) für den Bereich der zentralen Pommernbucht bis schlecht (4,19), was vor allem für die Küstenbereiche der Bucht zutrifft (siehe Abbildung 19, S. 58). Dies stützt die bereits erwähnte These, dass das Decks substrat hier von der erodierten Küste zu stammen scheint. Im Mittel ist das Sediment gut verteilt (0,46). Anteilsmäßig kann das Sediment des Untersuchungsgebietes als sehr gut bis gut charakterisiert werden (siehe Tab. 6, S. 58). Vergleicht man die Abbildung 19 (S. 58) mit der Darstellung der Maximalwerte der Strömung (Abb. 8, S. 24) so fällt auf, dass die Gebiete sehr guter Sortierung fast deckungsgleich mit den Gebieten maximaler Strömung sind. Das gleiche gilt für den Vergleich mit der dreidimensionalen Abbildung des Meeresbodens der Pommernbucht (Abb. 58, S. 137). Die Sortierung scheint sich im gleichen Maß zu verschlechtern, wie

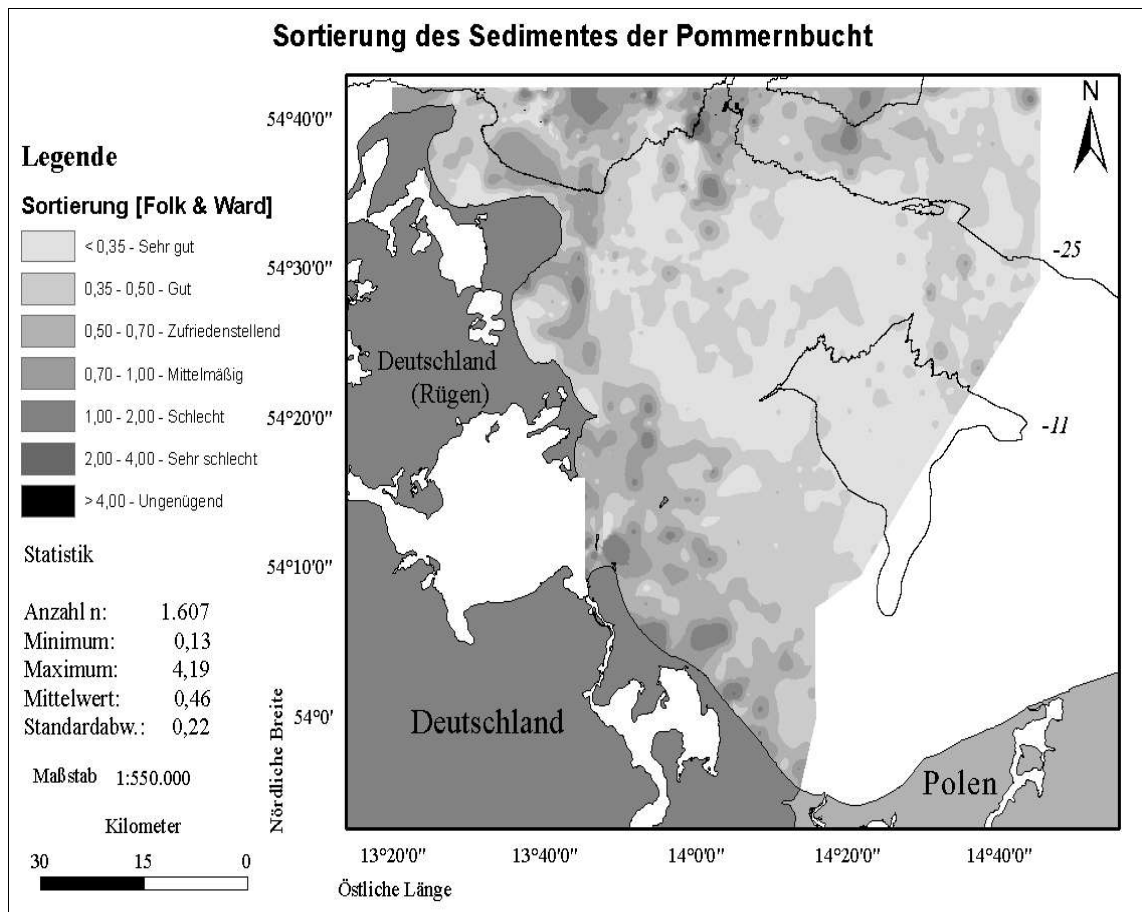


Abb. 19: Sortierung des Sedimentes im Untersuchungsgebiet der Grad der Rauigkeit und Struktur des Untergrundes zunimmt. Dieser Effekt scheint durch die Wassertiefe verstärkt zu werden. Vor allem an exponierten Lagen in geringen Wassertiefen ist eine sehr gute bis gute Sortierung anzutreffen. Am besten ist das Sediment auf der Oderbank sortiert, nach Nordwesten zum Bereich der Makrorippelfelder hin nimmt der Grad der Sortierung stetig wieder ab. Schlagartig ändern sich die Verhältnisse vom Zentrum der Oderbank über die Hangkante nach Südwesten hin.

Tab. 6: Flächenanteile der Sortierungsklassen nach FOLK & WARD an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes

Sortierung [Folk & Ward]	Beurteilung	Flächenanteil [%]
< 0,35	Sehr gut	38,80
0,35 – 0,50	Gut	34,73
0,50 – 0,70	Zufriedenstellend	15,89
0,70 – 1,00	Mittelmäßig	8,36
1,00 – 2,00	Schlecht	2,13
2,00 – 4,00	Sehr schlecht	0,11
> 4,00	Ungenügend	0,00
	Summe	100,00

3.1.3.4 Permeabilität

Die Permeabilität im Untersuchungsgebiet schwankte zwischen $0,001 \cdot 10^{-4}$ cm/s und $3,4 \cdot 10^{-4}$ cm/s. Der Mittelwert der Permeabilität lag bei $0,19 \cdot 10^{-4}$ cm/s. Zur Permeabilität kann gesagt werden, dass sie sich fast analog der Mittleren Korngröße im Untersuchungsgebiet verteilt (Abb. 20, S. 59). Beim Vergleich mit der Abbildung 18 (S. 57) fällt auf, dass die Permeabilität gerade in Gebieten mit erhöhtem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff abzunehmen scheint. Im Umkehrschluss fanden sich die höchsten Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment hauptsächlich in Gebieten mit geringerer Permeabilität (siehe Abschnitt 3.1.3.2, S. 56). Die Anteile der unterschiedlich permeablen Gebiete an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes können der Tabelle 7 (S. 60) entnommen werden.

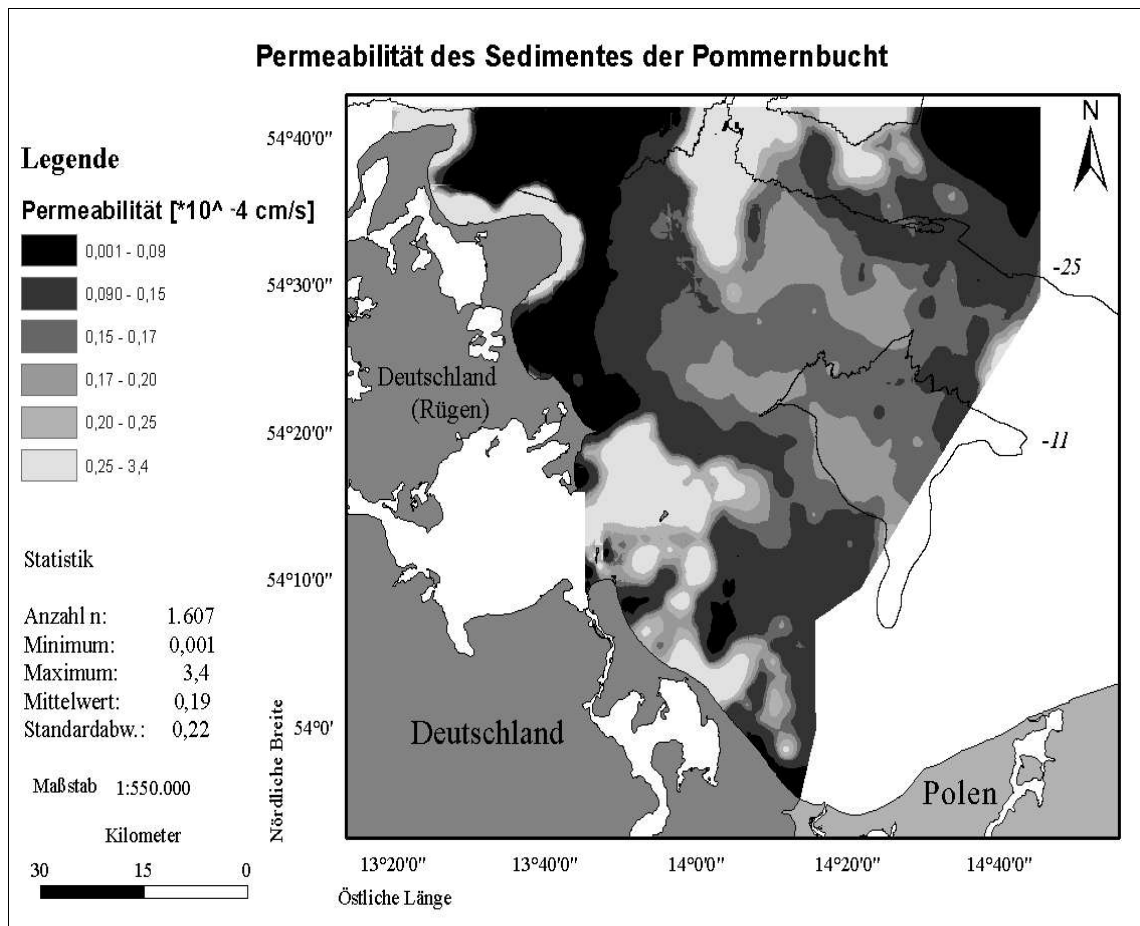


Abb. 20: Permeabilität des Sedimentes im Untersuchungsgebiet

Tab. 7: Flächenanteile der Gebiete unterschiedlicher Permeabilität an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes

Permeabilität [10^{-4} cm/s]	Flächenanteil [%]
0,001 - 0,09	8,83
0,09 - 0,15	32,12
0,15 - 0,17	24,90
0,17 - 0,20	16,09
0,20 - 0,25	5,22
0,25 - 3,4	12,85
Summe	100,00

3.1.4 Temperatur

In der Benthos-Datenbank sind keine Temperaturdaten für den bodennahen Wasserkörper des Untersuchungsgebietes enthalten. In der ODIN - Datenbank fanden sich nur spärliche Daten. Von einer Implementierung dieses im Jahresgang stark oszillierenden Parameters (siehe Abbildung 9, S. 25) in ArcView wurde daher abgesehen.

3.1.5 Salinität

Im Untersuchungsgebiet fand sich über die Jahre von 1998 bis 2005 gemittelt ein von der Tiefe und dem Süßwassereinstrom der Flüsse abhängiger, von Süden nach Nordwesten hin fast gleichmäßig zunehmender Salinitätsgradient. Minimalwerte von ca. 2 psu fanden sich vor Usedom und Maximalwerte von fast 17 psu an der Grenze zum Arkonabecken. Der Parameter Salinität und die Ergebnisse der Implementierung wurden bereits im Abschnitt 2.2.3 (S. 21) ausführlich beschrieben und dargestellt.

Zur abschließenden Betrachtung der Ergebnisse für die GIS - Implementierung kann gesagt werden, dass anscheinend fast alle Parameter eine starke Tiefenabhängigkeit zeigten. Um einen Überblick über eventuell vorhandene Abhängigkeiten der Parameter untereinander sowie zwischen verschiedenen Parametern zu bekommen und diese Abhängigkeiten in Form statistischer Ergebnisse zu quantifizieren, werden im nächsten Abschnitt die Ergebnisse der statistischen Untersuchungen vorgestellt.

3.2 Statistik

Nach der Darstellung der untersuchten Umweltparameter werden nun die Ergebnisse der statistischen Untersuchungen betrachtet. Der Fokus dieser Untersuchungen lag immer auf eventuell vorhandenen Mustern in den Daten oder auf Abhängigkeiten zwischen den Daten der abiotischen und biotischen Parameter. Die hier geschilderten Ergebnisse der Rangkorrelation nach SPEARMAN quantifizieren diese Abhängigkeiten in Form des SPEARMAN'schen – Rangkorrelationskoeffizienten r (im folgenden einfach *Korrelationskoeffizient* oder *Koeffizient* genannt). Bei der Betrachtung von r ist auf die Richtung des Zusammenhangs zu achten, negative Koeffizienten verweisen auf entgegengesetzte Abhängigkeiten zwischen den Parametern (siehe Abschnitt 2.6.3, S. 41).

3.2.1 SPEARMAN – Rangkorrelation

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt vermutet, bestehen stellenweise sehr hohe Abhängigkeiten zwischen den abiotischen Parametern. Alle für das Untersuchungsgebiet berechneten Korrelationskoeffizienten auf (*) und (**) - Signifikanzniveau wurden in Tabelle 8 (unten) zusammengefasst.

Tab. 8: Darstellung der SPEARMAN - Rangkorrelationskoeffizienten aller abiotischen Parameter auf (*) und (**) - Signifikanzniveau; das (**) - Signifikanzniveau wurde grau markiert

Parameter	Tiefe	psu	O ₂	MKG	Org	Sort	Perm
TIEFE	1						
psu	,668(**)	1					
O ₂		,384(**)	1				
MKG				1			
Organik	,673(**)	,248(*)		-,336(*)	1		
Sortierung	-,324(*)				-,288(*)	1	
Permeabilität	-,385(**)			,847(**)	-,505(**)		1

Die der Tabelle 8 zu entnehmenden Koeffizienten lassen sich wie folgt deuten: Im Untersuchungsgebiet steigt mit der Tiefe der Salzgehalt, der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff nimmt zu, die Sortierung und die Permeabilität des Sediments dagegen nehmen ab. Mit dem Salzgehalt nimmt ebenfalls der Sauerstoffgehalt zu. Nimmt die mittlere Korngröße zu, so gilt dies auch für die Permeabilität, der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment hingegen sinkt. Ferner kann gesagt werden, dass sich steigende Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff negativ auf die Permeabilität auswirken. Diese Aussagen decken sich zu einem großen Teil mit den

Ergebnissen des vorhergehenden Abschnitts (siehe Abschnitt 3.1, S. 53). Stellt man die in der Tabelle 8 (S. 61) enthaltenen Informationen grafisch dar, so ergibt sich für die Beziehungen der abiotischen Parameter des Untersuchungsgebietes untereinander folgendes Bild (siehe Abbildung 21, unten).

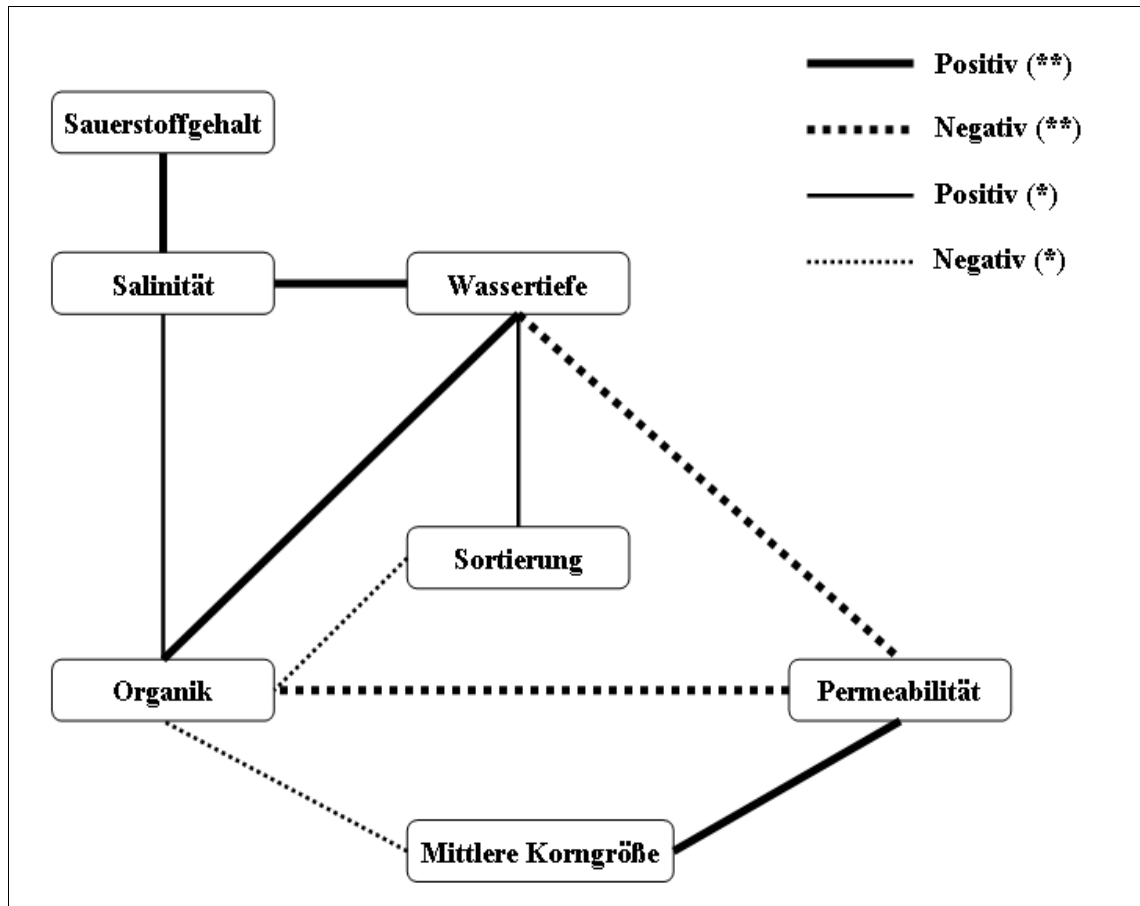


Abb. 21: Grafische Darstellung der Rangkorrelationen zwischen allen abiotischen Parametern

Für einen ersten Eindruck der Beziehungen zwischen den biotischen und abiotischen Parametern werden zunächst die Koeffizienten im Überblick betrachtet. Die Abbildung 22 (S. 63) zeigt dazu alle berechneten SPEARMAN – Rangkorrelationskoeffizienten für die 44 in **Datensatz A** enthaltenen Arten und die abiotischen Parameter. Bereits in dieser Abbildung wird deutlich, dass (1) Arten mit den unterschiedlichen Faktoren in unterschiedlicher Stärke und Richtung korrelieren (2) es für einige Arten sehr hohe und für einige Arten gar keine Korrelationen mit den betrachteten biotischen Parametern gibt. Letztgenannte haben also im Bezug auf Beziehungen mit abiotischen Parametern so gut wie keine Aussagekraft. Interessant für die weitere Betrachtung sind daher vor allem solche Arten, die mit den gegebenen Umweltparametern signifikant hoch korreliert sind. Solche Arten und ihre entsprechenden Korrelationen stellt die Abbildung 23 (S. 64) dar.

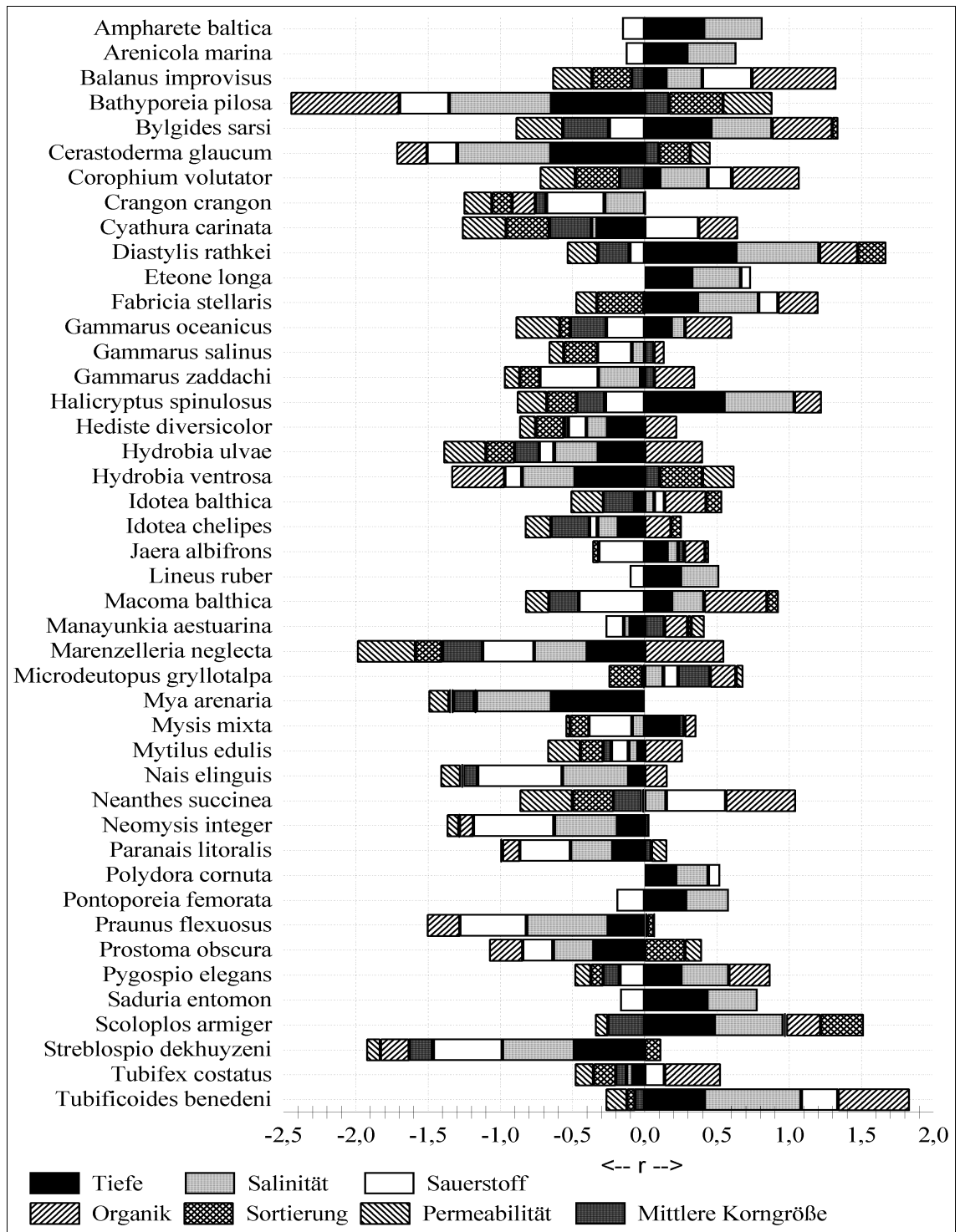


Abb. 22: Darstellung der SPEARMAN – Rangkorrelationskoeffizienten zwischen allen in Datensatz A enthaltenen 44 Arten und allen abiotischen Parametern, gezeigt werden alle Koeffizienten.

Wie Abbildung 23 (S. 64) zeigt, sind einige Arten mit mehreren abiotischen Parametern signifikant hoch korreliert. Besonders auffällig ist die Tatsache, dass die meisten Korrelationen dem Koeffizienten für die Wassertiefe in der Richtung folgen. Besonders hohe Korrelationen zeigten *Bathyporeia pilosa*, *Cerastoderma glaucum*, *Marenzelleria neglecta*, *Mya arenaria*, *Halicyptus spinulosus*, *Hydrobia ventrosa*, *Streblospio dekhuy-*

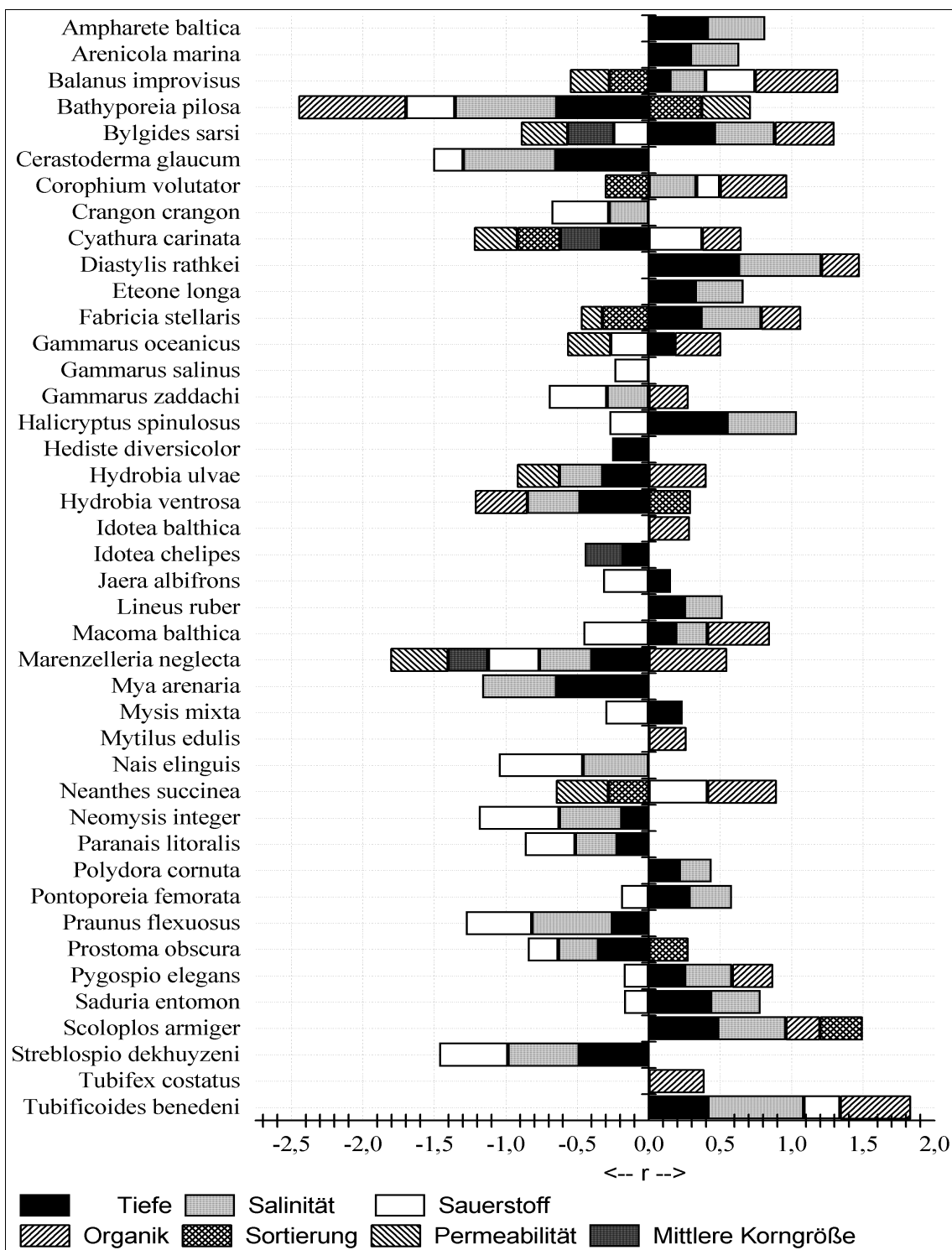


Abb. 23: Im Gegensatz zu Abb. 22 (S. 63) sind hier nur die Korrelationen auf (*) und (**) - Signifikanzniveau zwischen allen in Datensatz A enthaltenen 44 Arten und den abiotischen Parametern angegeben

zeni, *Scoloplos armiger* oder *Tubificoides benedeni*. Um die Beziehungen zwischen einzelnen Arten und abiotischen Parametern deutlicher darzustellen, wurden die Arten im folgenden entsprechend der Reihenfolge ihres Rangkorrelationskoeffizienten mit dem jeweiligen Faktor angeordnet. Die Abbildung 24 (S. 65) zeigt dies für die Tiefe.

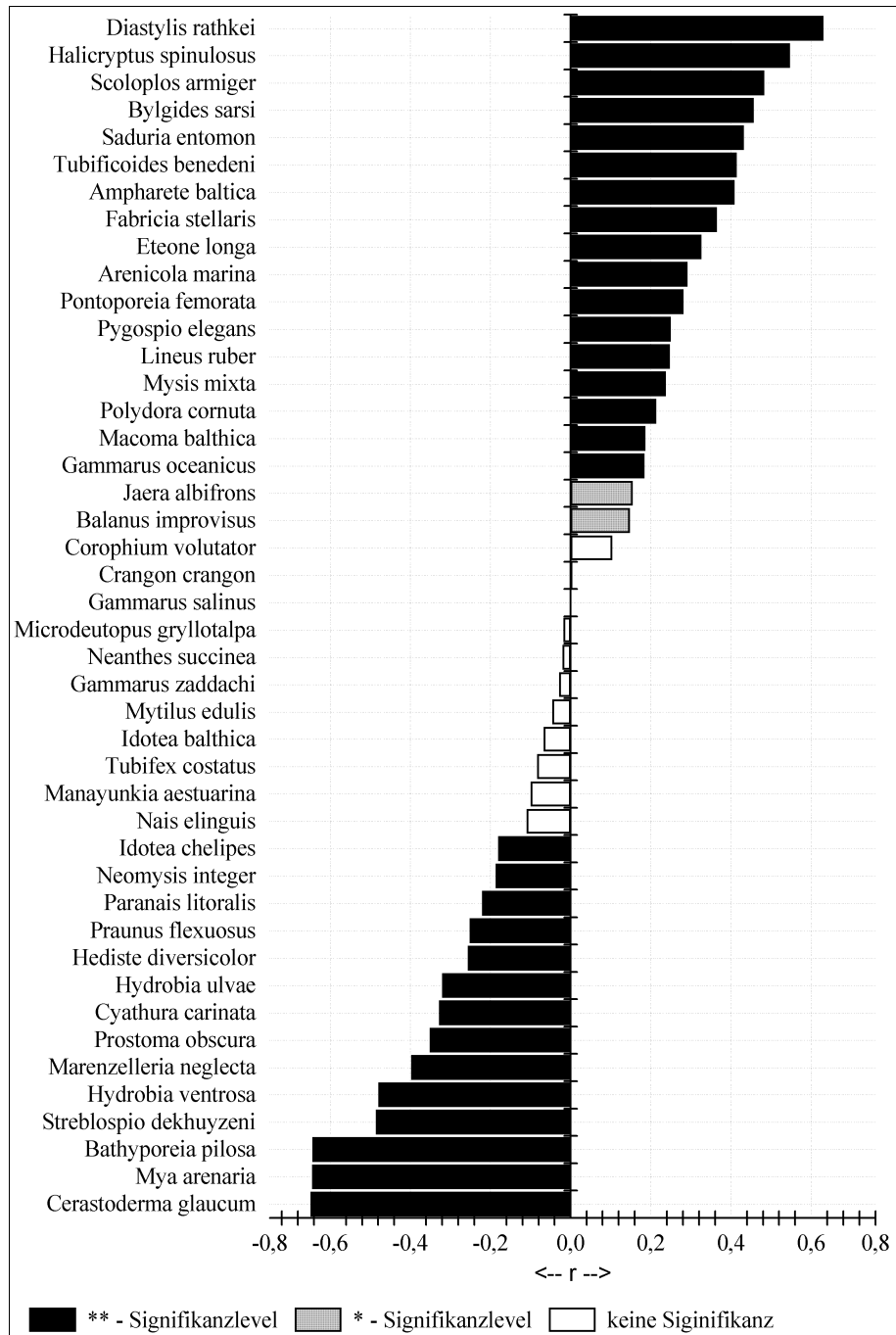


Abb. 24: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit der Wassertiefe, Wertebereich: 6,5 – 31,9 m

In dieser Abbildung sind Arten, die im Untersuchungsgebiet größere Wassertiefen zur Besiedlung bevorzugen, oben angeordnet und Arten, die im Untersuchungsgebiet eher in flachen Gebieten anzutreffen sind, befinden sich am unteren Ende der Skala. Auffallend ist eine scheinbare Polarisierung zwischen Arten des Stamms der **Mollusca** (z.B. *Cerastoderma glaucum*, *Mya arenaria*, *Hydrobia ulvae*) und des Stamms der **Annelida** (z.B. *Scoloplos armiger*, *Bylgides sarsi*, *Arenicola marina*) durch die Tiefe. Die nächste Abbildung 25 (S. 66) zeigt die Korrelationen der Arten mit dem Salzgehalt.

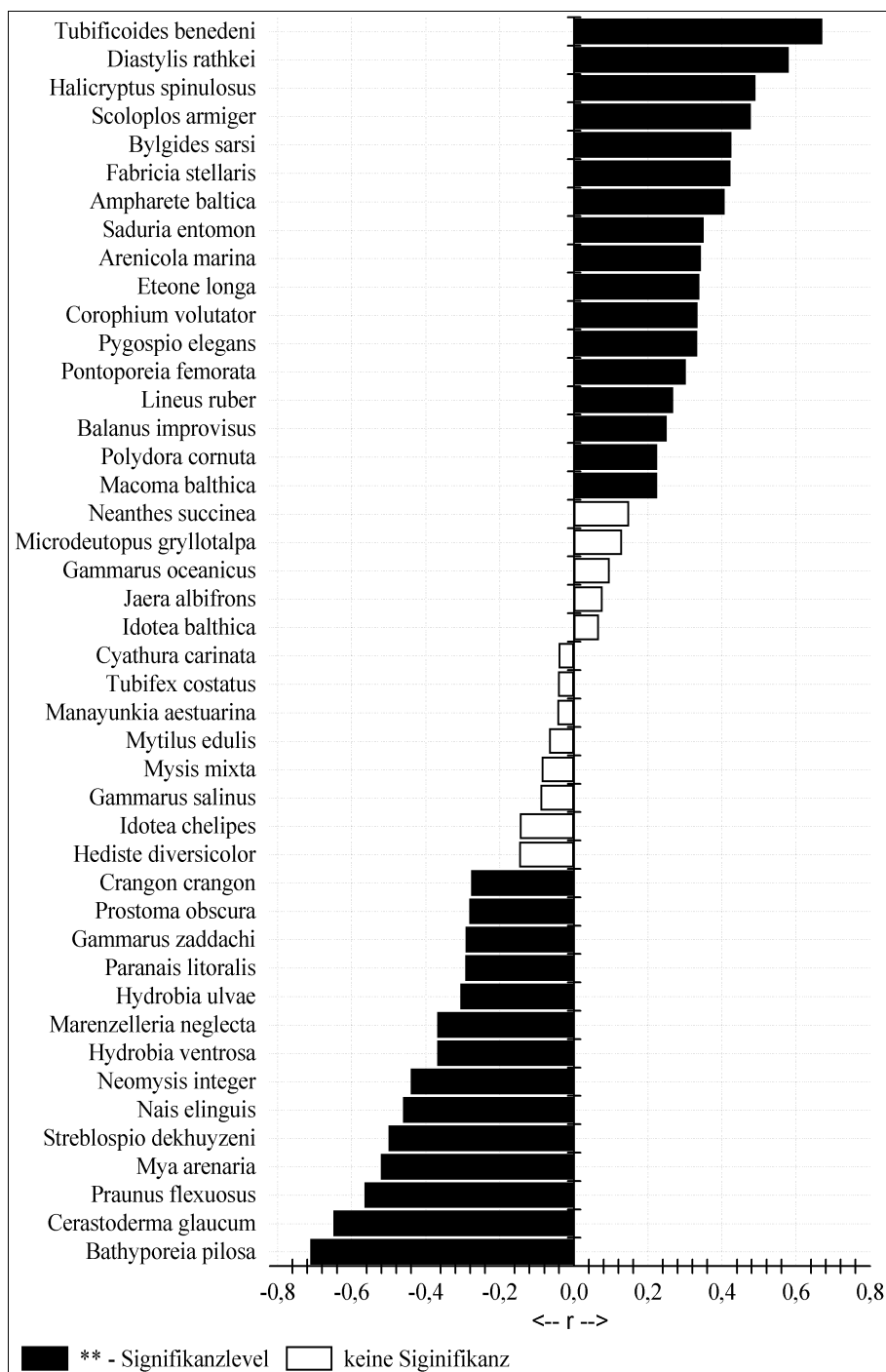


Abb. 25: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit dem Salzgehalt, Wertebereich: 2,1 – 16,6 psu

Hier fällt auf, dass sich die Arten in ähnlicher Weise wie in der vorangegangenen Abbildung gruppieren. Als Extreme fallen *Bathyporeia pilosa* und *Cerastoderma glaucum* sowie *Tubificoides benedeni* und *Diastylis rathkei* auf. Auch hier findet sich, ähnlich wie in der vorangegangenen Abbildung, eine Häufung von Arten gleicher Taxa an den beiden Achsenenden. *Corophium volutator* und *Balanus improvisus* zeigen hier eine stärkere positive Korrelation. Die Abbildung 26 (S. 67) betrachtet r für den O₂- Gehalt.

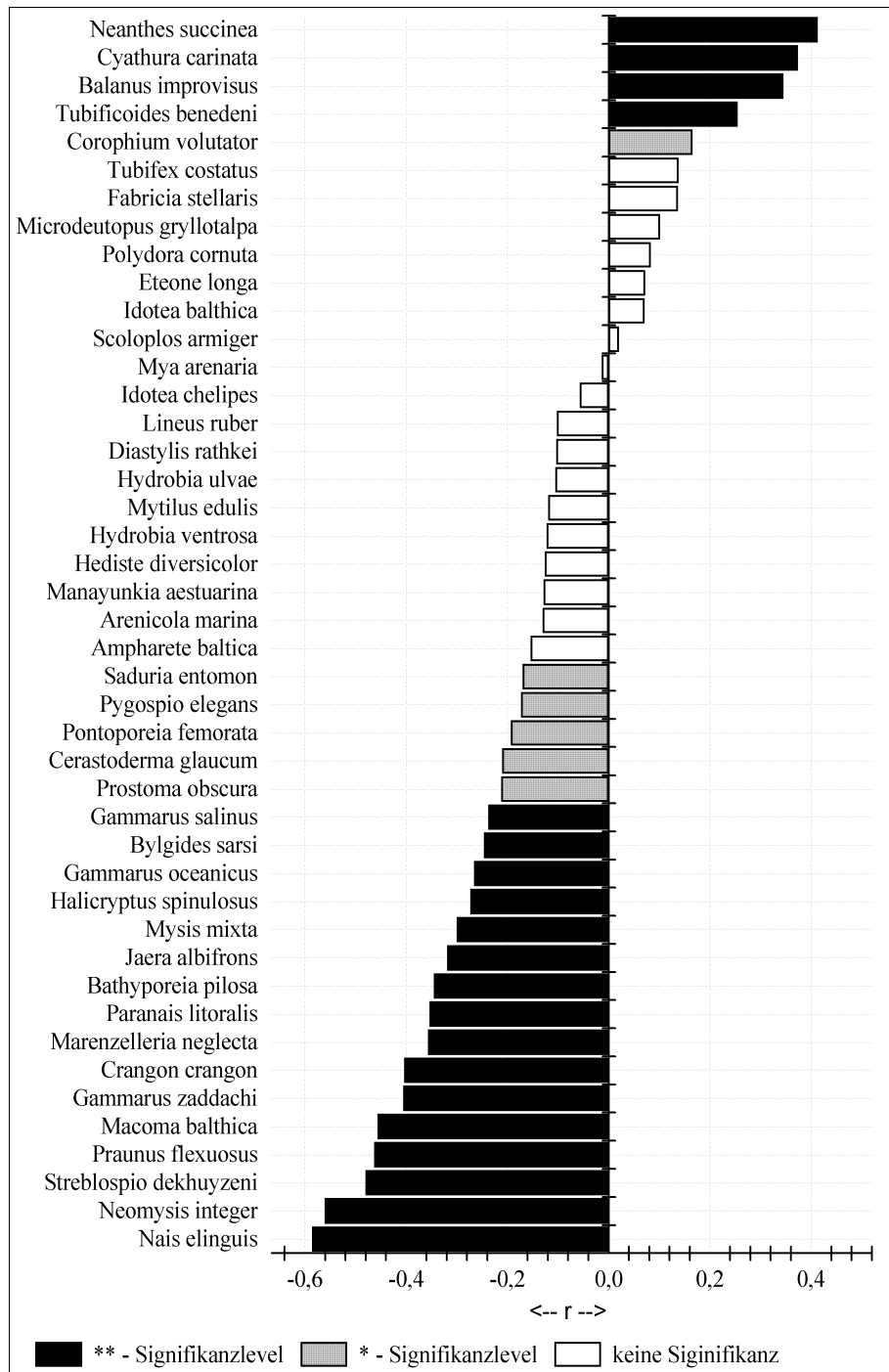


Abb. 26: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit dem Sauerstoffgehalt, Wertebereich: 1,5 – 14,1 ml/l

Wie aus dem Wertebereich der obigen Abbildung und der Darstellung des Sauerstoffgehaltes Abbildung 5 (S. 22) zu ersehen ist, war die Sauerstoffversorgung des Gebietes für die Besiedlung immer ausreichend. Durch die gute vertikale Vermischung fehlt auch ein echter Gradient. Eine kausale Beeinflussung der Arten durch den Sauerstoffgehalt wird somit nicht erwartet und dieser Parameter daher von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Abbildung 27 (S. 68) zeigt die Korrelationen der Arten mit der Korngröße.

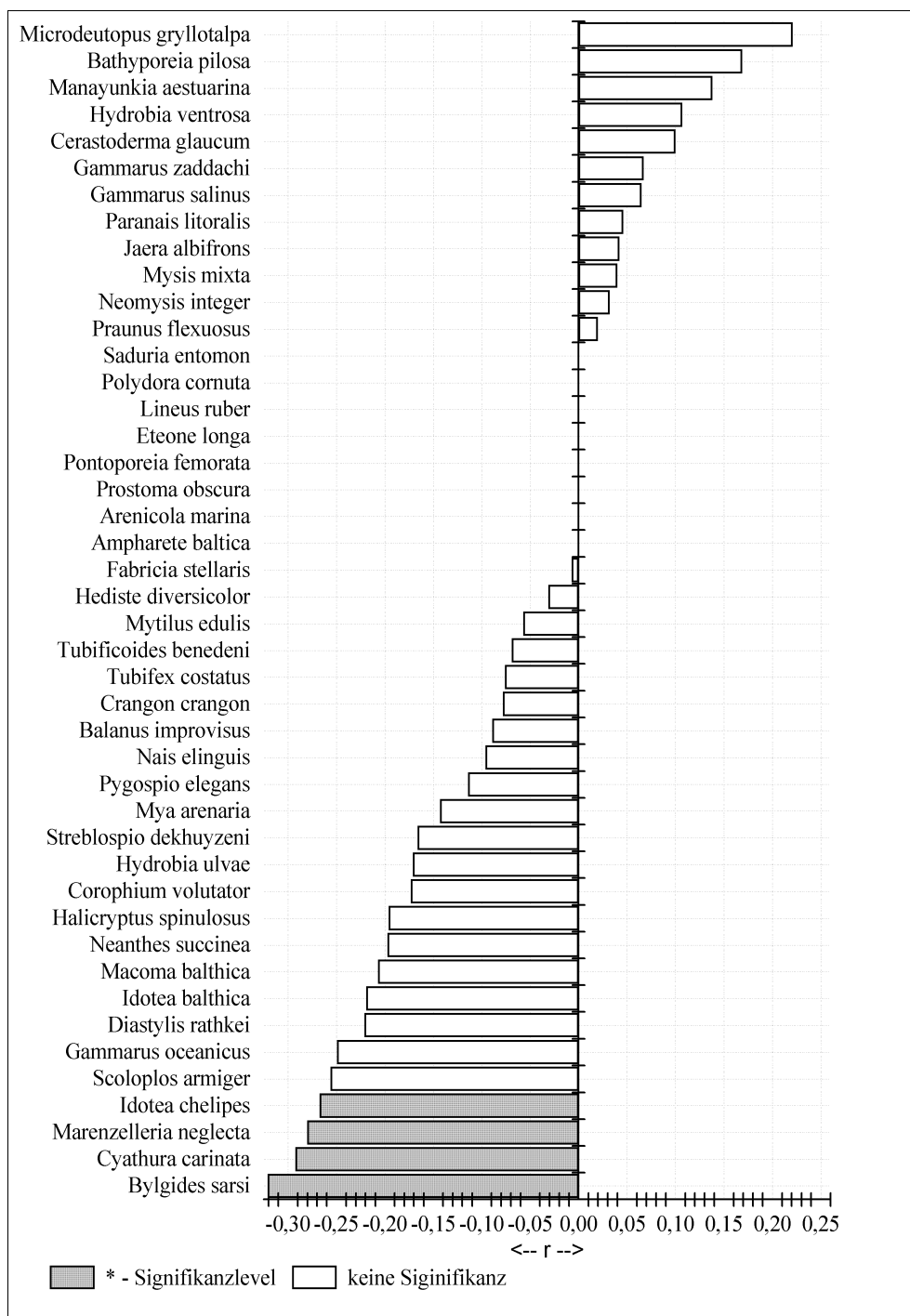


Abb. 27: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit der mittleren Korngröße des Sedimentes, Wertebereich: 38 µm – 693 µm

Wie aus der obigen Abbildung ersichtlich ist, scheinen *Bylgides sarsi*, *Cyathura carinata*, *Idothea chelipes* und *Marenzelleria neglecta* feinere Sedimente zu bevorzugen. Vor allem **Crustacea** und **Polychaeta** zeigen Abhängigkeiten von der mittleren Korngröße. Für **Mollusca** konnten keine signifikanten Korrelationen nachgewiesen werden. Die nächste Abbildung (Abb. 28, S. 69) zeigt die Beziehungen zwischen den Arten und dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment (im folgenden oft einfach *Organik* oder *Organikgehalt* genannt).

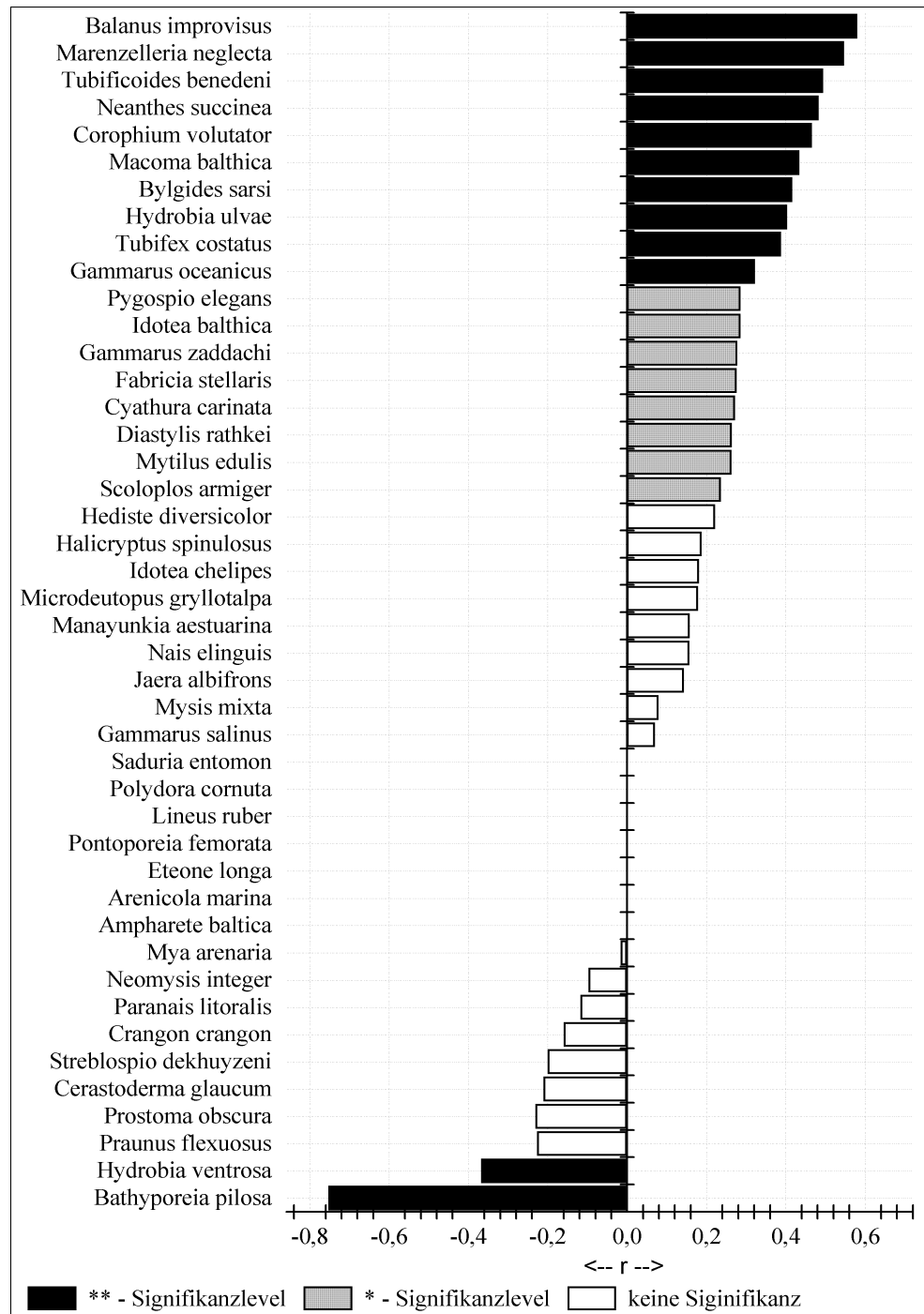


Abb. 28: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment; Wertebereich: 0,12 % – 0,89 %

Unter den Arten mit hoher positiver Korrelation finden sich alle untersuchten Vertreter der *Oligochaeta*, so zeigen z.B. *Tubifex costatus* und *Tubificoides benedeni* in der obigen Abbildung eine Affinität zu hohen Organikgehalten. Von den Vertretern der *Mollusca* trifft dies nach obiger Abbildung vor allem, auf *Hydrobia ulvae* und *Macoma balthica* zu. Ganz im Gegenteil dazu scheinen *Hydrobia ventrosa* und *Bathyporeia pilosa* Standorte mit geringen Organikgehalten vorzuziehen. Abbildung 29 (S. 70) zeigt die Korrelationskoeffizienten der Arten für die Sortierung des Sedimentes.

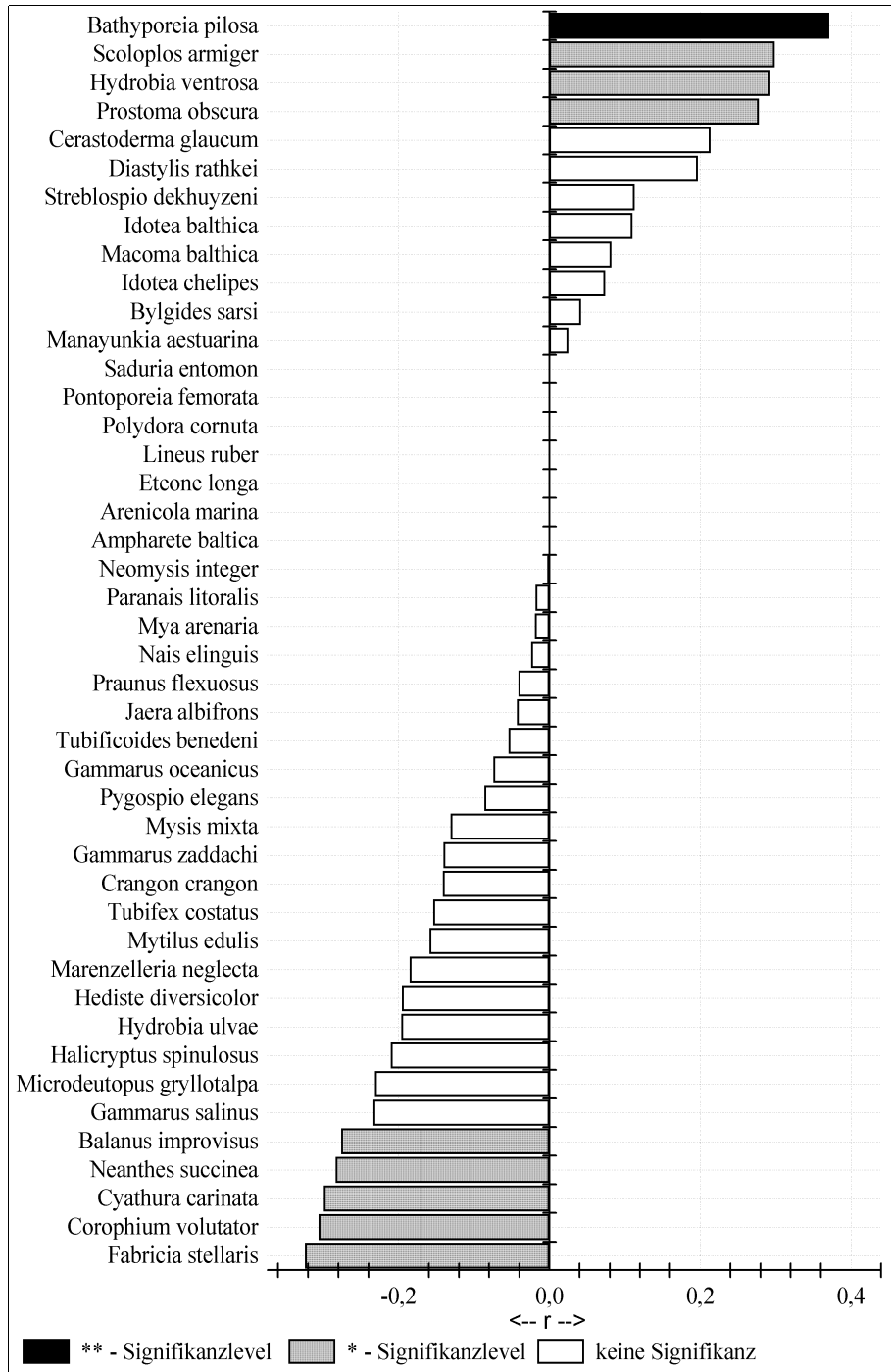


Abb. 29: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit der Sortierung des Sedimentes; Wertebereich: 0,13 – 4,19

Gut sortierte Sedimente scheinen vor allem von *Bathyporeia pilosa*, *Scoloplos armiger* sowie *Hydrobia ventrosa* präferiert zu werden. Dagegen scheinen sich die Arten *Fabricia stellaris*, *Cyathura carinata*, *Corophium volutator* sowie *Neanthes succinea* eher auf schlecht sortierten Sedimenten gut zu behaupten. Allerdings finden sich in dieser Abbildung kaum hoch negativ signifikante Korrelationen der Arten mit dem Sediment. In der nächsten Abbildung (Abb. 30, S. 71) werden die berechneten Korrelationen für die Arten mit der Permeabilität des Substrats gezeigt.

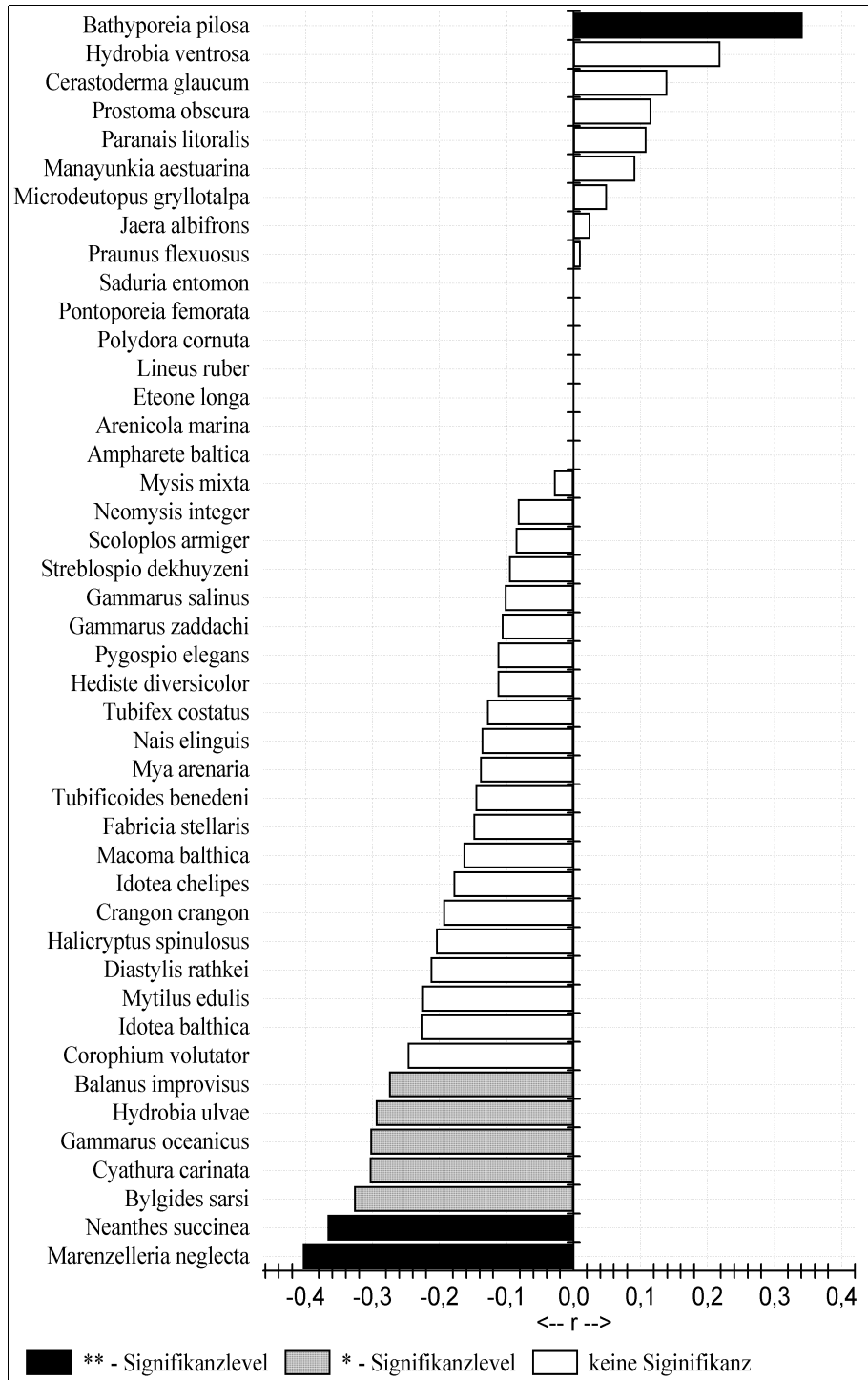


Abb. 30: SPEARMAN - Korrelationskoeffizienten für 44 Arten (Datensatz A) mit der Permeabilität des Sedimentes; Wertebereich: $0,001 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$ – $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ cm/s}$

Nach der obigen Abbildung zu schließen ist *Bathyporeia pilosa* vor allem auf hoch permeablen Sedimenten zu finden, *Neanthes succinea* und *Marenzelleria neglecta* hingegen finden anscheinend auf sehr undurchlässigen Sedimenten gute Lebensbedingungen. Das gleiche scheint für *Neanthes succinea* und, in geringerem Maße, für *B. sarsi*, *C. carinata*, *H. ulvae* und *C. volutator* zu gelten.

Nach der Darstellung der Rangkorrelationskoeffizienten, die dazu dienen sollte, die Ergebnisse für Präferenzen einzelner Arten gegenüber bestimmten Umweltparametern zu beleuchten, folgt nun die Darstellung der Cluster- und nMDS – Analyseergebnisse. Sie geben einen ersten Eindruck davon, inwiefern sich durch die Ergebnisdarstellung der Rangkorrelationen angedeutete Beziehungen zwischen biotischen und abiotischen Parametern in räumlichen Mustern der Artenverteilung und auch in Mustern der Artenzusammensetzung selbst manifestieren.

3.2.2 nMDS- und Clusteranalyse

Zunächst erfolgt in Abbildung 31 (unten) die Darstellung für das Ergebnis der Clusteranalyse aller in **Datensatz B** enthaltenen Arten (23 Arten, 157 Stationen).

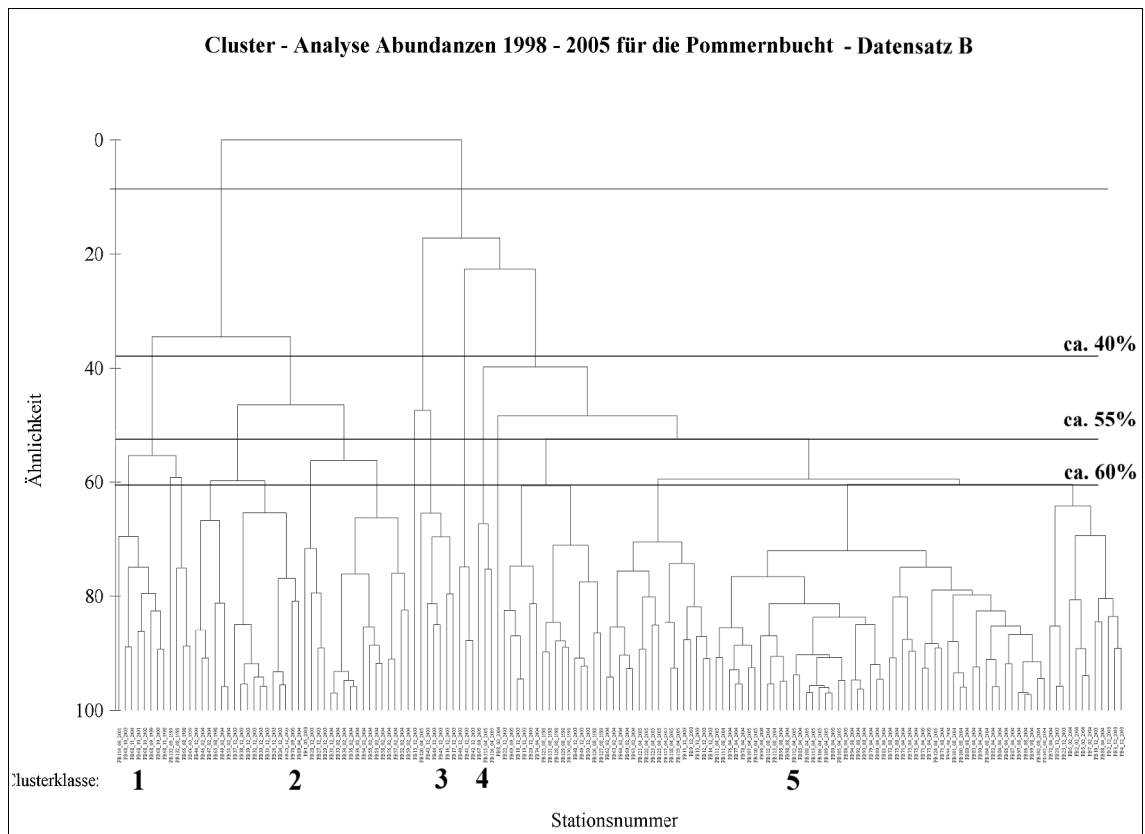


Abb. 31: Cluster - Analyse der Abundanzen der Arten in Datensatz B, Daten mit der 4. Wurzel transformiert, standardisiert, Distanzmaß: BRAY – CURTIS – Ähnlichkeit, Verknüpfungsregel: complete linkage

Mit ANOSIM wurde die beste Klasseneinteilung für das 40 % - Ähnlichkeitsniveau mit fünf Klassen ermittelt. Getestet wurden ebenfalls das 55 % (9 Klassen) sowie das 60 % - Ähnlichkeitsniveau (16 Klassen), hier war die Klassierung jedoch schlechter.³⁸

Die in den Klassen 1 bis 5 jeweils enthaltenen Stationen wurden in ArcView dargestellt und dort geografische Grenzen für die Klassen interpoliert (Abb. 32, S. 73).

³⁸ Zur Validierung der 5 Klassen (Abb. 31, oben) wurde eine ANOSIM durchgeführt. Das Protokoll der Analyse und das zugehörige Histogramm finden sich im CD – Anhang I auf der Daten – CD.

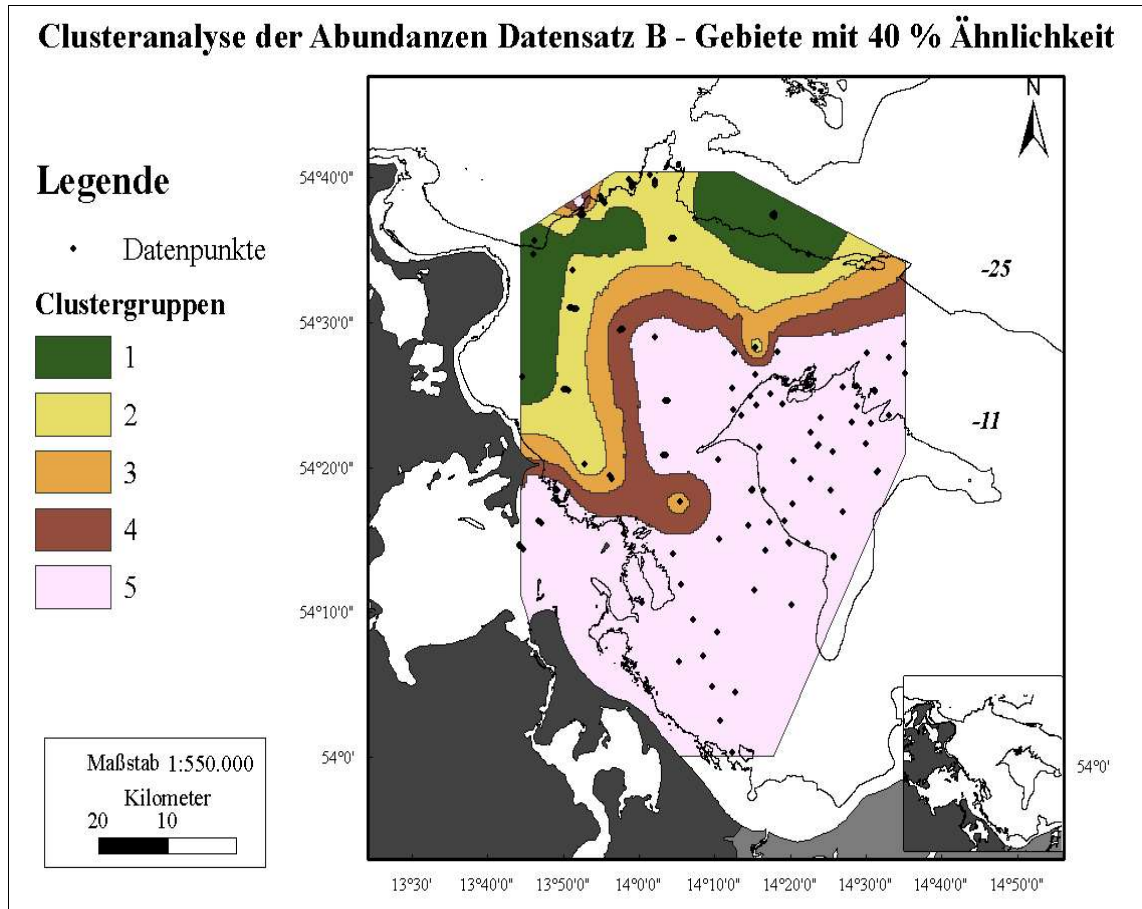


Abb. 32: Geografische Darstellung der in Abbildung 31 (S. 72) durch eine Cluster – Analyse der Abundanzen der Arten in Datensatz B identifizierten Klassen 1 bis 5

Es zeigte sich eine klare und geografisch eindeutige Trennung der durch die Cluster – Analyse in fünf Klassen getrennten Stationen. Vergleicht man die Abbildung 32 (oben) mit der in Abbildung 4 (S. 20) gezeigten Morphologie des Meeresbodens, so fällt auf, dass die Trennung der Arten entsprechend ihrer Abundanz beinahe analog dem Verlauf der Tiefenlinien im nördlichen Untersuchungsgebiet verläuft. Um zu untersuchen, wie die einzelnen Arten zur Klassifizierung beitragen, werden nun die Ergebnisse der SIMPER – Analyse betrachtet. Die Tabelle 9 (unten) zeigt in absteigender Rangfolge die die für das jeweilige Gebiete typischen und dominanten Arten.

Tab. 9: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 31 (S. 72), Darstellung der dominanten Arten innerhalb der Klassen 1 - 5

	Beitrag zur Ähnlichkeit innerhalb der Klassen				
Rang	1	2	3	4	5
1	<i>Diarat</i>	<i>Macbal</i>	<i>Tubben</i>	<i>Balimp</i>	<i>Macbal</i>
2	<i>Halspi</i>	<i>Pygele</i>	<i>Hydulv</i>	<i>Cergla</i>	<i>Myaare</i>
3	<i>Macbal</i>	<i>Hydulv</i>	<i>Macbal</i>	<i>Myaare</i>	<i>Hydulv</i>
4	<i>Myaare</i>	<i>Heddiv</i>	<i>Tubcos</i>	<i>Hydulv</i>	<i>Pygele</i>

Daraus kann gefolgert werden, dass für die unterschiedlichen Gebiete bestimmte Arten typisch zu sein scheinen. Anschließend wird betrachtet, welche Arten am besten geeignet waren, um zwischen den einzelnen Klassen zu unterscheiden, dies sind die so genannten *diskriminierenden Arten* der Cluster – Analyse (siehe Tabelle 10, unten). Sie sind für die Unterschiede zwischen den Klassen verantwortlich. Die Darstellung erfolgte nur für die jeweils ersten 4 Arten, die am meisten zur Aufteilung der Klassen beitrugen.

Tab. 10: Ergebnis der SIMPER für die Klassifizierung der Cluster – Analyse in Abbildung 31 (S. 72), diskriminierende Spezies

Gebiet	1	2	3	4
2	<i>Halspi</i>			
	<i>Heddiv</i>			
	<i>Marneg</i>			
	<i>Fabste</i>			
3	<i>Diarat</i>	<i>Tubcos</i>		
	<i>Halspi</i>	<i>Marneg</i>		
	<i>Tubben</i>	<i>Fabste</i>		
	<i>Bylsar</i>	<i>Heddiv</i>		
4	<i>Cergla</i>	<i>Cergla</i>	<i>Cergla</i>	
	<i>Balimp</i>	<i>Myaare</i>	<i>Myaare</i>	
	<i>Halspi</i>	<i>Balimp</i>	<i>Tubcos</i>	
	<i>Diarat</i>	<i>Pygele</i>	<i>Balimp</i>	
5	<i>Halspi</i>	<i>Cergla</i>	<i>Tubben</i>	<i>Marneg</i>
	<i>Diarat</i>	<i>Tubben</i>	<i>Marneg</i>	<i>Balimp</i>
	<i>Cergla</i>	<i>Pygele</i>	<i>Cergla</i>	<i>Myaare</i>
	<i>Marneg</i>	<i>Fabste</i>	<i>Heddiv</i>	<i>Hydulv</i>

Von Norden nach Süden sind damit für die einzelnen Klassentrennungen hauptsächlich folgende Arten verantwortlich: *Halicryptus spinulosus*, *Tubifex costatus*, *Cerastoderma glaucum* und *Marenzelleria neglecta*. Die am weitesten voneinander entfernten Gebiete unterscheiden sich hauptsächlich durch *Halicryptus spinulosus* und *Diastylis rathkei*. *Cerastoderma glaucum* isoliert hauptsächlich das Gebiet 4 gegen die anderen Gebiete. Somit ist klar, dass sich einzelne Gegenden des Untersuchungsgebietes durch einzelne Arten charakterisieren lassen. Das erste räumliche Muster einer Abhängigkeit konnte somit identifiziert werden. Verteilten sich aber vielleicht nicht nur Arten, sondern sogar ganze taxonomische Gruppen in erkennbaren Mustern über das Untersuchungsgebiet? Diese Frage sollte durch eine Cluster – Analyse mit den nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen aller in **Datensatz B** enthaltenen Arten (23 Arten, 157 Stationen) geklärt werden (siehe Abbildung 33, S. 75).

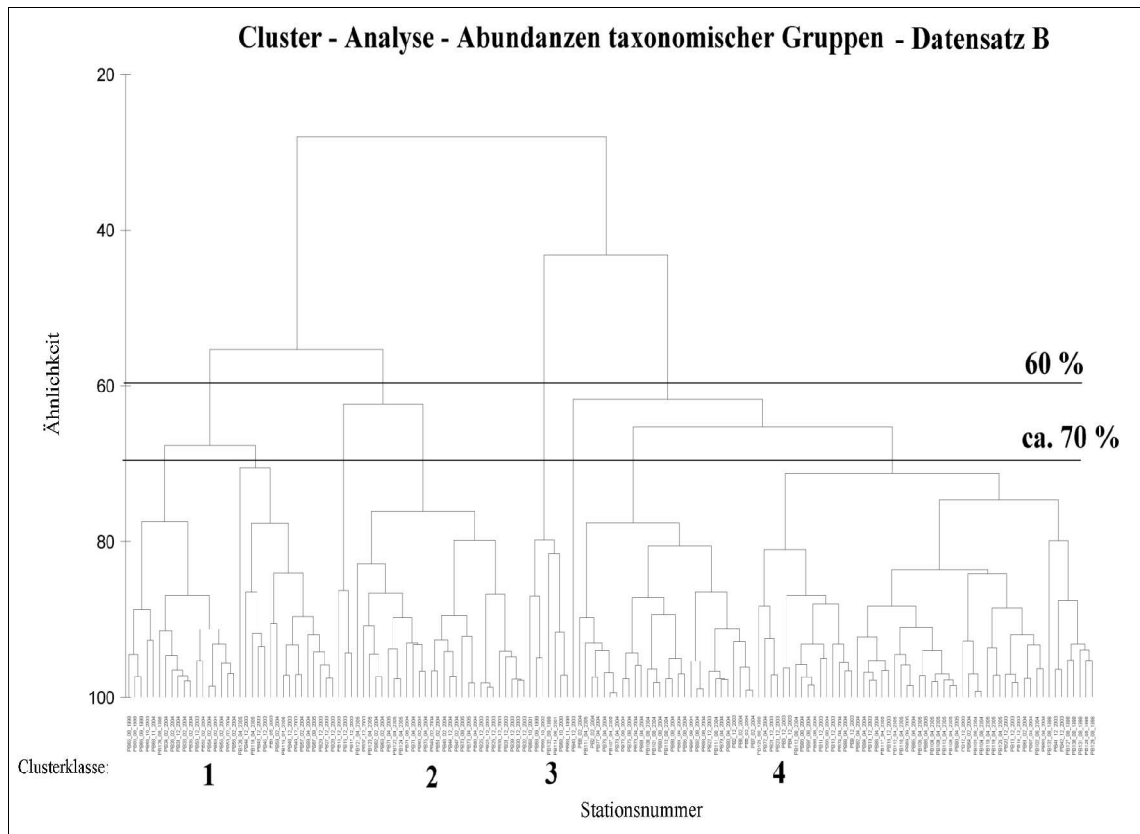


Abb. 33: Cluster - Analyse der nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen für Datensatz B, Daten mit der 4. Wurzel transformiert, standardisiert, Distanzmaß: BRAY – CURTIS – Ähnlichkeit, Verknüpfungsregel: complete linkage

Für diese Cluster – Analyse wurden das 60 % und das 70 % - Ähnlichkeitsniveau auf die beste Klasseneinteilung hin untersucht. Für die Analyse der nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen konnten diesmal schon auf dem 60 % - Ähnlichkeitsniveau 4 Klassen valide getrennt werden.³⁹ Analog zur zuvor beschriebenen Cluster – Analyse der Einzelabundanzen wurden die in den einzelnen zugewiesenen Klassen vorkommenden Stationen in ArcView als geografische Karte dargestellt (Abb. 34, S. 76). In dieser Abbildung zeigt sich das schon in Abbildung 32 (S. 73) gefundene Muster einer Verteilung noch detaillierter. Es scheint nicht nur eine Nord-Süd – Ausprägung, sondern auch ein bis weit in die zentrale Pommernbucht reichendes Klassifizierungsmerkmal zu geben. Die Cluster – Analyse für die zusammengefassten Abundanzen der Arten aus **Datensatz B** wurde ebenfalls mit SIMPER untersucht. Die Ergebnisse der SIMPER – Analyse sind in den beiden Tabellen 11 (S. 76) und 12 (S. 77) zusammengefasst. Drei der vier Gebiete sind durch Arten aus der Klasse der *Bivalvia* charakterisiert, erst die Kombination aller Ränge verleiht den Gebieten eine richtige Charakterisierung. Für die Gebiete 1, 3 und 4 sind dies Arten der *Polychaeta*,

³⁹ Zur Validierung der 5 Klassen (Abb. 33, S. 75) wurde eine ANOSIM durchgeführt. Das Protokoll und das Histogramm der Analyse finden sich im CD – Anhang I auf der Daten – CD.

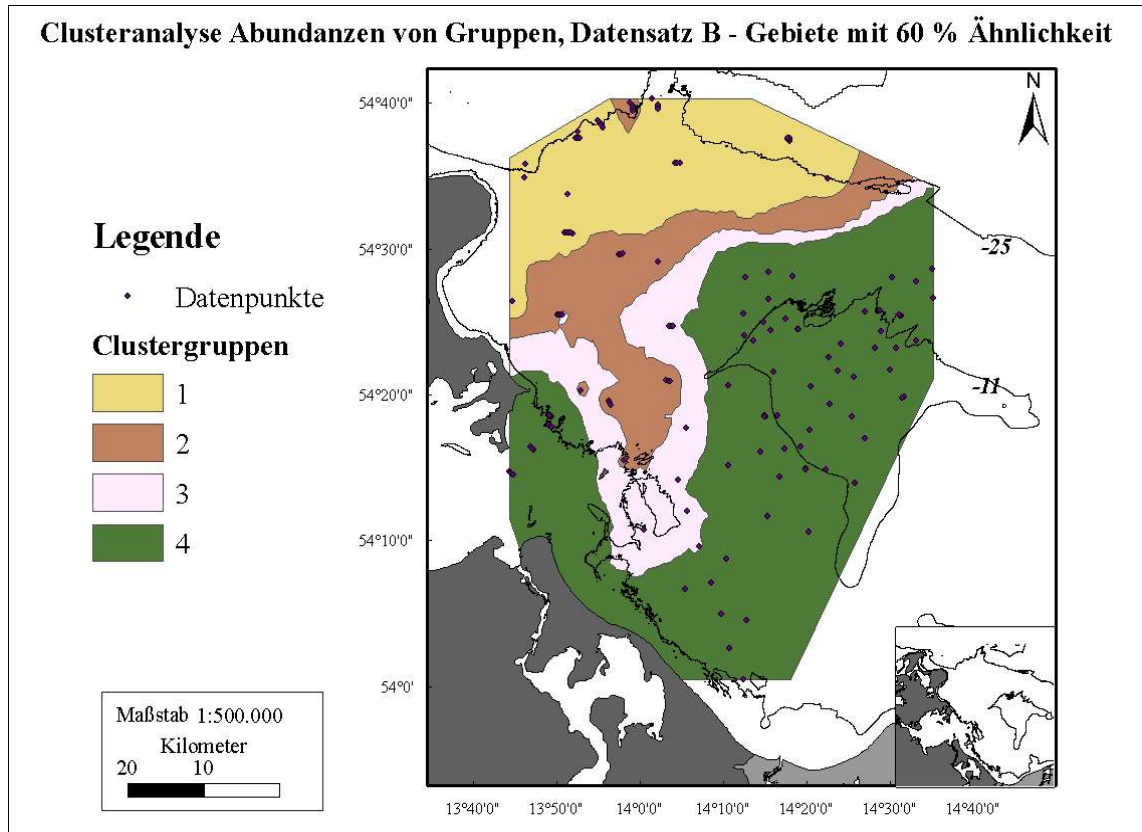


Abb. 34: Geografische Darstellung der in Abbildung 33 (S. 75) durch eine Cluster – Analyse der nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen der Arten in Datensatz B identifizierten Klassen 1 bis 4

Crustacea und **Gastropoda**. Im Gebiet 2 finden sich hauptsächlich Vertreter der **Gastropoda**, **Polychaeta** und **Oligochaeta**. Die Veränderung des Gebietscharakters von Gebiet 1 als ein hauptsächlich durch Arten der **Bivalvia** und **Polychaeta** geprägtes Gebiet bis hin zum Gebiet 4 als ein durch Arten der **Bivalvia** und **Gastropoda** typisiertes Gebiet ist auffällig. Die Tabelle 12 (S. 77) zeigt, welche taxonomischen Gruppen für die Klassifizierung der Stationen in der Clusteranalyse (siehe Abbildung 33, S. 75) hauptsächlich verantwortlich sind. **Priapulida** kamen nur in Gebiet 3 dominant vor.

Tab. 11: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 33 (S. 75), Darstellung typischen Arten innerhalb der Klassen 1- 5

	<i>Beitrag zur Ähnlichkeit innerhalb der Klasse</i>			
<i>Rang</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>1</i>	<i>Bivalvia</i>	<i>Gastropoda</i>	<i>Bivalvia</i>	<i>Bivalvia</i>
<i>2</i>	<i>Polychaeta</i>	<i>Polychaeta</i>	<i>Crustacea</i>	<i>Gastropoda</i>
<i>3</i>	<i>Gastropoda</i>	<i>Oligochaeta</i>	<i>Priapulida</i>	<i>Polychaeta</i>
<i>4</i>	<i>Crustacea</i>	<i>Bivalvia</i>	<i>Polychaeta</i>	<i>Crustacea</i>

Die Gebiete 1 und 2 trennen sich vor allem durch die Gruppe der **Crustacea** und **Oligochaeta**. In der Reihenfolge der Gebiete (1 – 4) bedingen die Arten folgender Taxa eine Klassifizierung: **Crustacea**, **Gastropoda**, **Polychaeta**.

Tab. 12: Ergebnis der SIMPER für die Cluster – Analyse in Abbildung 33 (S. 75), diskriminierende Taxa

Gebiet	1	2	3
2	<i>Crustacea</i>		
	<i>Oligochaeta</i>		
	<i>Gastropoda</i>		
	<i>Polychaeta</i>		
3	<i>Gastropoda</i>	<i>Gastropoda</i>	
	<i>Priapuloidae</i>	<i>Priapuloidae</i>	
	<i>Bivalvia</i>	<i>Crustacea</i>	
	<i>Oligochaeta</i>	<i>Bivalvia</i>	
4	<i>Polychaeta</i>	<i>Crustacea</i>	<i>Gastropoda</i>
	<i>Oligochaeta</i>	<i>Gastropoda</i>	<i>Priapuloidae</i>
	<i>Bivalvia</i>	<i>Bivalvia</i>	<i>Polychaeta</i>
	<i>Gastropoda</i>	<i>Polychaeta</i>	<i>Crustacea</i>

Um die Verteilung der taxonomischen Gruppen genauer zu untersuchen, wurde mit der Ähnlichkeitsmatrix der Clusteranalyse aus Abbildung 33 (S. 75) eine nMDS berechnet und die Anteile der taxonomischen Gruppen farblich markiert. Da die Abbildungen 32 (S. 73) und 34 (S. 76) Hinweise auf eine mögliche Tiefenabhängigkeit der Verteilung der Arten gaben, wurden die Wassertiefen der jeweiligen Stationen mit angegeben.

nMDS - nach taxonomischen Gruppen agglomerierte Abundanzen - Datensatz B

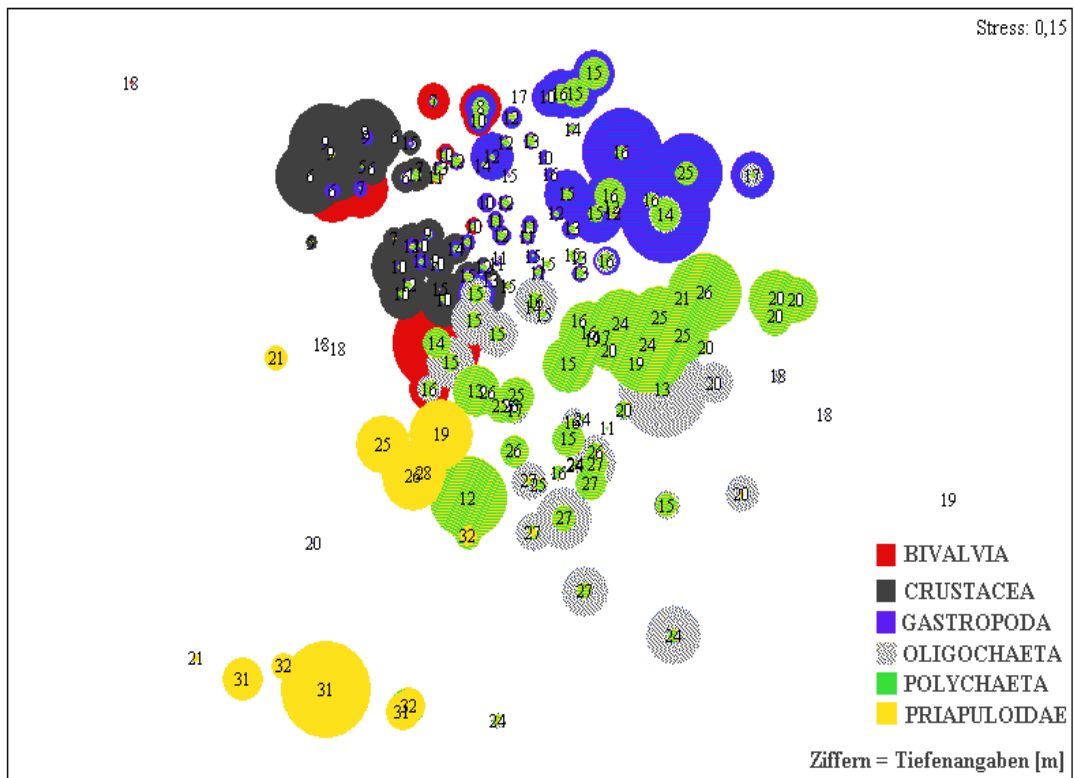


Abb. 35: Kollage aus 6 nMDS - Analysen für die nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen - Datensatz B (23 Arten und 157 Stationen); die Größe der Markierung der taxonomischen Gruppen entspricht ihrer Mächtigkeit (Gesamtabundanz), Zahlen geben die Wassertiefen an.

Der Stress – Wert für die zweidimensionale Abbildung lag bei 0,15.⁴⁰ In der Abbildung 35 (S. 77) handelt es sich demnach um eine gute Trennung der Stationen nach den zu taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen der Einzelarten. Die taxonomischen Gruppen selbst überlappen sich stellenweise stark, z.B. *Bivalvia* mit *Crustacea* oder *Oligochaeta* mit *Polychaeta*. Klare Trennungen existieren für *Gastropoda* mit jeder anderen Gruppe. Dies wurde bereits in den vorhergehenden Analysen erkannt. Für die Abundanzen der taxonomischen Gruppen scheint es nach augenscheinlichen Kriterien eine Beziehung zur Tiefe zu geben. Die gleiche Prozedur wurde auch für die Ähnlichkeitsmatrix der Clusteranalyse aus Abbildung 31 (S. 72) durchgeführt, dabei wurde allerdings eine Klassierung der Stationen nach Tiefenstufen vorgenommen (Abb. 36, S. 78). Der zweidimensionale Stress-Wert lag bei 0,14, für eine dreidimensionale Darstellung würde sich ein Wert für den Stress von 0,10 ergeben.

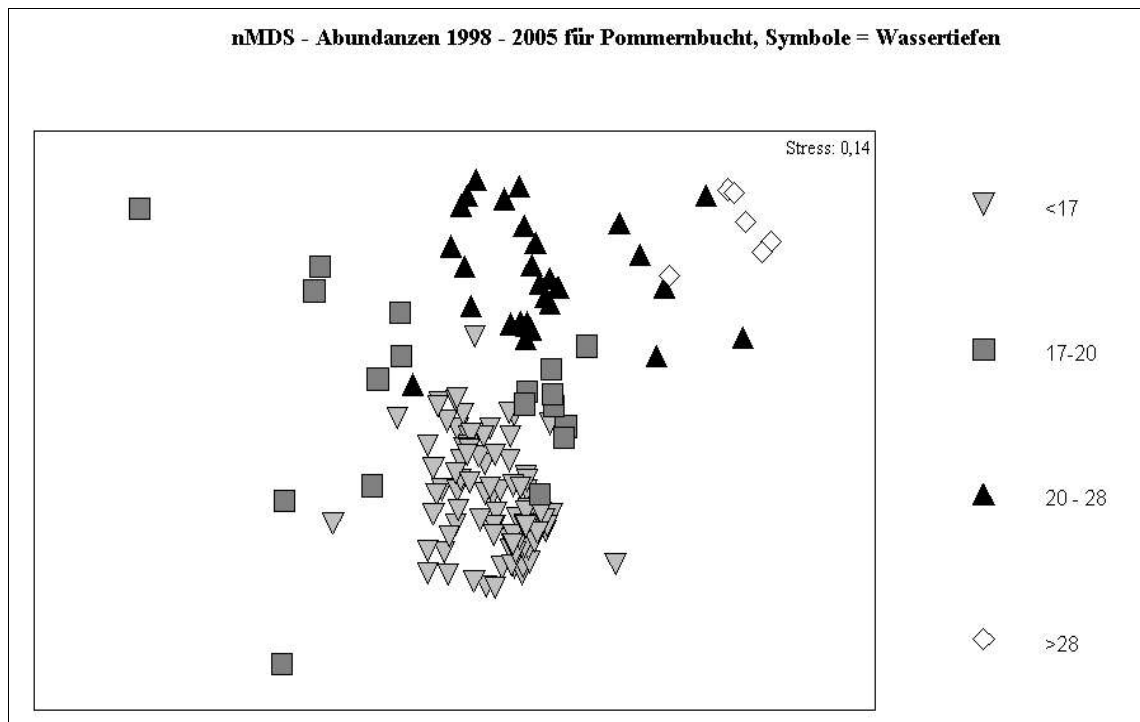


Abb. 36: nMDS – Analyse der Abundanzen der Arten aus Datensatz B, die Tiefengruppen wurden markiert

Wie auch schon für die taxonomischen Gruppen scheint es auch für die Abundanzen der einzelnen Arten eine Klassifizierung nach der Tiefe zu geben. Um zu überprüfen, wie gut die gewählte Tiefenzonierung einer wirklichen Klassifizierung der Stationen nach den Abundanzen entspricht, wurde für die Tiefenzonierung eine ANOSIM berechnet.

Die 13 (S. 79) zeigt die Ergebnisse.

⁴⁰ Bei der Interpretation der nMDS – Plots ist zu beachten, dass es sich nur um zweidimensionale Abbildungen von Punkten in einem dreidimensionalen Raum handelt, für den eine bessere Trennung erreicht wird. Für diese nMDS konnte z.B. ein Stress – Wert von 0,10 für die dreidimensionale Trennung berechnet werden, zweidimensional nur 0,15.

Tab. 13: Ergebnisse der ANOSIM der nMDS Abundanzen taxonomischer Gruppen und Tiefe

Globaler Test				
Proben - Statistik (Global R): 0,824				
Signifikanzniveau der Proben - Statistik: 0,1%				
Anzahl Permutationen: 9999 (Randomisierte Auswahl aus der Gesamtanzahl der Daten)				
Anzahl der Permutationen, die größer oder gleich Global R sind: 0				
Paarweise Tests:				
Getestete Gruppen	R Statistik	Signifikanz Level		Beurteilung der Trennung ⁴¹
			%	
20-28	<17	0,920	0,1	gut
20-28	17-20	0,399	0,1	weniger gut
20-28	>28	0,624	0,1	gut
<17	17-20	0,679	0,1	gut
<17	>28	0,999	0,1	gut
17-20	>28	0,615	0,1	gut

Demnach gibt es für die Arten nach ihrer Abundanz und ihren taxonomischen Gruppen Ähnlichkeiten in Bezug auf die Tiefenstufe, in der sie vorkommen. Die Ergebnisse der Cluster – Analyse zeigen (1) dass eine Klassifizierung des Gebietes durch Arten und taxonomische Gruppen möglich ist, wobei die Unterteilung durch taxonomische Gruppen eine klarere Trennung lieferte und (2) dass es anscheinend zwischen Arten/Artengruppen und Umweltparametern, wie z.B. der Wassertiefe, räumlich bedingte Beziehungen gibt. Um die Arten auf Beziehungen untereinander zu untersuchen, wurde mit **Datensatz B** eine Cluster- und nMDS – Analyse durchgeführt (siehe Abbildung 37, unten und Abbildung 38, S. 80).

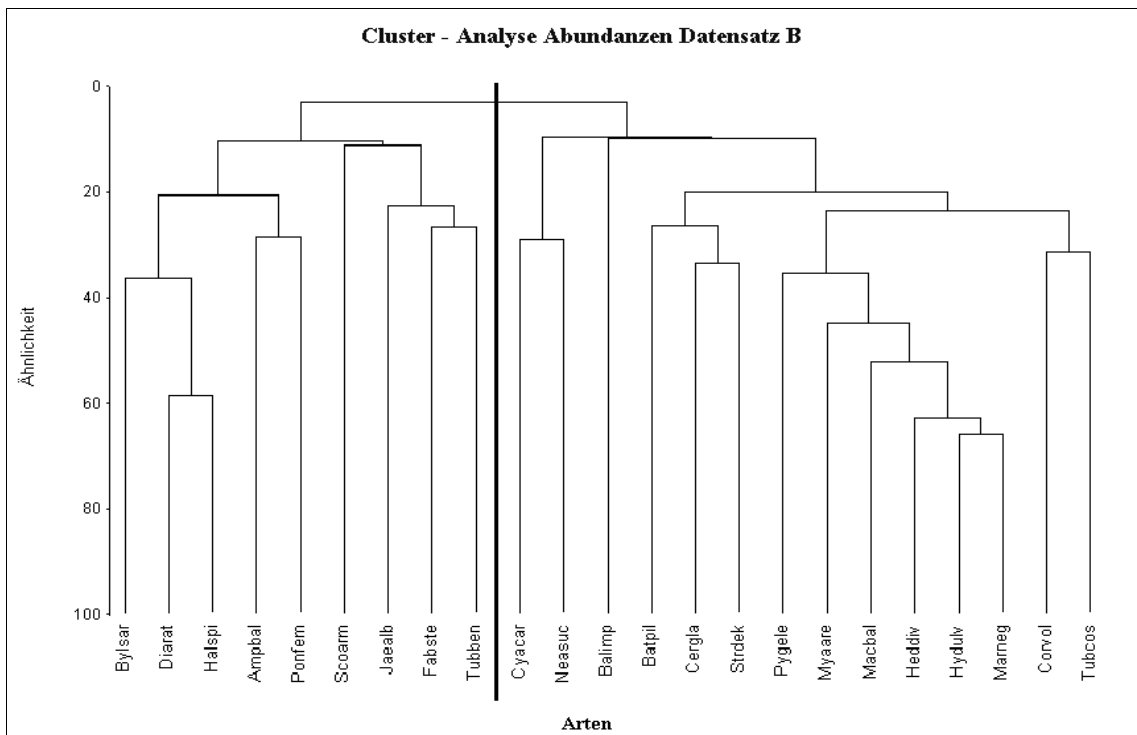


Abb. 37: Clusteranalyse – Abundanzen der Arten – Datensatz B; (Artenkürzel aus 2, S. 39)

41 Nach folgender Klassifizierung der Trennung: $R > 0,75$ = gut, $R > 0,5$ = überlappend aber klar getrennt, $R < 0,25$ = so gut wie keine Trennung erkennbar. Generell: 1 = sehr gut, 0 = keine Trennung erkennbar.

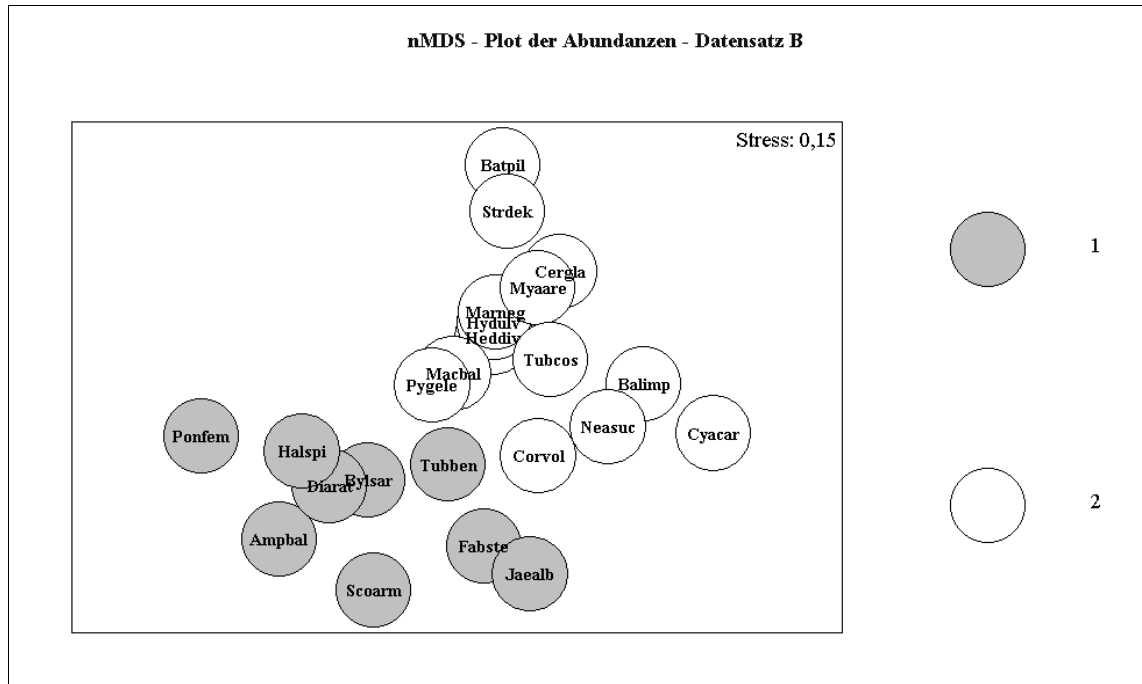


Abb. 38: n MDS – Analyse der Arten in Datensatz B, Kennzeichnung der Klassen aus der Clusteranalyse (Abbildung 37, S. 79), die Kürzel für die Arten sind der 2 (S. 39) zu entnehmen

Die ANOSIM trennte beide in Abbildung 38 (S. 80) gezeigten Gruppen mit $R = 0,689$ (Signifikanz: 0,1%), somit lassen sich für das Untersuchungsgebiet zwei große benthische Faunengruppen bilden. Eine detailliertere und gleichzeitig valide Trennung war mit der Cluster- oder nMDS – Analyse für den vorliegenden Datensatz nicht möglich.

3.2.3 BIO-ENV und RELATE

In der bisherigen Vorstellung der Ergebnisse kristallisierten sich Muster und Vermutungen über bestimmte Zusammenhänge zwischen biotischen und abiotischen Parametern heraus. Die biotischen und abiotischen Parameter wurden bis zu diesem Zeitpunkt, mit Ausnahme der Rangkorrelation, getrennt betrachtet. Zur Klärung der Frage, welcher abiotische Parameter oder -komplex für die Verteilung der Arten im Untersuchungsgebiet verantwortlich ist, werden nun die mit BIO-ENV und RELATE für die **Datensätze C - Bio** und **C - Abio** berechneten Ergebnisse dargestellt. Für die Berechnung der Ähnlichkeitsmatrix aus den biotischen Parametern wurden die Daten mit der 4. Wurzel transformiert und der Ähnlichkeitskoeffizient nach BRAY – CURTIS verwendet. Die Ähnlichkeitsmatrix der abiotischen Parameter wurde aus den z-standardisierten Rohdaten und der Euklidischen Distanz gebildet. Diese abiotischen Parameter wurden vor der BIO-ENV mit einem DRAFTSMAN – Plot auf Linearität überprüft⁴². Mit RELATE wurde die Ähnlichkeitsmatrix der biotischen Parameter direkt

42 Eine Verteilungsgrafik mit Rangkorrelationskoeffizienten, siehe CD – Anhang I, Daten – CD.

mit der Ähnlichkeitsmatrix der abiotischen Parameter verglichen. Zuerst werden die Ergebnisse der BIO-ENV (siehe Tabelle 14, unten) und RELATE für die Abundanzen und im Anschluss die Ergebnisse der BIO-ENV (siehe Tabelle 15, S. 82) und RELATE für die nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen gezeigt.

Tab. 14: Ergebnisse BIO-ENV – Datensatz C-Bio und C-Abio; MKG = mittlere Korngröße, Org = Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff, psu = Salinität, Perm = Permeabilität, Sort = Sortierung

Verfügbare Parameter	Kombinierte Parameter		
Bezeichnung	Anzahl	Korrelation	Auswahl
Tiefe	1	0,56	MKG
psu	2	0,684	Tiefe, MKG
O ₂	3	0,677	Tiefe, MKG, Org
MKG	3	0,677	Tiefe, MKG, Perm
Org	4	0,674	Tiefe, MKG, Org, Perm
Sort	5	0,665	Tiefe, psu, MKG, Org, Perm
Perm	4	0,66	Tiefe, psu, MKG, Org
	5	0,66	Tiefe, MKG - Perm
	4	0,655	Tiefe, MKG - Sort
	6	0,654	Tiefe, psu, MKG - Perm
	5	0,649	Tiefe, psu, MKG - Sort

Die Ergebnisse in Tabelle 14 (oben) werden wie folgt interpretiert: Die Spalte Anzahl gibt jeweils an, wie viele der insgesamt zur Verfügung stehenden Parameter (Spalte Bezeichnung) in die Analyse einbezogen wurden. Die Spalte Auswahl gibt den Parameter, bzw. Parameterkomplex an, für den beim iterativen Vergleich aller möglichen Kombinationen die beste Teststatistik (Spalte Korrelation) erreicht wurde. Dieser Parameter, bzw. Parameterkomplex, erklärt somit die Struktur der biotischen Parameter im untersuchten Gebiet am besten. Als einzelner Faktor wäre dazu die mittlere Korngröße am besten geeignet, bei der Kombination zweier Parameter dann hauptsächlich die Tiefe und die mittlere Korngröße usw. Es ist prägnant, dass hauptsächlich sedimentäre Parameter die Siedlungsstruktur der Arten erklären. Der Sauerstoffgehalt spielt, wie bereits vermutet, keine Rolle für die Strukturierung. RELATE fand für die biotische und die abiotische Ähnlichkeitsmatrix eine Korrelation von $r = 0,528$ auf einem Signifikanzniveau von 0,1 % bei 9999 berechneten Permutationen, was auf einen mittleren Zusammenhang zwischen den untersuchten Biotik- und Abiotikmatrizen schließen lässt. Die Ergebnisse der BIO-ENV für die nach taxonomischen Gruppen zusammengefassten Abundanzen des Datensatzes C – BIO sind Tabelle 15 (S. 82) zu entnehmen. Die Interpretation erfolgt analog der oben beschriebenen BIO-ENV.

Tab. 15: Ergebnisse BIO-ENV – Datensatz C-Bio (nach Taxa agglomerierte Abundanzen) und C-Abio; MKG = mittlere Korngröße, Org = Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff, psu = Salinität, Perm = Permeabilität, Sort = Sortierung

Verfügbare Parameter	Kombinierte Parameter		
	Bezeichnung	Anzahl	Korrelation
Tiefe	1	0,437	Tiefe
psu	2	0,518	Tiefe, MKG
O2	3	0,491	Tiefe, MKG, Sort
MKG	3	0,489	Tiefe, psu, MKG
Org	3	0,482	Tiefe, MKG, Perm
Sort	3	0,48	Tiefe, Sort, Perm
Perm	3	0,478	Tiefe, MKG, Org
	4	0,476	Tiefe, MKG-Sort
	5	0,474	Tiefe, MKG-Perm
	4	0,473	Tiefe, psu, MKG, Sort
	4	0,472	Tiefe, MKG, Org, Perm

Offensichtlich lässt sich die Verteilung der Arten nach taxonomischen Gruppen im untersuchten Gebiet durch die Verteilung der abiotischen Faktoren nicht so gut erklären wie dies für die Verteilung der Einzelabundanzen der Fall war. Die taxonomischen Gruppen werden durch die Tiefe als einzelner Faktor besser strukturiert als die Einzelabundanzen durch die mittlere Korngröße in der vorhergehenden Analyse. Der Sauerstoffgehalt scheint auch für die Verteilungsmuster taxonomischer Gruppen keine Rolle zu spielen. RELATE fand für die biotische und abiotische Ähnlichkeitsmatrix dieser Analyse eine Korrelation von nur 0,39 auf einem Signifikanzniveau von 0,01 % bei 9999 berechneten Permutationen.

3.2.4 PCA - Analyse

Eine Hauptkomponentenanalyse wurde für biotische Parameter (Datensatz D) und abiotische Parameter (Datensatz C – Abio) durchgeführt. Für die biotischen Parameter wurde die Varianz-Kovarianzmatrix der mit der 4. Wurzel transformierten Rohdatenmatrix verwendet (varianz – kovarianzbasierte Analyse), für die abiotischen Parameter die z-transformierte Matrix des Datensatz C – Abio (korrelationsbasierte Analyse). Die Ergebnisse wurden sowohl für die abiotischen als auch für die biotischen Parameter in Form eines Korrelationsbiplots angegeben.⁴³ Das heißt, dass hauptsächlich die Beziehungen der Parameter zueinander betrachtet und die Lage der einzelnen Stationen zu

⁴³ Dies hat nichts mit korrelationsbasiert oder varianz-kovarianzbasierter PCA zu tun, in einem Korrelationsbiplot werden U und F lediglich mit dem Faktor $\lambda^{0.5}$ multipliziert und so skaliert, Box- und SCREE – Plots der Analysen finden sich im CD – Anhang, Daten – CD. Auf der CD befinden sich ebenfalls unkommentierte Rohdaten der PCA – Analyseergebnisse.

den Achsen der Faktoren vernachlässigt wird. Den Korrelationsbiplot für die korrelationsbasierte Analyse der abiotischen Parameter zeigt Abbildung 39 (S. 83).

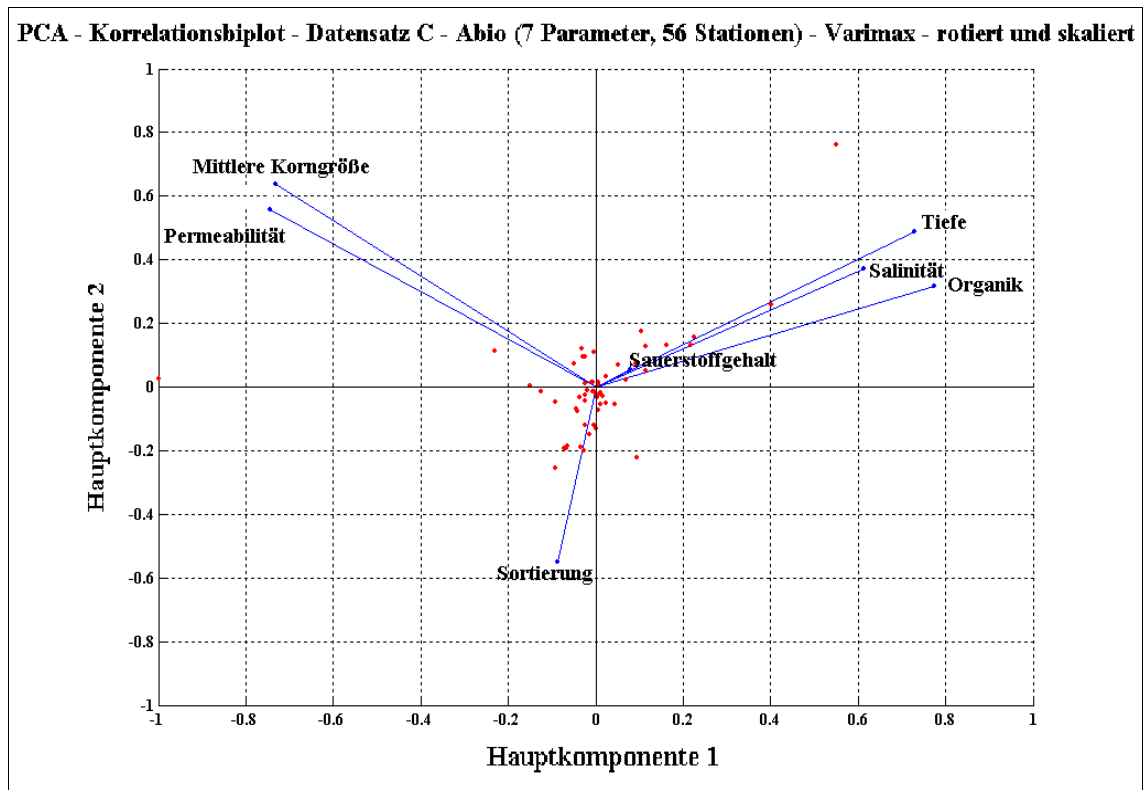


Abb. 39: PCA - Korrelationsbiplot der abiotischen Parameter, Datensatz C-Abio

Die ersten beiden Hauptkomponenten erklären zusammen 60 % der Gesamtvarianz der Datenmatrix (Hauptkomponente 1: 37 %, Hauptkomponente 2: 21 %). Der Biplot kann wie folgt interpretiert werden: Die Länge der Geraden ist gleichbedeutend mit der Standardabweichung und damit auch der Varianz. Je näher die Geraden an den Hauptachsen liegen, um so mehr tragen sie zu ihnen bei. In einem Korrelationsbiplot ist der Kosinus des durch zwei Objekten (hier: Parameter) eingeschlossenen Winkels gleichbedeutend mit dem Korrelationskoeffizienten zwischen diesen Objekten. Das Vorzeichen wird dabei durch die Lage der Objekte im Quadranten des Koordinatensystems bestimmt. Liegen die Parameter völlig entgegengesetzt, so ist der Korrelationskoeffizient -1, liegen sie auf einer Geraden in gleicher Richtung wird $r = 1$. Dies kann leicht durch den Vergleich der Abbildung mit den Rangkorrelationskoeffizienten aus Abschnitt 3.2.1 (S. 61) nachvollzogen werden. Somit spiegelt der Korrelationsbiplot der abiotischen Faktoren die Verhältnisse zwischen den Faktoren wieder. Die Sortierung trägt am meisten zur 1. Hauptkomponente bei, Tiefe, Organik und Salinität hauptsächlich zur zweiten und die Permeabilität trägt zusammen mit der mittleren Korngröße gleich viel zu beiden Hauptachsen bei. Alles in allem konnte die Analyse die bisher für die abiotischen Parameter

bestimmten Ergebnisse bestätigen. In der nächsten Abbildung (Abb. 40, S. 84) wird der Korrelationsbiplot für die Abundanzen der Arten in Datensatz D betrachtet. Die Interpretation dieser Abbildung wird dabei analog der vorhergehenden Betrachtung für abiotische Parameter vorgenommen.

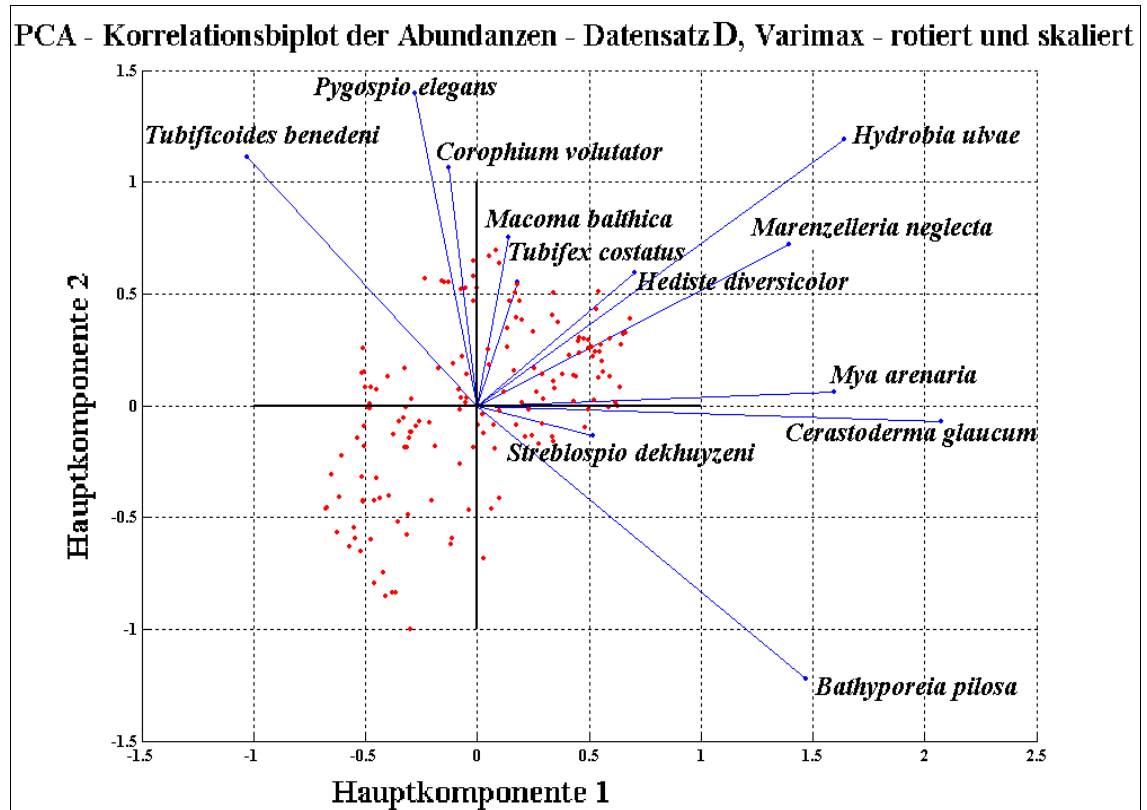


Abb. 40: PCA - Korrelationsbiplot der Abundanzen - Datensatz D

Bereits die ersten beiden Hauptkomponenten erklären zusammen 60 % der Gesamtvarianz (Hauptkomponente 1: 38 %, Hauptkomponente 2: 22 %)! Betrachtet man die Rangkorrelationen (siehe Abschnitt 3.2.1, S. 61) der Spezies, die nahe der 1. Hauptkomponentenachse liegen, so fällt auf, dass sie über *T. benedeni* bis *T. costatus* positiv hoch mit Salinität und Organikgehalten korreliert sind. *M. arenaria*, *C. glaucum* und *S. dekhuyzeni* dagegen zeigen auffallend hohe negative Korrelationen mit Tiefe und Salzgehalt. *M. neglecta* und *H. ulvae* zeigen sowohl hohe positive Korrelationen mit Organik aber auch hohe negative mit Tiefe und Salzgehalt. Dies entspricht auch genau ihrer Stellung im Biplot. *B. pilosa* ist stark negativ mit Organik, Tiefe und Salzgehalt und stark positiv mit Sortierung und Permeabilität korreliert. Da Hauptkomponentenwerte in weiteren Analysen verwendet werden können, wurde in ArcView die erste rotierte und skalierte Hauptkomponente der PCA – Analyse für die Abundanzen der in Datensatz B enthaltenen Arten in einer geografischen Karte des Untersuchungsgebietes interpoliert dargestellt (siehe Abbildung 41, S. 85).

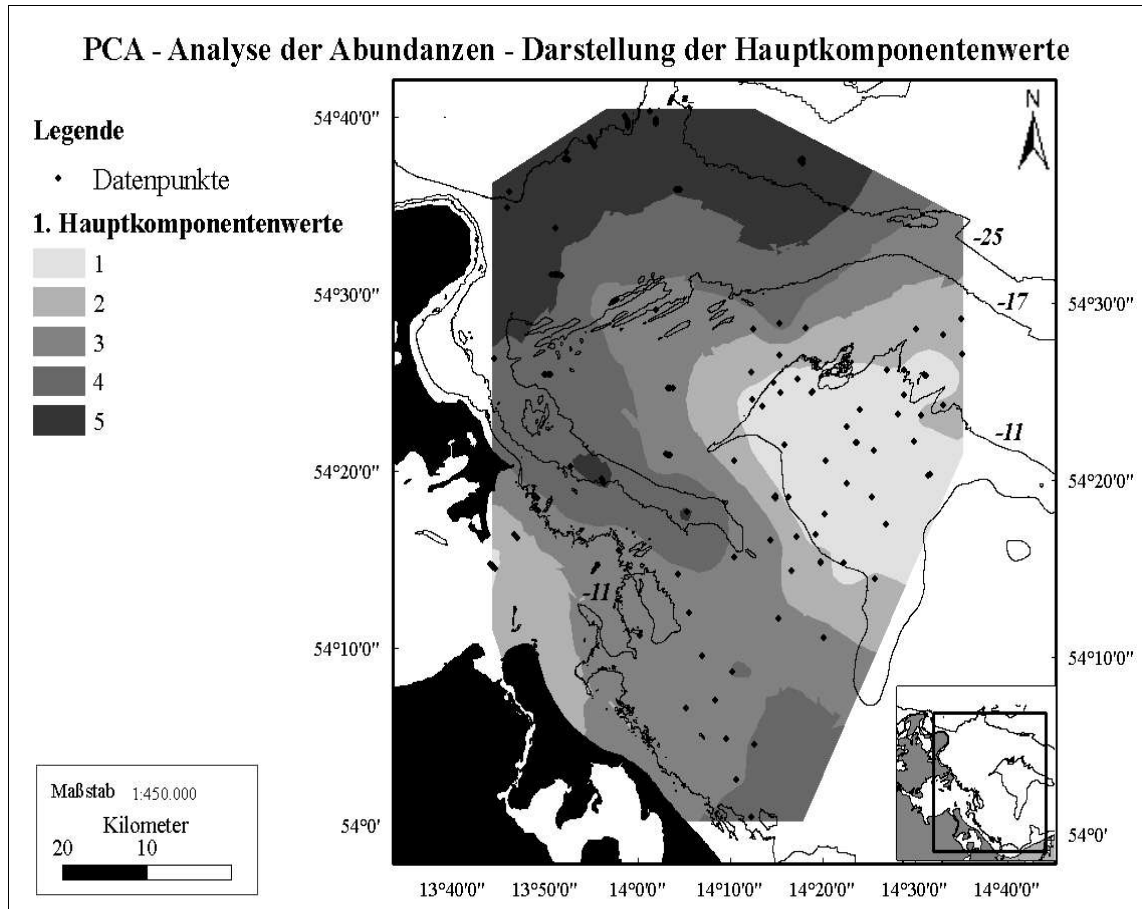


Abb. 41: PCA - Analyse der Abundanzen - Darstellung der 1. Hauptkomponentenwerte

Diese Darstellung macht die Grundstruktur der Daten deutlich, das störende „Hintergrundrauschen“ (Redundanz) aller Informationen wird sozusagen gefiltert (siehe Abschnitt 2.6.4.5 (S. 48)). Datenpunkte in Gebieten gleicher Hauptkomponentenwerte ähneln sich stark im Bezug auf ihre Artenzusammensetzung. Obige Abbildung liefert mit nur 12 Arten ein detaillierteres Abbild der Artenstruktur als die Clusteranalysen aus Abschnitt 3.2.2 (S. 72). Hier drängt sich wieder die auch schon dort gemachte Vermutung auf, dass es eine klare Trennung der Arten und Zusammensetzung der Artengemeinschaften nach Gebiet und Tiefe gibt. Zu beachten ist die Ähnlichkeit zwischen der Oberbank und den im Bereich der nördlichen Boddendrandschwelle liegenden Sandgebieten. Anscheinend scheint es nicht nur eine Nord – Süd – Ausprägung nach Wassertiefe, sondern auch eine Ost – West – Achse in der Variabilität der Artenstruktur nach Sedimenteigenschaften zu geben. Um die Unterschiede zwischen den in Abbildung 41 (oben) dargestellten Gebieten noch genauer zu quantifizieren, wurden die Prozentanteile der Arten (Tabelle 16, S. 86) und Taxa (Tabelle 17, S. 86) entsprechend des Anteils ihrer Abundanz an den einzelnen Gebieten durch eine Analyse in ArcView berechnet.

Tab. 16: Prozentanteile der einzelnen Arten nach Abundanz an den durch die PCA – Analyse in Abb. 41 (S. 85) bestimmten Gebieten, Datensatz B, der für die jeweilige Art höchste Anteil wurde markiert

Arten	Gebiete				
	1	2	3	4	5
<i>Bathyporeia pilosa</i>	12,75	1,31	0,02	0,01	0,00
<i>Cerastoderma glaucum</i>	12,93	3,76	18,17	2,79	0,01
<i>Corophium volutator</i>	0,10	0,02	2,07	3,01	1,98
<i>Hediste diversicolor</i>	1,91	1,78	2,07	1,94	1,66
<i>Hydrobia ulvae</i>	35,66	61,23	44,39	31,25	30,21
<i>Macoma balthica</i>	2,79	5,08	4,19	9,70	9,35
<i>Marenzelleria neglecta</i>	6,57	6,49	6,85	9,78	3,30
<i>Mya arenaria</i>	22,85	10,65	8,04	8,07	1,24
<i>Pygospio elegans</i>	3,85	8,53	10,25	26,81	46,12
<i>Streblospio dekhuyzeni</i>	0,30	0,10	0,03	0,05	0,00
<i>Tubificoides benedeni</i>	0,31	1,06	3,14	3,29	1,02
<i>Tubifex costatus</i>	0,00	0,00	0,76	3,30	5,12
Summe	100	100	100	100	100

Verfolgt man die Reihen der einzelnen Arten von links nach rechts, fällt auf, dass bestimmte Arten von Gebiet 1 zum Gebiet 5 verschwinden (z.B. *B. pilosa*), während andere Arten hinzukommen (z.B. *T. costatus*) und wiederum andere alternierend auftreten können (z.B. *S. dekhuyzeni*).

Tab. 17: Prozentanteile der einzelnen Taxa nach Abundanz an den durch die PCA – Analyse in Abb. 41 (S. 85) bestimmten Gebieten, Datensatz B, der für die jeweilige Taxa höchste Anteil wurde markiert

Taxa	Gebiet				
	1	2	3	4	5
<i>Bivalvia</i>	39,88	26,41	38,81	35,79	25,02
<i>Crustacea</i>	14,44	3,77	4,68	5,50	4,29
<i>Gastropoda</i>	33,04	51,27	35,48	20,14	19,91
<i>Oligochaeta</i>	0,76	1,91	4,06	7,71	10,55
<i>Polychaeta</i>	11,88	16,64	16,98	30,29	39,75
<i>Priapulida</i>	0,00	0,00	0,00	0,57	0,48
Summe	100	100	100	100	100

Auch bei den Prozentanteilen der Taxa an den verschiedenen Gebieten gibt es eine Verschiebung. Nach Norden hin nehmen die Arten der ***Gastropoda***, ***Bivalvia*** und ***Crustacea*** ab während ***Oligochaeta*** und ***Polychaeta*** zunehmen. ***Priapulida*** sind erst ab Gebiet 4 im Untersuchungsgebiet zu finden. Um im weiteren die Beziehungen zwischen den einzelnen Umweltparametern und Arten weiter aufzuklären, wurde eine CCA durchgeführt, deren Ergebnisse im nächsten Abschnitt vorgestellt werden.

3.2.5 CCA - Analyse

Für die CCA wurden die gleichen Matrizen wie für die PCA benutzt (**C-Abio** und **D**). Für die Interpretation wurden, wie bei der PCA, nur die Arten und Parameter, nicht aber die Stationen dargestellt⁴⁴ Die Abbildung 42 (S. 87) zeigt das Ergebnis der Analyse.⁴⁵

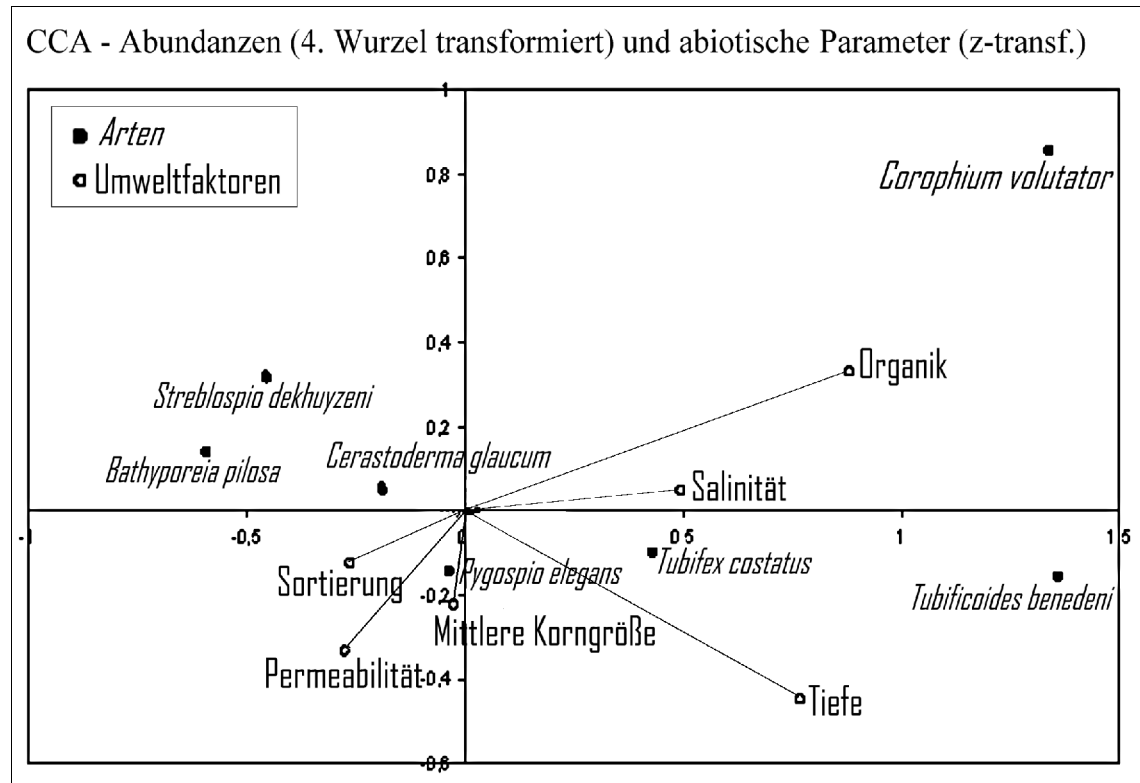


Abb. 42: CCA - Triplot, Abundanzen (Datensatz D) und abiotische Parameter (Datensatz C-Abio)

Aus dem Triplot für die CCA kann abgelesen werden, dass *B. pilosa* eine hohe, *S. dekhuyzeni* eine mittlere und *C. glaucum* eine geringe Affinität zu gut sortierten Sedimenten haben, wobei hohe Organikgehalte des Sedimentes vor allem von *B. pilosa* gemieden werden. Im Bezug auf die Tiefe siedeln *S. dekhuyzeni* und *B. pilosa* in flacheren Gebieten. *Pygospio elegans* bevorzugt gut sortierte Sedimente mittlerer Permeabilität und Korngröße bei geringer Tiefe. *C. volutator*, *T. costatus* und *T. benedeni* sind Arten, die vor allem im organik- und salzreichen Milieu größerer Tiefen ihr Optimum finden. Da die Achsenlänge auch eine Aussage über die Bedeutung eines abiotischen Parameters zulässt, haben die Tiefe und der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment, gefolgt von Permeabilität, Sortierung, mittlerer Korngröße und Salinität, die größten Auswirkungen auf Vorkommen und Verteilung einiger Arten. Dies gilt für das Gebiet, welches durch **Datensatz C-Abio** abgedeckt wird (Abbildung 57, S. 136)

⁴⁴ Für die Ergebnisprotokolle der CCA - Berechnung in BIPLLOT siehe CD – Anhang I, Daten – CD

⁴⁵ Der Plot der CCA wird in der Literatur als Triplot bezeichnet. Tips zur Interpretation finden sich im Anhang, Seite 136.

3.3 Die benthische Besiedlung ausgewählter Arten

In diesem Abschnitt wird die geografische Verbreitung der zwölf in **Datensatz D** enthaltenen und in dieser Arbeit am besten untersuchten Arten dargestellt. Wie die Ergebnisse der statistischen Analysen zeigten, handelt es sich dabei um die dominanten und charakteristischen Arten des Untersuchungsgebietes. Die Verbreitungskarten der einzelnen Arten wurden in ArcView erstellt und enthalten neben geografischen Informationen zur Verbreitung noch allgemeine Angaben zu den Abundanzen. Zu den einzelnen Arten werden die Ergebnisse der statistischen Analysen im Text dargestellt.

Bathyporeia pilosa LINDSTRÖM, 1855

B. pilosa zeigte eine hohe negative Korrelation mit dem Salzgehalt, was aus bereits genannten Gründen als eine negative Korrelation mit der Tiefe zu deuten ist. Diese wurde für die Art ebenfalls nachgewiesen. Mit der Sortierung sowie der Permeabilität zeigte *B. pilosa* als einzige Art eine hohe positive Korrelation. Mit dem Organikgehalt des Sedimentes zeigte sie von allen Arten die stärkste negative Korrelation. Mit der mittleren Korngröße deutete sich lediglich ein schwacher Zusammenhang an. Bedingt durch diese extremen Korrelationen zeigte die Art im PCA – Korrelationsbiplot keine Assoziationen mit anderen Arten, was ihre besondere Stellung in der Artengemeinschaft der Pommernbucht unterstreicht. Die CCA – Analyse bestätigte die hohe Affinität von *B. pilosa* zu gut sortierten, organikarmen und permeablen Sanden und dass diese Substrate vor allem in geringen Wassertiefen bevorzugt besiedelt werden. Die Hauptverbreitungsgebiete der Jahre 1998 bis 2005 sind dementsprechend Gebiete, die oben angegebene Charakteristiken aufweisen: das Oderbankplateau und seine nordöstlichen Ausläufer sowie die Sandgebiete der Boddenrandschwelle. Hier konnte *B. pilosa* höchste Abundanzen erreichen. Nördlich der Oderbank und im nordöstlichen Bereich der Greifswalder Oie sowie an der Usedombank sind die Bedingungen suboptimal, daher werden hier keine hohen Abundanzen erreicht (Abbildung 43, S. 89). Im Gebiet 1 der Abbildung 41 (S. 85)⁴⁶ zeigte *B. pilosa* nach *H. ulvae* und *M. arenaria* die größten Abundanzen und trägt so zu einer Charakterisierung dieses Gebietes bei. In

46 Diese Angaben beziehen sich immer auf die in der genannten Grafik gezeigten interpolierten Gebiete und die für sie berechneten Anteile. Bezug wird auf die Grafik für die Cluster – Analyse der Arten nach Abundanz (5 Gebiete, Abbildung 32, S. 73) und die Grafik der PCA - Hauptkomponentendarstellung (5 Gebiete, Abbildung 41, S. 85) genommen. Die Gebietsbezeichnungen sind absichtlich nicht einheitlich gewählt, da sich die Gebietsgrenzen der genannten Grafiken unterscheiden. Ferner stellt der Begriff *Assoziation* im folgenden eine hohe Korrelation/Ähnlichkeit in Bezug auf die Stellung in einem PCA- oder CCA – Biplot dar.

der SIMPER – Analyse wurde dieses Ergebnis nicht bestätigt, da die zugehörige Cluster – Analyse das Gebiet weniger detailliert aufteilte und die Sandflächen der Oderbank oder der Boddenrandschwelle mit in die gesamte mittlere und südliche Pommernbucht integriert wurden.

Abundanzen von *Bathyporeia pilosa* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

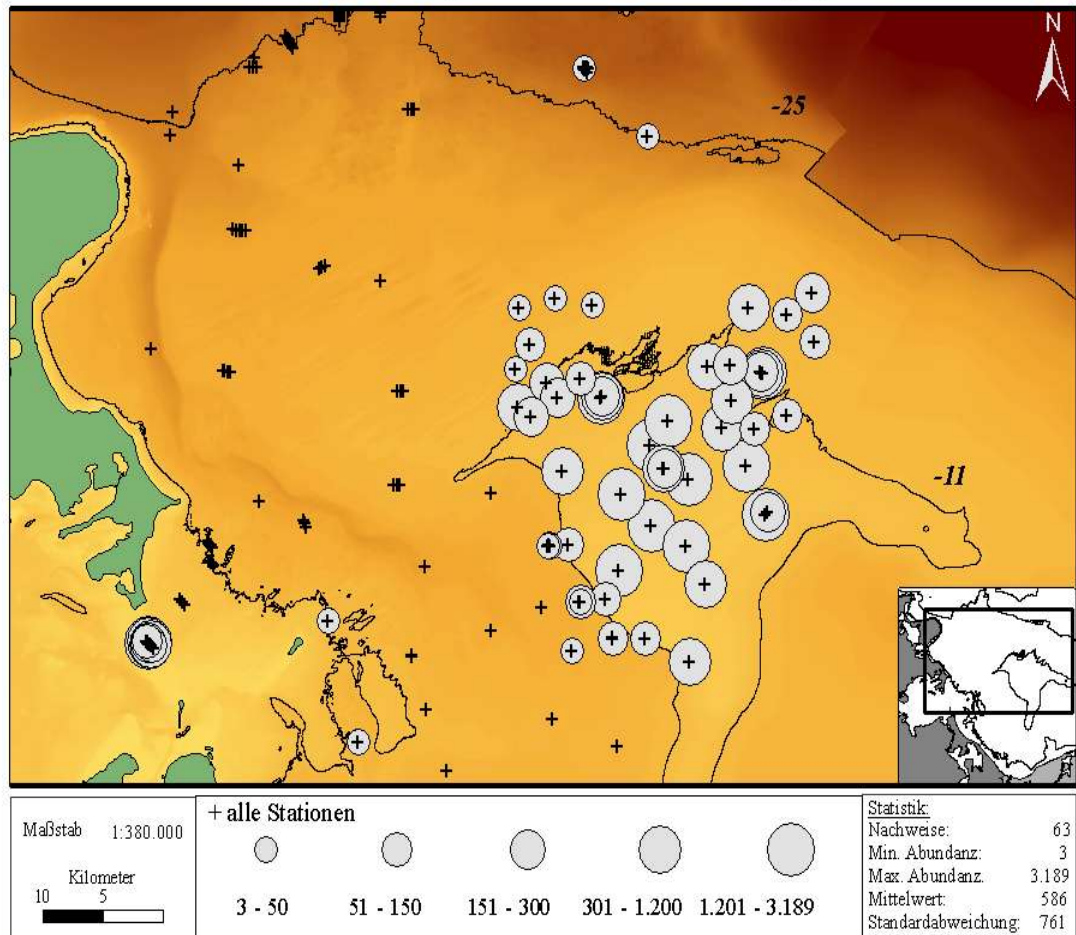


Abb. 43: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Bathyporeia pilosa* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Cerastoderma glaucum (POIRET, 1789)

Für *C. glaucum* wurden hohe negative Korrelationen mit der Tiefe und dem Salzgehalt gefunden. Mit dem Sauerstoffgehalt wurde eine mittlere negative Korrelation berechnet. Für den Gehalt an Organik im Sediment wurde eine schwach negative mittlere Korrelation nachgewiesen, die Korrelationen zwischen mittlerer Korngröße, Sortierung und Permeabilität waren ebenfalls schwach aber positiv. Die CCA – Analyse bestätigte diese Ergebnisse. Im PCA – Korrelationsbiplot zeigte *C. glaucum* eine hohe Assoziation mit *M. arenaria* und *S. dekhuyzeni*. In den Gebieten 1 und 3 der Abbildung 41 (S. 85) war *C. glaucum* hauptsächlich vertreten. In der SIMPER – Analyse (Tabelle 10, S. 74) wurde sie als diskriminierende Art bestimmt. Im Untersuchungsgebiet wurde sie nördlich der Odermündung und zwischen Boddenrandschwelle und Sassnitzrinne in hohen Abundanzen nachgewiesen. An der 25 m - Isobathe und den Oderbankhängen kam sie ebenfalls vor (Abbildung 44, unten).

Abundanzen von *Cerastoderma glaucum* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

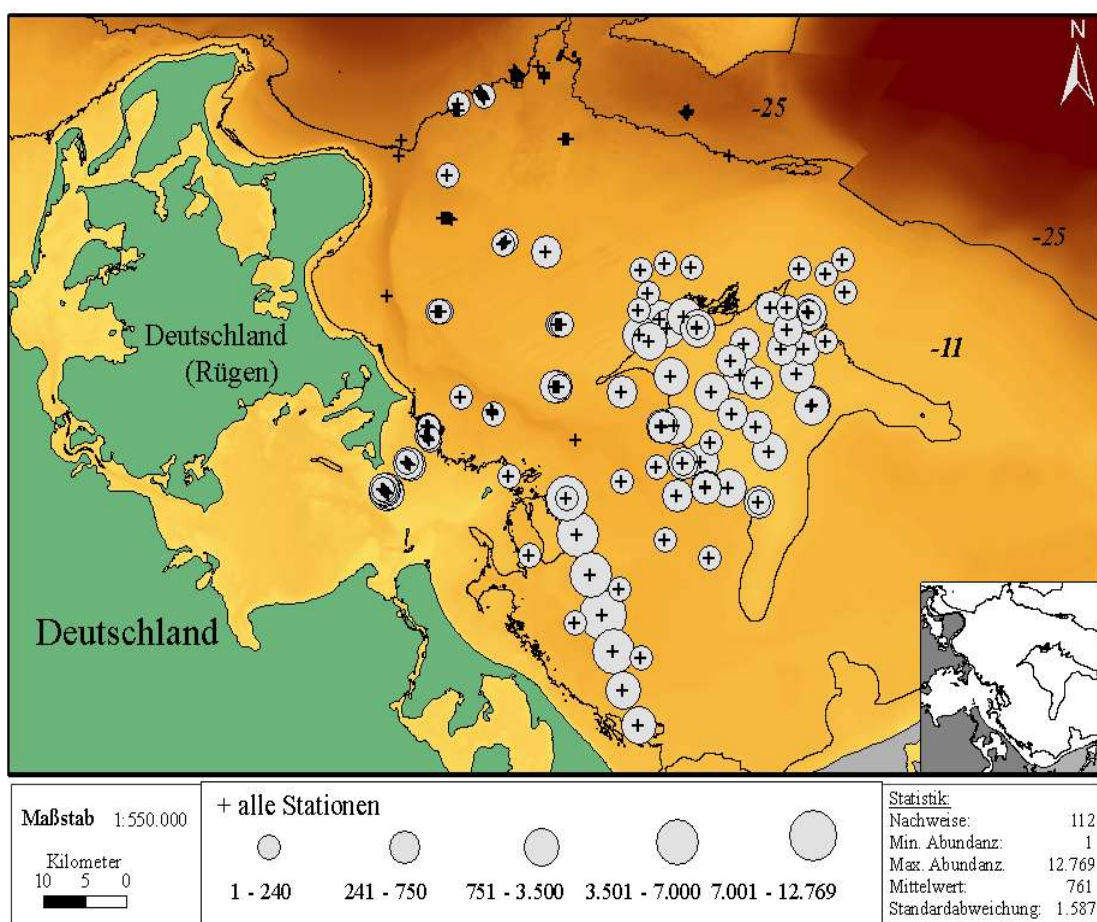


Abb. 44: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Cerastoderma glaucum* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Corophium volutator (PALLAS, 1766)

C. volutator zeigte hohe positive Korrelationen mit dem Organikgehalt und der Salinität. Ferner wurden mittlere Korrelationen mit der Sortierung und dem Sauerstoffgehalt gefunden. Im PCA – Korrelationsbiplot zeigte die Art eine hohe Assoziation mit *P. elegans*. Auch mit *M. balthica* und *T. costatus* konnten Assoziationen beobachtet werden, allerdings geringere. Die CCA – Analyse zeigt *C. volutator* als eine Art, die ihr Optimum bei hohen Organikgehalten und geringer Permeabilität des Sedimentes findet. Das Substrat sollte möglichst nicht sortiert sein und kann in größeren Tiefen liegen, wobei auch höhere Salzgehalte vertragen werden. Das Sediment sollte nicht zu fein, die Sauerstoffversorgung ausreichend sein. Die Art erreicht im Gebiet nördlich der Odermündung bis zur Greifswalder Oie höchste Abundanzen. Geringere Abundanzen finden sich in der nördlichen Bucht sowie nördlich und südlich der Oderbank (Abbildung 45, unten).

Abundanzen von *Corophium volutator* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

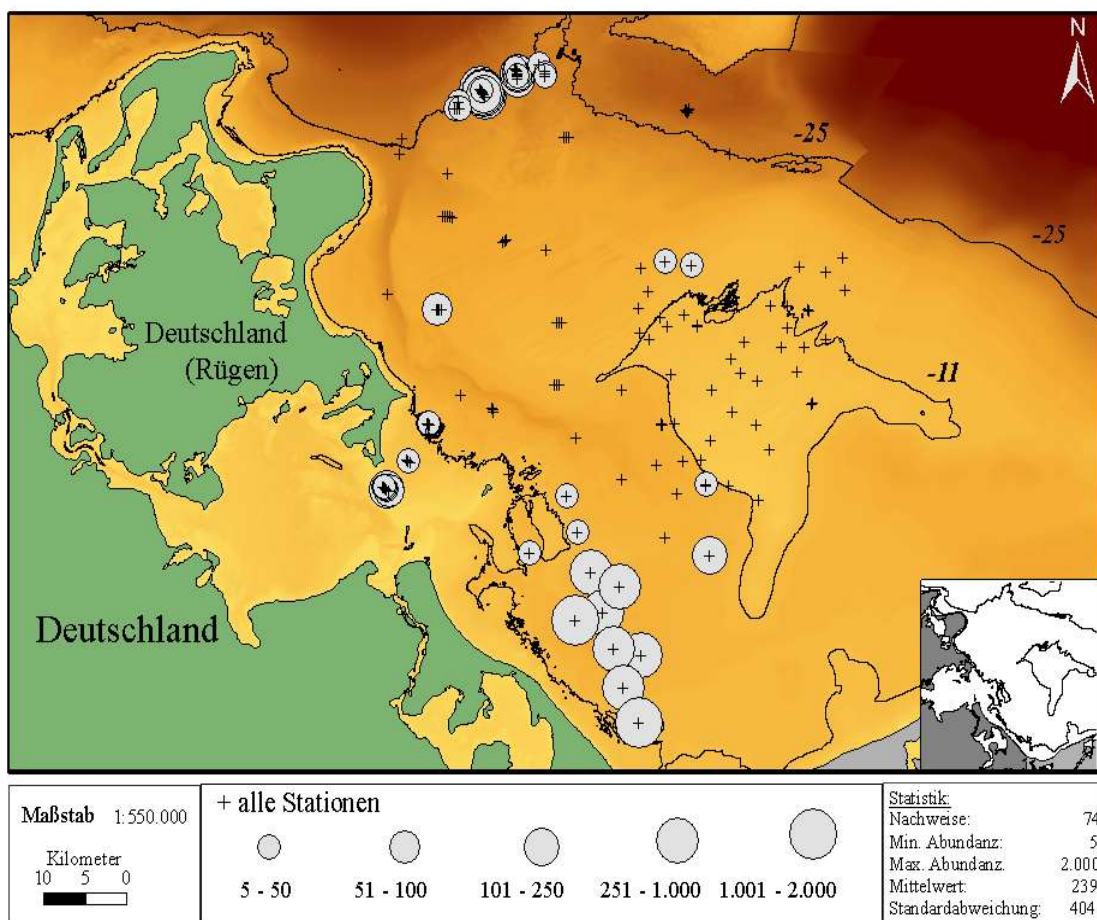


Abb. 45: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Corophium volutator* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Hediste diversicolor (O. F. MÜLLER, 1776)

Außer einer stark negativen Korrelation mit der Tiefe zeigte *H. diversicolor* mit keinem anderen abiotischen Faktor eine nennenswerte Korrelation. Im PCA – Korrelationsbiplot konnte eine Assoziation mit *H. ulvae* und *M. neglecta* festgestellt werden. Im CCA – Biplot lag die Art zu zentriert, um eine differenzierte Aussage ableiten zu können. Dies alles deutet auf *H. diversicolor* als eine kosmopolitisch vorkommende Art mit geringen bis kaum vorhandenen speziellen Ansprüchen hin. Tatsächlich konnte die Art über die gesamte Pommernbucht verteilt in recht hohen Abundanzen nachgewiesen werden. Vor allem die Bereiche der Oderbankabhänge und ein Areal nördlich der Odermündung bis hin zur Sassnitzrinne wurden präferiert (Abbildung 46, unten). Die SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) zeigt *H. diversicolor* im Gebiet 2 als eine Charakterart. Die Häufigkeit ist in fast allen Gebieten der Abbildung 41 (S. 85) gleich hoch, im Gebiet 3 liegt sie geringfügig höher.

Abundanzen von *Hediste diversicolor* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

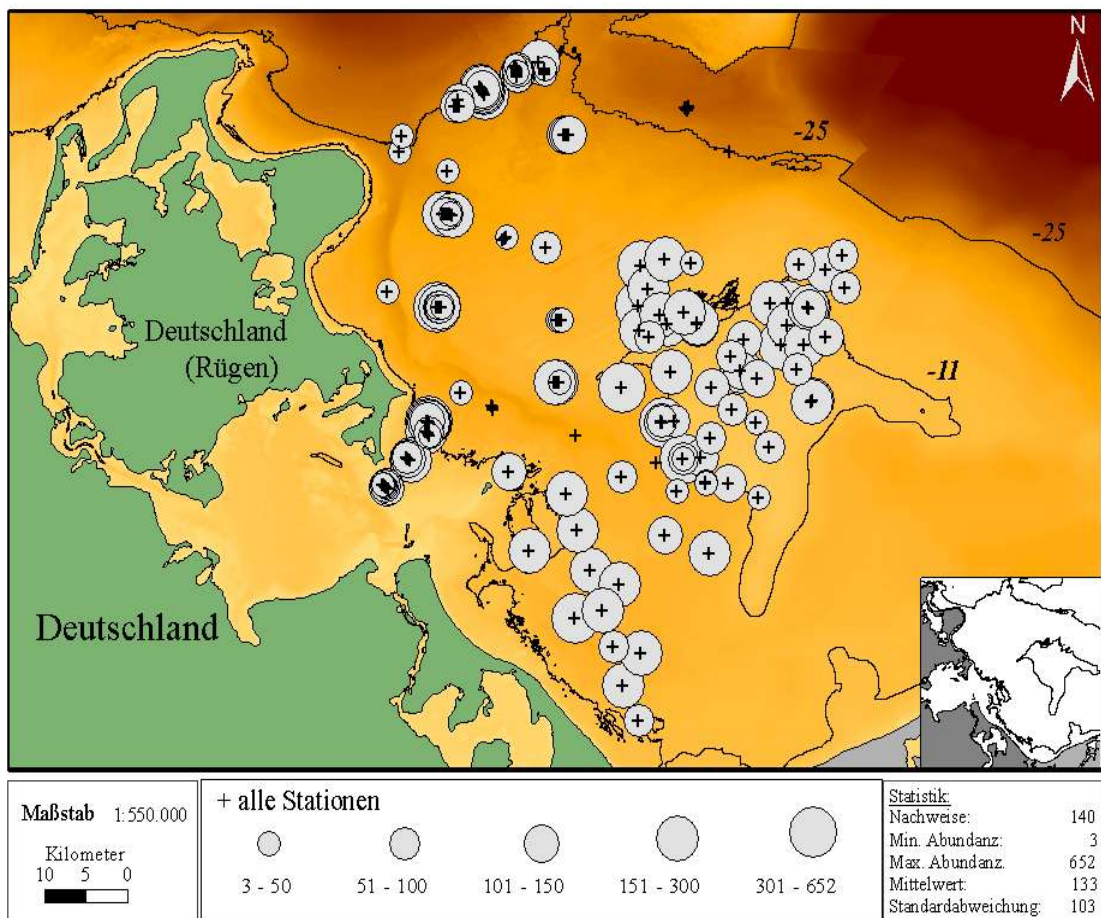


Abb. 46: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Hediste diversicolor* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Hydrobia ulvae (PENNANT, 1777)

H. ulvae zeigte stark negative Korrelationen mit Tiefe und Salinität und eine mittlere negative Korrelation mit der Permeabilität. Mit der Organik korrelierte die Art stark positiv. Im PCA – Korrelationsbiplot fanden sich Assoziationen mit *M. neglecta* und *H. diversicolor*. Für *H. ulvae* konnte keine konkreten Aussage im CCA – Biplot gemacht werden. In der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) gehört *H. ulvae* in 4 von 5 Gebieten mit zu den dominierenden Arten. In der Abbildung 41 (S. 85) trägt sie im Gebiet 2 sogar 61 % zur Gesamtabundanz bei! Bis auf diesen Extremwert nimmt ihr Anteil aber von Gebiet 1 zu Gebiet 5 hin stetig ab. Dies zeigt auch die Verteilungskarte. *H. ulvae* kommt in der gesamten Bucht vor, sehr abundant nördlich der Odermündung, am Ruden, am südwestlichen Oderbankhang und im Gebiet der Sassnitzrinne. Im Norden an der 25 m – Isobathe und auf dem Oderbankplateau wurde sie mit mittleren Abundanzen nachgewiesen (Abbildung 47, unten).

Abundanzen von *Hydrobia ulvae* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

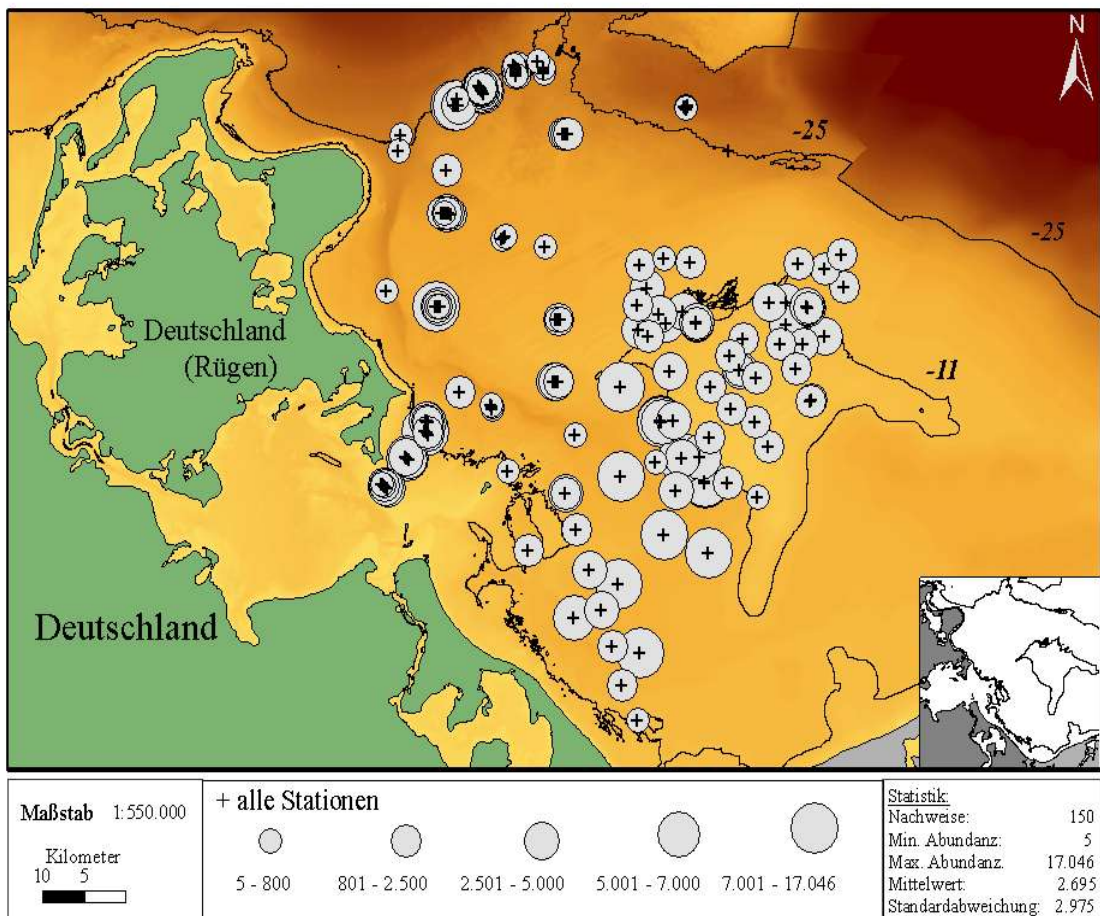


Abb. 47: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Hydrobia ulvae* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Macoma balthica (LINNAEUS, 1758)

M. balthica korrelierte stark positiv mit Tiefe, Salzgehalt und Organik. Im PCA – Korrelationsbiplot zeigte die Art Assoziationen mit *T. costatus* sowie mit *C. volutator* und *P. elegans*. In der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) ist sie, bis auf Gebiet 4, für alle Gebiete charakteristisch. In den Gebieten 2 und 5 ist sie die typischste Art. Trotzdem ist ihr Anteil an der Gesamtabundanz für die Gebiete der Abbildung 41 (S. 85) relativ gering, da die Bucht gegenüber der Clusteranalyse durch die PCA detaillierter getrennt wurde. In dieser Abbildung lagen die höchsten Anteile nach Abundanz im Gebiet 4. Hohe Abundanzen für *M. balthica* wurden nördlich der Odermündung, von der Boddenrandschwelle bis zur Sassnitzrinne und im Norden entlang der 25 m – Isobathen nachgewiesen. Ebenso an den nordwestlichen und südwestlichen Abhänge der Oderbank und dem Plateau selbst (Abbildung 48, unten).

Abundanzen von *Macoma balthica* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

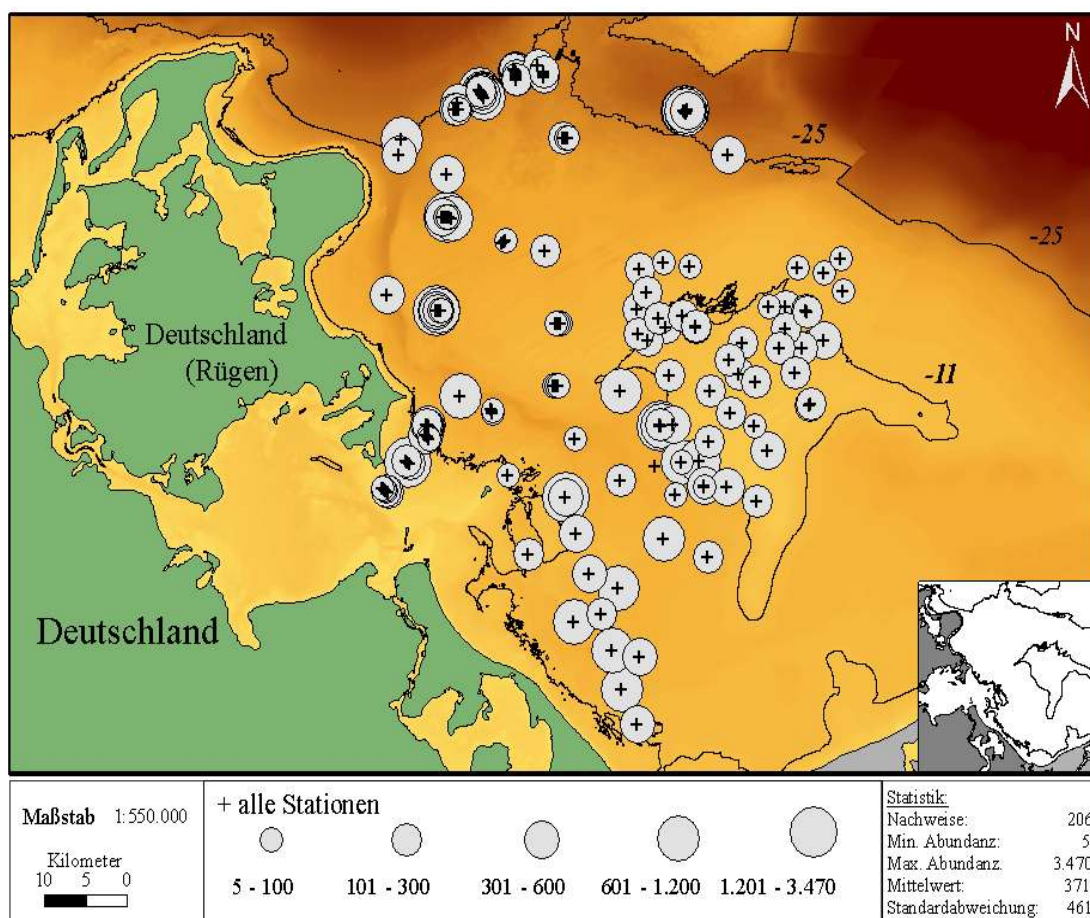


Abb. 48: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Macoma balthica* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Marenzelleria neglecta (VERRILL, 1873)

M. neglecta korrelierte stark negativ mit Tiefe, Salinität und Permeabilität. Mit Permeabilität korrelierte sie am stärksten von allen Arten. Eine mittlere negative Korrelation zeigte sie mit der mittleren Korngröße. Mit dem Organikgehalt korrelierte sie hingegen stark positiv. Im PCA – Korrelationsbiplot zeigte sie starke Assoziationen mit *H. ulvae* und *H. diversicolor*. Der CCA – Biplot lieferte durch die zentrale Lage der Art keine deutbaren Ergebnisse. In der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) wurde sie als eine diskriminierende Spezies bestimmt, sie trennte hauptsächlich zwischen Gebiet 5 und Gebiet 4. In der Berechnung der Abbildung 41 (S. 85) stieg ihr Anteil zwischen Gebiet 1 und 4 und nahm in Gebiet 5 wieder ab. Im Untersuchungsgebiet wurde sie an fast allen Stationen mit hohen Abundanzen nachgewiesen. Auf dem Oderbankplateau und östlich der Greifswalder Oie ebenfalls, hier aber mit geringeren Abundanzen (Abbildung 49, unten).

Abundanzen von *Marenzelleria neglecta* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

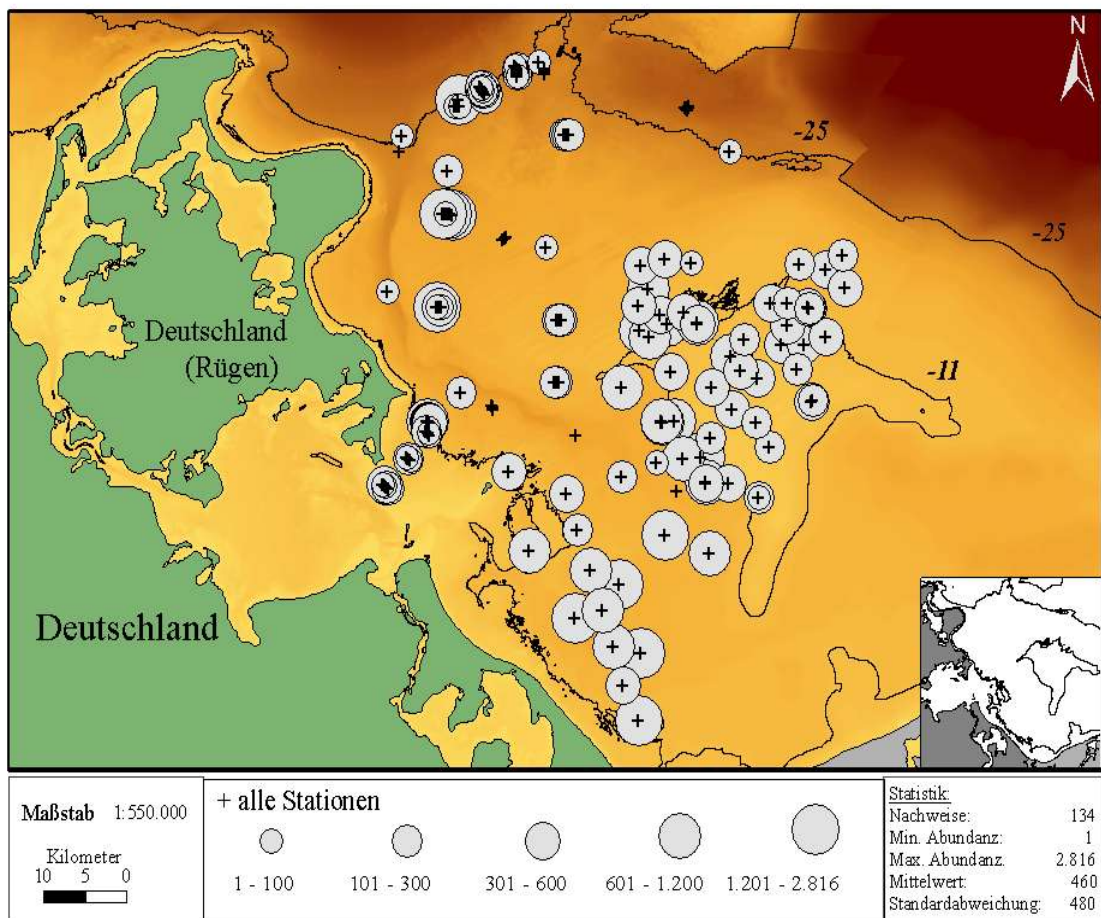


Abb. 49: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Marenzelleria neglecta* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Mya arenaria LINNAEUS, 1758

M. arenaria zeigte starke negative Korrelationen mit der Tiefe und dem Salzgehalt. Daneben deutete sich noch eine leicht negative Korrelation mit der Permeabilität an. Im PCA – Korrelationsbiplot zeigte die Art starke Assoziationen mit *C. glaucum* und *S. dekhuyzeni*. Durch die zentrale Lage im CCA – Biplot war für diese Art keine differenzierte Aussage möglich. In der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) gehörte *M. arenaria* in den Gebieten 1 und 5 zu den typischen Arten. In der Abbildung 41 (S. 85) hatte sie einen hohen Anteil an der Gesamtabundanz im Gebiet 1 mit ca. 22 % der allerdings zum Gebiet 5 hin stetig bis auf ca. 1 % abnahm. Im Untersuchungsgebiet war die Art vor allem in flacheren Gebieten mit hohen Abundanzen vertreten, so z.B. nördlich der Odermündung, im Gebiet der Boddenrandschwelle und auf der Oderbank. Hier zeigten sich hohe Abundanzen, vor allem am Südwestabhang und nördlich der Oderbank (Abbildung 50, unten).

Abundanzen von *Mya arenaria* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

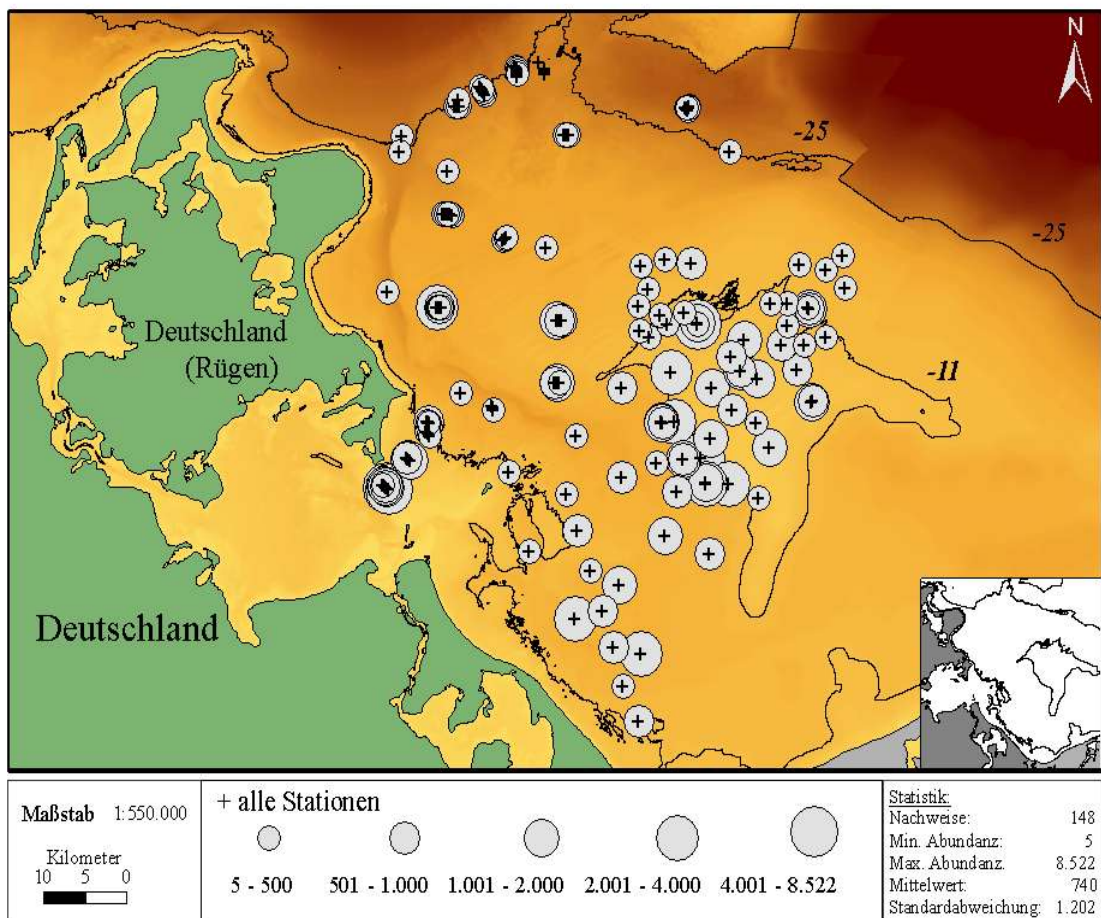


Abb. 50: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Mya arenaria* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Pygospio elegans CLAPAREDE, 1863

P. elegans zeigte stark positive Korrelationen mit Tiefe und Salinität. Für den Organikgehalt wurde eine mittlere positive Korrelation gefunden. Im PCA – Biplot war sie hauptsächlich mit *C. volutator* und etwas schwächer, mit *M. balthica* und *T. costatus* assoziiert. Dem CCA – Biplot nach kommt *P. elegans* in mittleren Tiefen vor, präferiert halbwegs sortierte, mittelfeine Sedimente mit mittleren Organikgehalten. Auch auf organikarmen „Sandinseln“ in größeren Tiefen, die durch Strömungen von Schlick freigehalten werden, kommt die Art in hohen Abundanzen vor. Der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) nach ist *P. elegans* in Gebiet 2 und Gebiet 5 eine der typischen Arten. In Abbildung 41 (S. 85) nimmt der Prozentanteil an der Gesamtabundanz von Gebiet 1 zum Gebiet 5 zu, im Gebiet 5 macht *P. elegans* 46 % der Gesamtabundanz aus! Im Untersuchungsgebiet kam die Art an jeder Station vor, in hohen Abundanzen auf der Achse Odermündung - 25 m – Isobathe und entlang der 25 m – Isobathe (Abbildung 51, unten).

Abundanzen von *Pygospio elegans* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

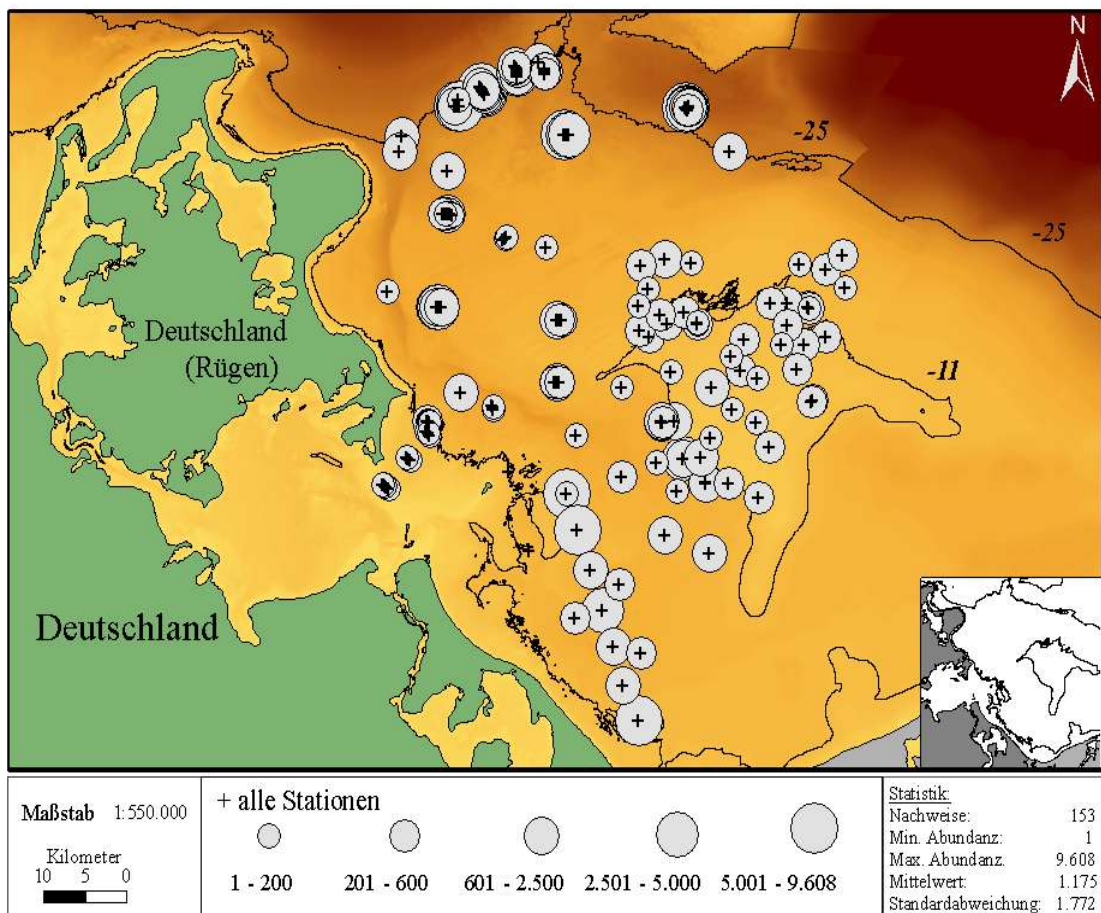


Abb. 51: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Pygospio elegans* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Streblospio dekhuyzeni Horst, 1909

S. dekhuyzeni zeigte starke negative Korrelationen mit Tiefe und Salinität. Im PCA – Korrelationsbiplot zeigte sie starke Assoziationen mit *M. arenaria* und *C. glaucum*. In der PCA - Hauptkomponentendarstellung (Abbildung 41, S. 85) hatte sie so gut wie keinen Anteil an der Gesamtabundanz eines Gebietes, in der SIMPER tauchte die Art ebenfalls nicht auf. Durch den CCA – Biplot kann *S. dekhuyzeni* als eine Art beschrieben werden, die im Flachwasser vorkommt, gut sortiertes und permeables Sediment geringer Korngröße präferiert und auch salzärmere Bereiche besiedeln könnte. Dieser Beschreibung entspricht auch nahezu ihrer Verbreitung im Untersuchungsgebiet. Vor allem auf den permeablen, flachen sowie salz- und organikärmeren Strukturen des Oderbankplateaus und östlich der Greifswalder Oie kommt *S. dekhuyzeni* vor. In höheren Abundanzen findet man sie in einem Gebiet nördlich der Odermündung und an den Oderbankabhängen. An der 25 m – Isobathe wurde sie an einer Station nachgewiesen (Abbildung 52, unten).

Abundanzen von *Streblospio dekhuyzeni* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

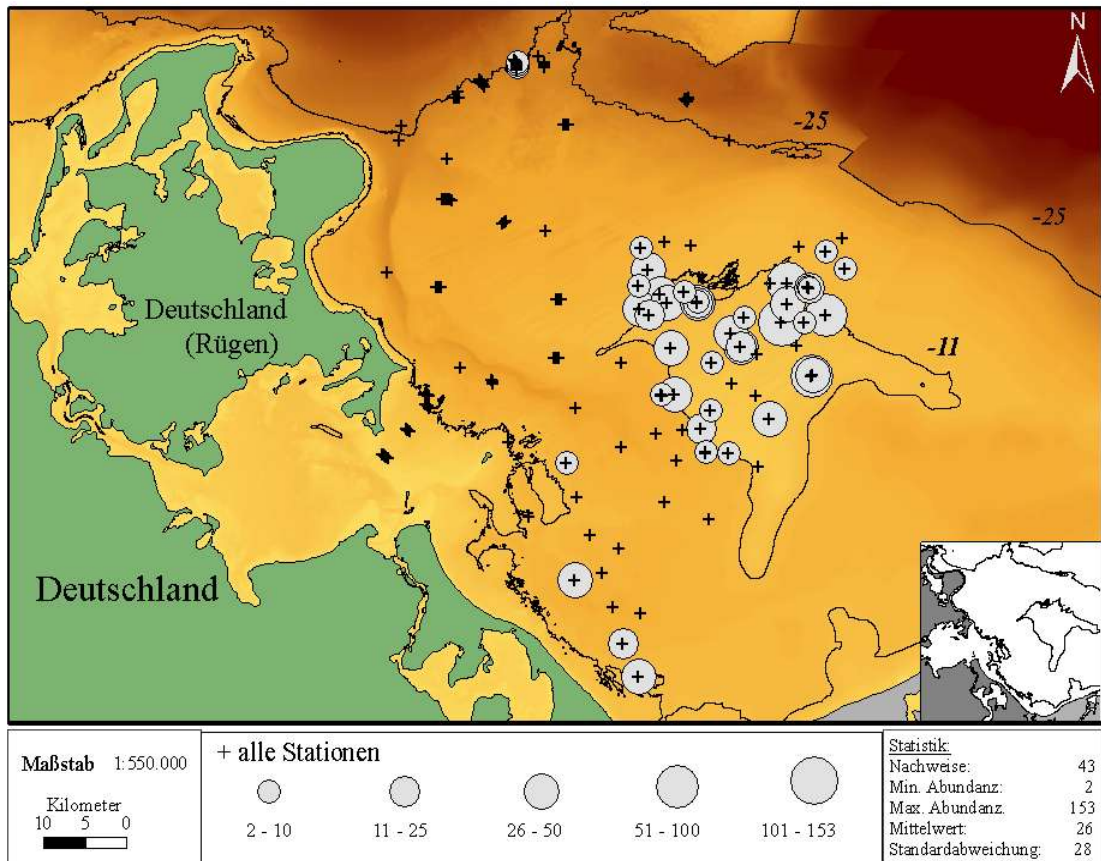


Abb. 52: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Streblospio dekhuyzeni* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

Tubificoides benedeni (Udekem, 1855)

Für *T. benedeni* wurden stark positive Korrelationen mit Tiefe, Salinität und Organikgehalt im Sediment gefunden. Im PCA – Biplot konnten keine Assoziationen gefunden werden. Die CCA – Analyse zeigt *T. benedeni* als eine Art, die in großen Tiefen auf kaum permeablen Sedimenten mit sehr hohen Organikgehalten zu finden ist. Hohe Salzgehalte stellen für diese Art ebenfalls kein Problem dar. Das Sediment sollte möglichst nicht sortiert sein, die mittlere Korngröße möglichst klein. Nach der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) zu schließen, war *T. benedeni* in Gebiet 3 die charakteristischste Art. Sie grenzte das Gebiet in der Clusteranalyse gegenüber anderen Gebieten ab. In der Abbildung 41 (S. 85) zeigte sie vor allem in den Gebieten 4 und 5 hohe Anteile an der Abundanz. Im Untersuchungsgebiet kam sie an allen Stationen vor, die auf der Nord – Süd – Achse Odermündung – 25 m – Isobathe liegen (Abbildung 53, unten)

Abundanzen von *Tubificoides benedeni* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

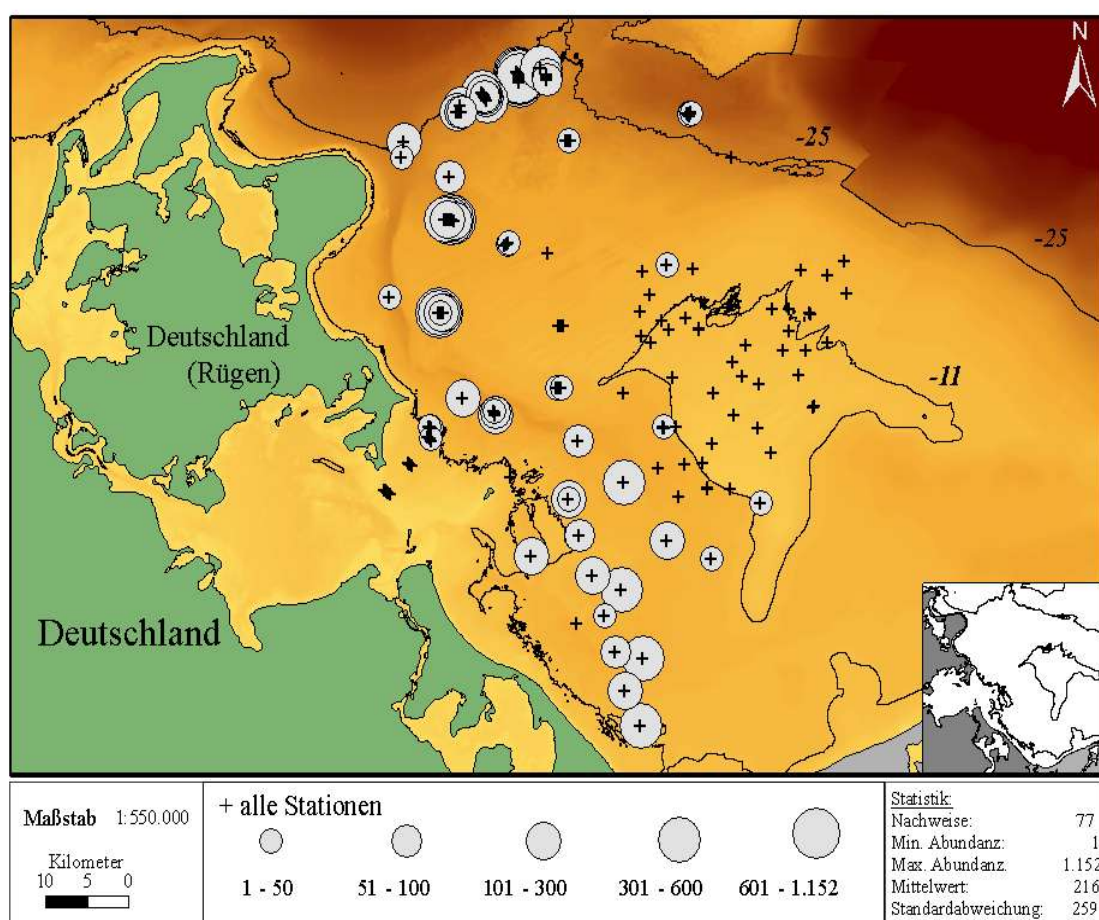


Abb. 53: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Tubificoides benedeni* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

***Tubifex costatus* (Claparede, 1863)**

T. costatus zeigte nur eine einzige hohe positive Korrelation mit dem Organikgehalt. Der CCA – Biplot zeigt, dass die Art vorzugsweise organikreiche Sedimente in größeren Tiefen besiedelt. Höhere Salzgehalte werden dabei vertragen. Ferner meidet *T. costatus* gut sortierte Sedimente. Im Bezug auf die mittlere Korngröße ist die Art scheinbar nicht wählerisch. Auch nicht permeable Substrate werden besiedelt. Der SIMPER für die Clusteranalyse in Abbildung 32 (S. 73) nach zu schließen, ist *T. costatus* ebenso wie *T. benedeni* in Gebiet 3 eine Charakterart. In der Abbildung 41 (S. 85) wurden für *T. costatus* in den Gebieten 3 und 4 höhere Anteile an der Abundanz gefunden. Im Untersuchungsgebiet zeigte die Art hohe Abundanzen Nord – Süd – Achse Odermündung – Sassnitzrinne. Hohe Abundanzen zeigte sie auch an den süd- und nord-westlichen Hängen der Oderbank sowie entlang der 25 m – Isobathen. Auf der Oderbank selbst kam sie ebenfalls vor (Abbildung 54, unten).

Abundanzen von *Tubifex costatus* im Untersuchungsgebiet 1998 - 2005

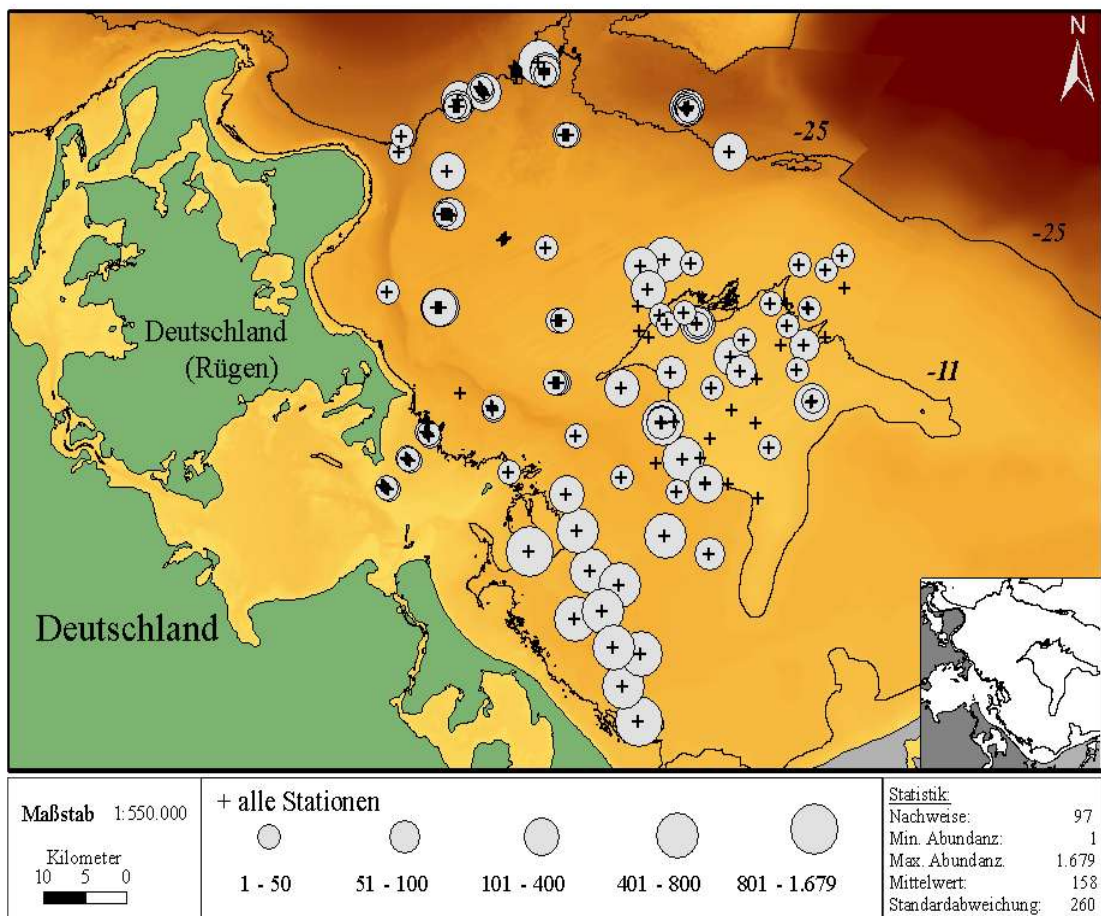


Abb. 54: Verteilung und Abundanzen (Ind./m²) von *Tubifex costatus* im Untersuchungsgebiet, Mittelwerte von 1998 - 2005

4 Diskussion

Die untersuchten abiotischen Parameter stellen nur einen Bruchteil des komplizierten Geflechts an Beziehungen, Parametern und Wirkungsgefügen dar, die das benthische Leben in der Pommernbucht beeinflussen. So konnten z.B. inter- und intraspezifische Beziehungen der 89 in der Bucht vorkommenden Arten nur gestreift werden. Bis dato sind längst nicht alle in diesem Naturraum wirkenden physikalischen und ökologischen Mechanismen erfasst oder gar bekannt. In den nächsten Abschnitten werden zuerst die abiotischen Faktoren diskutiert, die den Lebensraum Pommernbucht prägen. Im Anschluss daran wird auf die Besiedlung ausgewählter Arten eingegangen. In einer abschließenden Diskussion wird in einer Synthese auf Abhängigkeiten zwischen den Arten und ihrer Umwelt eingegangen.

4.1 Die Pommernbucht – ausgewählte Umweltfaktoren

Wie das DEM zeigt, ist die Morphologie der Pommernbucht keinesfalls so homogen, wie oft in der Literatur beschrieben (z.B. MOHRHOLZ 1998). Von einer vereinheitlichenden Betrachtung im Sinne von küstennah und küstenfern, wie es z.B. NEUMANN & BUBLITZ (1968) für die Pommernbucht vorschlagen, muss schon Angesichts der vielfältigen Bodenstrukturen abgesehen werden (siehe Abb. 58 im Anhang, Seite 137). Wie die Grafiken der abiotischen Parameter zeigten, ist das Areal auch in Bezug auf Sedimentparameter oder Organikgehalte keineswegs homogen und einfach zu klassifizieren. Viele der betrachteten abiotischen Faktoren korrelierten mitunter sehr stark miteinander. Für einige dieser Korrelationen gibt es kausale physikalische Erklärungen, für andere nicht. So hängt der Salzgehalt von der Tiefe ab, da Salzwasser im Vergleich zu Süßwasser eine höhere Dichte aufweist (RHEINHEIMER 1996). Im Untersuchungsgebiet traten daher vor allem in den nördlich und tiefer gelegenen Gebieten und entlang der Sassnitzrinne bis in die zentrale Pommernbucht im Mittel hohe Salzgehalte auf. Die positive Korrelation zwischen Sauerstoff- und Salzgehalt rührt daher, dass mit Sauerstoff angereichertes Salzwasser von der Oberfläche (z.B. der Nordsee) durch den besagten Dichteunterschied absinkt und dabei Sauerstoff mit sich führt (OTT 1996).⁴⁷ Dies könnte theoretisch zur Ausbildung stabiler Schichten führen, was sich wiederum in einem Korrelationskoeffizienten zwischen Tiefe und Sauerstoffgehalt widerspiegeln würde. Es wurde keine Korrelation gefunden weil im Untersuchungsgebiet eine stabile Schichtung

47 Normalerweise ist die Löslichkeit von Sauerstoff in Salzwasser niedriger als in Süßwasser.

bei der dort herrschenden guten Durchmischung des Wasserkörpers in geringen Wassertiefen unterbleibt (LASS ET AL. 2000). In den tieferen Wasserschichten der Bucht hängen die Sauerstoffgehalte, wie oben angegeben, hauptsächlich vom Salzwassereinstrom ab, in den flacheren Gebieten sind dagegen Vermischungs- und Austauschprozesse des Wasserkörpers mit der Atmosphäre dafür verantwortlich (MOHRHOLZ ET AL. 1999). Des weiteren ist der Sauerstoffgehalt neben den physikalischen noch von biologischen Zustandsgrößen abhängig und im Jahresverlauf stark schwankend (NAUSCH ET AL. 2004). Die Sauerstoffversorgung des Gebietes kann für den Beobachtungszeitraum von 1998 bis 2005 als gut bis sehr gut bewertet werden. Die gefundene Korrelation zwischen der Wassertiefe und dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment lässt sich dadurch erklären, dass partikuläre organische Substanzen (POC) hauptsächlich in den tieferen Gebieten der nördlichen Pommernbucht sedimentieren und aggregieren. Dieses Material stammt hauptsächlich aus organisch belasteten Flussfrachten der Oder, Bodenerosion und aus biologischen Stoffkreisläufen (z.B. Detritus). Motor dieses Transports sind wiederum Strömung, Wind und Dichteunterschiede (SIEGEL ET AL. 2005). Hauptsächlich durch die Oder gelangen Nährstofffrachten in das Oderhaff und von dort in die Pommernbucht, was sowohl im Haff als auch in der Bucht zu verstärkten Algenblüten führt. Dies wiederum führt zu einer verstärkten Agglomeration und Sedimentation organischen Materials sowohl im Haff als auch in den dafür oben genannten Gebieten der Bucht (PASTUZSAK ET AL. 2003, WULFF ET AL. 2001). Das aggregierte organische Material lagert sich aber nicht nur in der nördlichen Pommernbucht, sondern auch vom südwestlichen Bereich der Bucht bis zu den Hängen und stellenweise sogar bis über das Plateau der Oderbank (hier vor allem in Rippeltälern und Senken) in einer *Mulmschicht*⁴⁸ ab (CHRISTIANSEN ET AL. 2002). So konnte z.B. für das Gebiet südwestlich der Oderbank eine Sedimentation und Aggregation organischen Materials über der 15 m – Isobathe belegt werden, was im Jahr 1996 noch nicht der Fall war (KUBE ET AL. 1997). Die Ursache für die Aggregation des organischen Materials in den oben beschriebenen Gebieten könnte in den dort herrschenden Strömungsverhältnissen zu suchen sein. Diese These wird durch das Strömungsmodell der vorliegenden Arbeit sowie Ergebnisse anderer Autoren gestützt (z.B. BOBERTZ & HARFF 2004, MOHRHOLZ ET AL. 1999). Die *Mulmschicht* ist eine wichtige Nahrungsgrundlage für Mikroorganismen und das Makrozoobenthos gleichermaßen (NAUSCH ET AL. 1998, KUBE ET AL. 1996). An diese organische Schicht binden sich aber auch vor allem lipophile Schadstoffe, wie z.B.

48 Engl.: „*fluffy layer*“ = lockere, am Boden aufliegende Schicht organischer partikulärer Substanz, im folgenden nach LÖFFLER ET AL. (2000) *Mulmschicht* genannt.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (WITT & TROST 1999). Der Umstand, dass diese organische Schicht durch Strömungen resuspendiert, verlagert und an anderen Stellen wieder abgelagert werden kann (CHRISTIANSEN ET AL. 2002) hat große Bedeutung für die Bucht, da auf diese Weise (1) eine ständige Verteilung des Materials stattfindet und (2) das meiste des organischen Materials durch Strömungen in tiefere Bereiche verfrachtet werden kann, also nicht dauerhaft in der zentralen Pommernbucht aggregiert, wie dies in den nördlichen Bereichen der Bucht der Fall ist (POLLEHNE 2000). Der Gehalt an PAK's nimmt vom Oderhaff bis zum Arkonabecken kontinuierlich ab, da viele der Verbindungen bis dorthin weitestgehend metabolisiert werden (EMEIS ET AL. 2002). Wie die negative Korrelation zwischen dem Organikgehalt und der Permeabilität der Sedimente zeigt, sinkt die Permeabilität des Sedimentes besonders in organikreichen Gebieten der Pommernbucht. Umgekehrt steigt die Permeabilität mit der Zunahme der mittleren Korngrößen, dies konnte grafisch und durch Korrelation belegt werden. Dass die Durchlässigkeit einer Sedimentschicht um so größer wird, je grobkörniger und damit poröser ihr Substrat ist, ist dafür die Erklärung. Werden nun die Kanäle und porösen Stellen durch einen feineren Stoff, z.B. durch Detritus verstopft, so sinkt die Durchlässigkeit wieder (FORSTER ET AL. 2003). Beachtet man noch den oben angeführten Umstand, dass organikreiche Sedimente hauptsächlich in den tieferen Gebieten der Bucht lagern, so erklärt dies auch die hohe negative Korrelation der Permeabilität mit der Tiefe. Ein ähnlicher Sachverhalt erklärt die positive Korrelation zwischen dem Salzgehalt und dem Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment, denn beide hängen, wie bereits erwähnt, von der Tiefe ab. Schwieriger zu deuten sind die beiden negativen Korrelationskoeffizienten zwischen dem Organikgehalt und der Sortierung sowie dem Organikgehalt und der mittleren Korngröße. Wie das Strömungsmodell und die Ergebnisse anderer Autoren (z.B. KUHRTS ET AL. 2004) verdeutlichten, herrschen in den flachen und exponiert liegenden Gebieten der Pommernbucht (z.B. an der Oderbank) höhere Strömungsgeschwindigkeiten als in tiefer liegenden Gebieten. Deshalb ist die Sedimentdynamik flacher Gebiete höher, was sich (1) in guter Sortierung ausdrückt (BOBERTZ & HARFF 2004) und (2) die Mulmschicht in diesen Bereichen häufiger resuspendiert und verlagert, was wiederum zu geringen Gehalten an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment exponierter und flacher Gebiete führt. Die negative Korrelation zwischen der mittleren Korngröße und dem Organikgehalt des Sediments erklärt sich durch die Lage der Stationen. Die meisten der Stationen lagen entweder auf der Oderbank in einem Gebiet mit hohem Feinsandanteil oder westlich der Oderbank in

4.2 Die Abhängigkeit der benthischen Besiedlung der Pommernbucht von ausgewählten Umweltfaktoren

Geografische und/oder bathymetrische Grenzen für die Verbreitung der Arten wurden für die Pommernbucht schon seit längerem vermutet (z.B. von LÖWE 1963, KUBE 1996 u.v.a.). Die in dieser Arbeit gewonnenen statistischen Ergebnisse quantifizieren und bestätigen erstmals viele der für das Gebiet der Pommernbucht beschriebenen Vermutungen über die Abhängigkeit der benthischen Besiedlung von Umweltfaktoren. Wie in den vorangegangenen Abschnitten deutlich wurde, existieren räumliche Muster im Untersuchungsgebiet, und zwar für Umweltfaktoren und benthische Besiedlung gleichermaßen. Im folgenden soll nun eine kausale Zuordnung dieser Muster zueinander vorgenommen werden. Diese Betrachtungen müssen jedoch über die Ebene der bisherigen mathematisch-statistischen Betrachtung hinausgetragen werden, denn „Kausalität wird durch Fachwissen und nicht durch Statistik begründet (SACHS 1997)“, weil „kein statistisches Verfahren direkt eine Kausalität nachweisen kann“ (LOZÁN & KAUSCH 2004, S. 223)!“. Diese Verknüpfung und Herleitung der Zusammenhänge soll systematisch und nachvollziehbar geschehen. Daher wird auf eine Struktur zurückgegriffen, welche von zwölf dominanten Arten selbst vorgegeben wurde: die schon bekannte Einteilung der Pommernbucht in 5 Gebiete durch die geografische Projektion der 1. Hauptkomponente der Abundanzdatenmatrix (Abbildung 41, S. 85) auf das Untersuchungsgebiet. Diese ausgewählten Gebiete und ihre Besiedlung werden nun betrachtet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Veränderungen in der Struktur der Artenzusammensetzung und der Veränderung von Abundanzen der einzelnen Arten selbst. Auf diese Weise treten die Beziehungen zwischen den Arten und Umweltfaktoren hervor, denn nur durch die beobachtbare Dynamik entlang von Gradienten können Zusammenhänge erklärt werden. Ob der Gradientenverlauf ein räumlicher oder zeitlicher ist, spielt dabei keine Rolle (KRATOCHWIL & SCHWABE 2001). Schwerpunkt der folgenden Betrachtung sind wieder die zwölf am besten untersuchten Arten aus **Datensatz D**. Bei ihnen handelt es sich durchweg um sessile bis hemisessile Vertreter der benthischen Endofauna. Dieser Umstand ist insofern von Bedeutung, dass sich ihre räumliche Reaktion und Adaption auf Schwankungen von Umweltfaktoren langsamer vollzieht als bei sehr mobilen Arten. Sie sind einem Umweltfaktor daher länger ausgesetzt und können, die Kenntnisse über ihre Ökologie vorausgesetzt, wie Zeigerarten von Pflanzengesellschaften zur Habitateinschätzung und als Indikatoren für Umweltparameter genutzt werden. Für die Betrachtung

tung der Abundanzänderungen der Arten und Artengemeinschaften zwischen den Gebieten muss außer der Tabelle 16 (S. 86), welche die Artenzusammensetzung widerspiegelt, noch der Abundanzanteil für die einzelnen Arten selbst über alle Gebiete hinweg betrachtet werden (Tabelle 18, unten). Diese und die Grafik der PCA – Interpolation (Abbildung 56, unten) werden der Diskussion vorangestellt.

PCA - Analyse der Abundanzen - Darstellung der Hauptkomponentenwerte

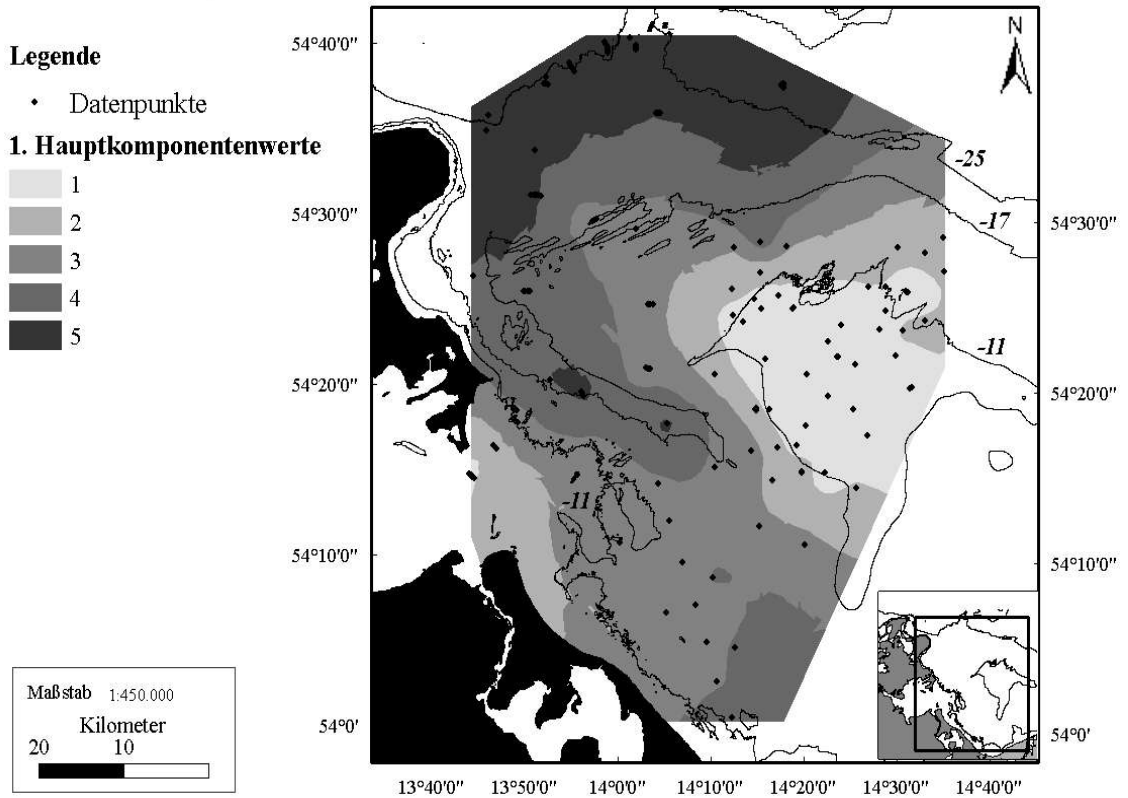


Abb. 56: PCA - Analyse der Abundanzen - Darstellung der 1. Hauptkomponentenwerte

Tab. 18: Änderung der Anteile an der Gesamtabundanz der jeweiligen Art über alle Gebiete hinweg, Anteile über 20% wurden markiert

Arten	Gebiete					Summe
	1	2	3	4	5	
<i>Bathyporeia pilosa</i>	93,54	6,30	0,11	0,03	0,02	100
<i>Cerastoderma glaucum</i>	41,06	7,81	47,92	3,18	0,03	100
<i>Corophium volutator</i>	2,23	0,24	37,61	23,56	36,35	100
<i>Hediste diversicolor</i>	27,74	16,91	24,94	10,08	20,32	100
<i>Hydrobia ulvae</i>	23,9	26,84	24,70	7,51	17,05	100
<i>Macoma balthica</i>	13,32	15,85	16,62	16,61	37,60	100
<i>Marenzelleria neglecta</i>	28,83	18,62	24,97	15,39	12,19	100
<i>Mya arenaria</i>	56,52	17,23	16,51	7,16	2,58	100
<i>Pygospio elegans</i>	5,79	8,40	12,82	14,47	58,52	100
<i>Streblospio dekhuyzeni</i>	73,01	15,67	6,61	3,99	0,72	100
<i>Tubificoides benedeni</i>	5,46	12,26	46,19	20,90	15,18	100
<i>Tubifex costatus</i>	0,00	0,01	10,35	19,27	70,36	100

Nach den Ergebnissen der statistischen Untersuchungen und den vorhergehenden Betrachtungen unterliegen die Umweltfaktoren vom Gebiet 1 zum Gebiet 5 hin stellenweise starken Änderungen. Mit der Tiefe nimmt zwischen den Gebieten der Organikgehalt und die Salinität zu, die Permeabilität und die Sortierung nehmen ab, was ebenfalls für mittlere und maximale Strömungen gilt. Die mittlere Korngröße nimmt mit der Tiefe zu. Wie beeinflussen nun diese Gradienten die einzelnen Arten?

Die Abundanzen für *B. pilosa* nahmen schon von Gebiet 1 zum Gebiet 2 hin drastisch ab. *B. pilosa* ist auf eine gute Sauerstoffversorgung und gut sortierte Feinsande angewiesen, in denen die Art nach Nahrung graben kann. Da diese Substrate vor allem auf dem Oderbankplateau und am nördlichen Ende der Boddenrandschwelle (siehe Abb. 4, S. 20) vorkommen, hat die Art hier ihr Hauptverbreitungsgebiet (LÖWE 1963, KUBE ET AL. 1997, GLOCKZIN 2004). Die Präferenz für oben genannte Substrate und die Ernährungsweise von *B. pilosa* als Weidegänger von Kieselalgen (*Cocconeis sp.*) könnten ein Anzeichen für hohe Vorkommen dieser Algen in den Sedimenten der Oderbank und der nördlichen Boddenrandschwelle sein. *Cocconeis sp.*, die für *B. pilosa* eine hochwertige Nahrungsquelle darstellt (WIEKING & KRÖNCKE 2004), vermehrt sich am besten in nicht-eutrophierten, gut durchlüfteten Sedimenten. Hohe Organikgehalte in Sedimenten können das Wachstum dieser Algenart jedoch hemmen (KLAPWIJK 1980). Für den Schalenaufbau von Kieselalgen ist das Silikat-Stickstoff Verhältnis (1:1) wichtig (SMETACZEK 1999, JIUNN-TZONG 1999). Vor allem die in den geringeren Wassertiefen der Oderbank und Boddenrandschwelle liegenden permeablen Sedimente bieten mit ihrer relativ hohen Temperatur bei guter Licht- und Sauerstoffversorgung den *Bacillariophyceae* optimale Bedingungen. Dies alles könnte die hohen Korrelationen von *B. pilosa* mit Sedimentparametern und Organikgehalten erklären, da die Verbreitung und Abundanz der Art scheinbar direkt von ihrer Nahrungsquelle beeinflusst wird.⁴⁹ Die Algen werden wiederum von Faktoren beeinflusst, die hauptsächlich von der Tiefe abhängig sind: Licht, Temperatur, Salinität und Sauerstoff. Dies könnte die für diese Art bekannte Tiefenschwankung im Jahreslauf erklären (ZETTLER & RÖHNER 2004). Theoretisch könnte *B. pilosa* im Untersuchungsgebiet überall dort vorkommen, wo sich genug *Bacillariophyceae* auf gut grabbaren und organikarmen Sedimenten finden, also auf allen gut durchlüfteten, feinkörnigen und gut belüfteten Substraten in geringen Tiefen mit entsprechenden Temperatur- und Lichtverhältnissen. Diese Bedingungen schienen in frühe-

⁴⁹ Inwiefern z.B. die mittlere Korngröße des Sedimentes eine Rolle für die optimale Nahrungsaufnahme (optimal foraging, handling) spielt, ist nicht bekannt.

ren Zeiten für größere Teile der Bucht gegolten zu haben. Im Jahr 1928 wurde *B. pilosa* für das Untersuchungsgebiet als Hauptnahrungsquelle demersaler Fischarten, wie z.B. Flundern, angegeben (HERTLING 1928). LÖWE (1963) fand noch abundante Vorkommen dieser Art nordöstlich der Oderbank fast bis zum Odermündungsgebiet. Eutrophierung und der dadurch bedingte abnehmende Sauerstoffgehalt im Sediment in weiten Teilen der Bucht scheinen die Art auf die exponierter liegenden Sandflächen der Bucht zurückgedrängt zu haben. Auch in den Uferbereichen der Bucht kommt *B. pilosa* vermehrt vor (ZETTLER & RÖHNER 2004). Für diese Abschnitte der Bucht lagen jedoch keine Beprobungsdaten vor. Ab Gebiet 2 sind die Bedingungen für *B. pilosa* suboptimal, da sie tiefer liegen und höhere Gehalte an Organik sowie eine schlechtere Sortierung aufweisen. Dies trifft auch auf die Permeabilität zu. Alle hier gemachten Aussagen wurden durch die CCA – Analyse bestätigt. Die Verteilung dieser Art im Untersuchungsgebiet wird somit auf die Kontrolle durch die **Sortierung und den Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff** des Substrates zurückgeführt.

Die Abundanzen von *Cerastoderma glaucum* nahmen ebenfalls von Gebiet 1 zu Gebiet 2 hin stark ab. Die Art erreicht im Gebiet 3 ihre höchsten Abundanzen für das Untersuchungsgebiet. Ein Verschwinden der Art, wie von KUBE ET AL. (1997) für die südwestliche Pommernbucht beschrieben, kann daher nicht bestätigt werden. Allerdings sind die Verbreitungsgrenzen enger geworden, als noch 1963 von LÖWE (1963) beschrieben. Vor allem die damals beschriebenen hohen Abundanzen im Gebiet nordwestlich der Oderbank können heute nicht mehr beobachtet werden (LÖWE 1963). Gemäß der für *C. glaucum* gefundenen Verbreitungen und Abundanzen stellt sie ein wichtiges Faunenelement der Pommernbucht dar. Besondere Bedeutung kommt *C. glaucum*, neben anderen Pionierarten, bei der Wiederbesiedlung gestörter Flächen zu. Sie besitzt die Fähigkeit, Sukzessionsflächen schnell und effektiv über die Verdriftung von Juvenilen mit Algenmatten zu besiedeln (LARISSA ET AL. 2006). Allerdings tritt nach der Besiedlungsphase oft eine hohe, fast 95%ige Juvenilensterblichkeit auf, was vor allem auf Prädatoren wie *Polychaeta* (z.B. *H. diversicolor*) oder demersale Fische zurückzuführen ist (MCARTHUR 1998). Des weiteren ist die Art relativ tolerant gegenüber geringen Sauerstoffgehalten (LÖWE 1963). Die beobachtete Verbreitung der Art im Untersuchungsgebiet und die hohe negative Abhängigkeit von der Tiefe könnten sich mit der mittleren Korngröße des Sedimentes und dem Einstrom von organischem, partikulärem Material aus der Oder erklären lassen. *C. glaucum* ist, wie alle Suspensionsfiltrierer, auf ständigen Nährstoffzufluss angewiesen. Die größten Abundanzen zeigten sich in Gebieten, in denen Algen-

blüten vermehrt vorkommen und besagter Nährstoffeinstrom sehr hoch ist (WITT ET AL. 2001, SIEGEL ET AL. 2005). Die in diesen Gebieten herrschende Strömung ist jedoch stark genug, um Agglomerationen des CPOM zu Schlickmatten zu vermeiden (siehe Abschnitt 3.1.2, S. 54, LASS ET AL. 2000). Diese und zu feine Sedimente werden von *C. glaucum* gemieden, da die Art über eine schlechte Grabungsaktivität verfügt (JAGNOW & GOSSELCK 1987). Das Sediment sollte auch deshalb nicht zu fein sein, damit es nicht von der Strömung weggetragen wird. Dies ist wichtig, da diese flach eingegrabene Muschel sonst exponiert würde, was wahrscheinlich die Vermeidung von Fraßfeinden erschwert. Dies gilt im übrigen auch für *M. balthica* und *M. arenaria* (ZWARTS & WANINK 1989). Besonders wichtig ist die Vermeidung von Prädation für Jungtiere bis 5 mm Länge, da diese vorrangig von demersalen Fischarten gefressen werden (HERTLING 1928). Ebenso würde durch zu feine Sedimente eventuell der Filtriervorgang ineffektiv (GRUNER ET AL. 1982).⁵⁰ In flachen exponierten Gebieten und in tiefen „Strömungsrinnen“ wird, durch die Strömung bedingt, die bodennahe, organikreiche Mulmschicht vermehrt aufgewirbelt und resuspendiert. Dies bedeutet u. a. einen längeren Nährstoffimpuls für die Filtrierer. Das Material wäre dadurch auch feiner (KUBE ET AL. 1996). Auch die Verbreitung von *C. glaucum* scheint von der Tiefe gesteuert, allerdings in einer größeren Bandbreite, als dies für *B. pilosa* der Fall ist.

Die Abundanzen von *Corophium volutator* nahmen vom Gebiet 1 zum Gebiet 5 hin stetig zu. Seine hohe positive Korrelation mit dem Gehalt an Organik im Sediment zeigt ihn als Besiedler nährstoffreicher Substrate. Diese euryhaline Art baut U – förmige Röhren mit ca. 5 – 7 cm Tiefe in das Sediment. Er kann sich sowohl als Substratfresser (Weidegänger) als auch als Suspensionsfiltrierer ernähren. Dementsprechend folgt seine Verbreitung im Untersuchungsgebiet wahrscheinlich dem Nährstoffangebot und der Sedimentcharakteristik. Die Art erreicht vor allem in der Uferzone der inneren Küstengewässer hohe Abundanzen (ZETTLER & RÖHNER 2004). Daher ist für *C. volutator*, wie im übrigen für alle Flachwasserarten, der Korrelationskoeffizient mit der Tiefe mit Vorsicht zu interpretieren. Er scheint für viele Arten eher ein Ausdruck für erhöhte Organikgehalte und nicht – permeable (Schlick-) Substrate zu sein. Entsprechend seiner Affinität zu hoher Organik findet die Art vor allem im Gebiet des Oder- und Peeneastromes ihr

50 Filtrierende **Bivalvia** besitzen zwar „Siebmechanismen“, diese sind jedoch mit Energieaufwand verbunden. Außerdem sind diese Mechanismen bei Juvenilen oft noch unvollständig ausgebildet (GRUNER ET AL. 1982). Bei zu groben Partikeln kann es passieren, dass diese mit dem Pseudofaeces ausgeschieden werden, bei zu kleinen Partikeln können diese evtl. nicht mehr erfasst werden. Bei Überangebot kann eine Muschel den Filtrationsvorgang ganz einstellen. Die Partikelgröße stellt für filtrierende **Bivalvia** einen bedeutenden Parameter dar (WINTER 1969).

Optimum. An der 25 m – Isobathen im Norden kommt *C. volutator* ebenfalls vor, was ein Hinweis auf hohe Organikgehalte in den Substraten vor Ort sein könnte. Im Gebiet östlich der Greifswalder Oie wurde *C. volutator* ebenfalls nachgewiesen. Damit scheint sich die Population hier wieder erholt zu haben, nachdem dort im Zuge einer Anoxie im Jahr 1993 die Population zusammengebrochen schien und auch 1999 noch keine Nachweise der Art für dieses Gebiet vorlagen (POWILLEIT & KUBE 1999). ZETTLER & RÖHNER (2004) äußerten die Vermutung, dass *C. volutator* auf organikreiches Material direkt angewiesen zu sein scheint. Dies erklären FENCHEL ET AL. (1975) damit, dass Bakterien, die für *C. volutator* eine energiereiche Nahrung darstellen, nur dann konsumiert werden können, wenn diese an feine organische Partikel gebunden vorliegen. Im Zuge ihrer Arbeit stellten FENCHEL ET AL. (1975) ferner fest, dass verschiedene Weidegänger in einem Habitat sich wahrscheinlich auf verschiedene Nahrungspartikelgrößen spezialisieren, wie dies z.B. für *C. volutator* und *H. ulvae* der Fall zu sein scheint (FENCHEL ET AL. 1975). Dies erklärt ganz im Sinne des Konkurrenzvermeidungsprinzips (BEGON ET AL. 1998) das Vorkommen mehrerer Arten von Weidegängern in einem Habitat. Ferner ist bekannt, dass bei geringeren Einleitungen organisch belasteter Gewässer vormals hohe Abundanzen von *C. volutator* stark zurückgehen können (ESSINK 2003). Auf Grund des Röhrenbaus benötigt *C. volutator* stabile Sedimente angemessener Korngröße. In der Literatur fanden sich Präferenzen der Art für Korngrößenfraktionen um 500 µm, also Mittelsand (YSEBAERT ET AL. 2005). Vergleicht man die Abbildung für die Korngröße (Abbildung 17, S. 56) mit der Abbildung der Verteilung von *C. volutator* (Abbildung 45, S. 91) wird dieser Zusammenhang offensichtlich. Das Ergebnis der CCA bestätigt die hier gemachten Aussagen. Als die Verbreitung von *C. volutator* kontrollierende abiotische Parameter werden für das Untersuchungsgebiet daher die **mittlere Korngröße** sowie der **Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff** im Sediment angesehen. Ausgehend von Gebiet 1 bis hin zum Gebiet 5 fluktuiert⁵¹ die Abundanz von *Hediste diversicolor* von Gebiet zu Gebiet. Die höchste Abundanz erreichte die Art im Gebiet 3. Diese eurytherme und euryhaline Art kommt sowohl in lotischen als auch in lenitischen Bereichen vor. *H. diversicolor* baut ca. 30 cm tiefe, nach oben verzweigte, U- oder Y-förmige Wohnröhren in das Sediment. Er hat ein breites Nahrungsspektrum, denn er ernährt sich nicht nur räuberisch - karnivor (auch Aas) sondern auch als Substratfresser (Weidegänger). Adulte Tiere können Salzgehalte < 1 psu vertragen und dringen daher

51 Fluktuation - Die ungerichtete Veränderung von Individuenzahl / Artenzusammensetzung einer Organismengemeinschaft, bedingt z. B. durch wechselnde Witterung in Vergleichsjahren (KRATOCHWIL & SCHWABE 2001).

bis in Flussmündungen vor (ZETTLER & RÖHNER 2004). Für die Ernährung demersaler Fischarten spielt die Art eine große Rolle (HERTLING 1928). Unter idealen Bedingungen kann *H. diversicolor* bis zu 3 Jahre alt werden (SCAPS 2002). Die Art zeigte, außer einer stark negativen Korrelation mit der Tiefe, keine Korrelationen mit abiotischen Umweltparametern. Da *H. diversicolor*, wie bereits erwähnt, auch küstennah abundant vorkommt, scheint es sich dabei jedoch eher um eine Beziehung zu anderen, mit der Tiefe korrelierten Parametern zu handeln. Gemäß ihrer euryöken Lebensweise kam die Art im Untersuchungsgebiet an fast allen Stationen vor. Besonders vertreten war die Art auf der Oderbank und hier vor allem im nordöstlichen Oderbankgebiet. Die Achse Odermündung – 25 m – Isobathe sowie der Peeneausstrom bis zur Sassnitzrinne wurden ebenso abundant besiedelt wie die nordwestliche 25 m – Isobathe. *H. diversicolor* konkurriert mit *C. volutator* scheinbar um die selbe Nahrungsquelle (**Diatomeae**). Die räuberische Ernährungsweise von *H. diversicolor* führt dabei auch gelegentlich zur Prädation von *C. volutator* (SCAPS 2002). Die Art besiedelt ebenfalls Gezeitenzonen in der Nordsee und verfügt über Anpassungen seines Metabolismus, um kurzzeitige Anoxien zu überleben (SCHÖTTLER ET AL. 1984) Für diesen Kosmopoliten konnte kein Parameter isoliert werden, der die Verbreitung direkt kontrolliert. Da die Art im CCA – Biplot eng mit *M. balthica* und *M. neglecta* assoziiert ist, kann von ähnlichen Kontrollmechanismen ausgegangen werden. Darauf wird an entsprechender Stelle noch eingegangen.

Hydrobia ulvae erreichte ihre höchsten Abundanzen für das Untersuchungsgebiet im Gebiet 2. Diese Schnecke kommt auf fast allen Substraten (Sand-, Kies-, Hart- und Phytosubstrate) vor. Als Weidegänger durchpflügt sie auf der Suche nach Algen (**Diatomeae**) die oberste Sedimentschicht. Die Schnecke durchlebt ein 10-tägiges, pelagisches Larvenstadium und kann sich als Hypopleuston mitunter kilometerweit verdriften lassen (ARNDT 1969, ZETTLER & RÖHNER 2004). Parasitenbefall (z.B. durch *Cryptocotylus* und *Notocotylus*) kann bei *H. ulvae* zu Massensterben führen (ZANDER ET AL. 2002). *H. ulvae* korrelierte stark negativ mit der Tiefe und dem Salzgehalt. Trotzdem konnte sie auch an der 25 m – Isobathen in hohen Abundanzen nachgewiesen werden. Es scheint sich daher bei dem Koeffizienten mehr um einen Hinweis auf die Vermeidung von reinen Schlicksedimenten zu handeln, die in größeren Tiefen anzutreffen sind. Diese Substrate scheinen für *H. ulvae* Art auf Grund ihrer Größe und kriechenden Fortbewegungsweise suboptimal zu sein. Obwohl sie mit der mittleren Korngröße keine Korrelation zeigte, gibt es Belege dafür, dass die Korngröße eine große Rolle bei der Nahrungsaufnahme spielt. Dies konnte auch schon für *C. volutator* festgestellt werden

(FENCHEL ET AL. 1975). *H. ulvae* ist in der Lage, größere Partikel aufzunehmen als *C. volutator*, wohingegen *C. volutator* die Partikelgrößen verwerten kann, die *H. ulvae* übrig lässt. LOPEZ & LEVINTON (1978) führen an, dass die Abweidung größerer Korngrößen effektiver für *H. ulvae* zu sein scheint als die Beweidung sehr feiner Substrate. Die aufgenommene Nahrung scheint nur dann verwertet werden zu können, wenn sie mit Sedimenten zusammen aufgenommen wurde (LOPEZ & LEVINTON 1978, FORBES & LOPEZ 1990). Wie weit dies mit einem notwendigen Aufschluss der Nahrung durch mechanische Zerkleinerung (z.B. durch Reibung) zu tun hat, ist noch unklar. *H. ulvae* ist in der Lage, neue Siedlungsflächen recht schnell über die Verdriftung von Juvenilen zu besiedeln (LARISSA ET AL. 2006, KUBE & POWILLEIT 1997). Die Art ist prädestiniert für organikreiche Sande. Dies belegt der hohe Korrelationskoeffizient mit dem Gehalt an Organik im Sediment bei gleichzeitig hoher negativer Korrelation mit der Permeabilität. Dementsprechend kam *H. ulvae* im Untersuchungsgebiet überall dort vor, wo diese Sedimente anzutreffen waren. Vor allem die schon für andere Arten mit ähnlichen Präferenzen genannten „Organikgebiete“ wurden besiedelt: die Achse Odermündung – 25 – m Isobathe, der Peeneausstrom bis zur Sassnitzrinne und die Abhänge der Oderbank. An letztgenannten konnten für *H. ulvae* die höchsten Abundanzen nachgewiesen werden. Aber auch auf der Oderbank selbst kommt *H. ulvae* vor. Hier ist auch ihre Schwesterart *H. ventrosa* anzutreffen, mit der sie anscheinend um Ressourcen konkurriert (CHERRIL & JAMES 1987). Eine Nischenseparierung findet zwischen diesen beiden Arten wahrscheinlich durch Salzgehalte, und Temperaturen statt. Ebenso scheinen physikalische Störgrößen für die Separierung von Bedeutung zu sein, da *H. ventrosa* eher in lenitischen, *H. ulvae* hingegen mehr in lotischen Bereichen siedelt (BICK & ZETTLER 1994). Die Separierung durch Salzgehalte und Temperatur konnte für diese beiden Arten auch in anderen Umgebungen beobachtet werden. (BERGER & GORBUSHIN 2001). So siedelt *H. ventrosa* mehr in ausgesüßteren Küstengewässern geringer Tiefe (ZETTLER & RÖHNER 2004). Die euryhaline *H. ulvae* hingegen kann auch in sehr hohen Salzgehalten überleben (DE KROHN & DE JONG 1984). Sie ist relativ tolerant gegenüber hypoxischen Bedingungen und verträgt auch höhere Schwefelwasserstoffkonzentrationen im Sediment (GAMENICK ET AL. 1996 in KUBE & POWILLEIT 1997). Die Verbreitung dieser Schnecke wird fast immer im Zusammenhang mit hohen Organikgehalten und Sedimentparametern beschrieben, stellenweise wird sie sogar als Indikatorspezies für eutrophierte Sedimente angegeben (z.B. COOSEN ET AL. 1994, BUSTOS-BAEZ & FRID 2003). Ihre Lebensweise in organikhaltigen Sedimentschichten macht *H. ulvae* allerdings auch anfällig gegenüber

chemischen Verbindungen mit hoher Persistenz. So kann *H. ulvae* z.B. bei hohen TBT – Konzentrationen Missbildungen der Reproduktionsorgane ausbilden, was wiederum eine hohe Sterblichkeit geschlechtsreifer Adulte verursachen kann (SCHULTE-OEHLMANN ET AL. 1997). Die Kontrolle der Verbreitung von *H. ulvae* geschieht im Untersuchungsgebiet mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die **mittlere Korngröße** und **Sortierung** sowie den **Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment**.

Die Abundanzen von *Macoma balthica* stagnierten über die Gebiete 1 – 4 hinweg, im Gebiet 5 hingegen stiegen sie stark an. Dieser „Sprung“ wurde von LÖWE (1963) und KUBE ET AL. (1996) ebenfalls bemerkt. *M. balthica* präferiert vor allem Sande und sandige Schlicke, die Art ist aber auch in tieferen Regionen auf reinem Schlick zu finden. Hier gräbt sich die *M. balthica* als semi – mobiler selektiver Pipettierer und fakultativer Suspensionsfiltrierer ca. 5 bis 6 cm tief horizontal im Sediment ein.⁵² Von *M. balthica* werden nahezu alle Bereiche der Ostsee in Tiefen von 0,2 bis 200 m besiedelt. Die Art ist euryhalin im Bereich von 3 – 15 psu. Vor allem in den Küstengewässern können oft „Kinderstuben“ dieser Art beobachtet werden, wobei es hier selten zu einem Abwachsen kommt (BARNES 1994, JAGNOW & GOSSELCK 1987, ZETTLER & RÖHNER 2004). Die Art gilt als relativ tolerant gegenüber Schwefelwasserstoff. Die Höhe der Toleranz hängt jedoch sehr von der „Vorprägung“ für diesen Parameter ab (KARLSON ET AL. 2005). *M. balthica* zeigte sehr hohe Korrelationen mit Tiefe, Salzgehalt und dem Organikgehalt des Sedimentes, was die oben genannte Vorliebe dieser Art für organikreiche, fast schon schlackige Substrate in größeren Tiefen zu bestätigen scheint. Diese Habitatpräferenz von *M. balthica* wird von anderen Autoren sowohl für die Ostsee als auch für andere Gebiete bestätigt (z.B. von O'BRIEN ET AL. 2003). Mit dem Sauerstoffgehalt korrelierte sie stark negativ. Ihre Hauptverbreitungsgebiete sind die Achse Odermündung – 25 m – Isobathe, die Gebiete entlang der 25 m – Isobathen, das Areal vom Peeneausstrom bis zur Sassnitzrinne und die Oderbankhangbereiche. PRENA (1995) fand hohe Korrelationen von *M. balthica* mit *H. ulvae* und *Halicryptus spinulosus*, 2 Arten die ebenfalls sehr hohe Organikgehalte präferieren. ZETTLER & RÖHNER (2004) beschreiben die Art als eine der dominantesten im Gebiet der Pommernbucht. Im Vergleich mit früheren Quellen fand sich für die Abundanzen von *M. balthica* nahezu keine Veränderung für das Untersuchungsgebiet (LÖWE 1963, KUBE ET AL. 1997). Die Verbreitung von *M. balthica* im Untersuchungsgebiet ist höchstwahrscheinlich auf die Kontrolle durch den **Gehalt an**

⁵² Bei anoxischen Bedingungen oder Nahrungsknappheit gräbt sie sich auch vertikal in das Sediment ein (KARLSON ET AL. 2005).

organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment zurückzuführen.

Marenzelleria neglecta zeigte von Gebiet 1 zu Gebiet 2 abnehmende Abundanzen, allerdings nahmen diese zum Gebiet 3 hin wieder zu und blieb in den Gebieten 4 und 5 relativ konstant. Auslöser dieser Schwankungen scheint das Nährstoffangebot zu sein. Die hohe positive Korrelation mit der Organik und die Verteilung im Untersuchungsgebiet entlang der schon erwähnten „Nährstoffstrassen“, also von der Oder- und Peene-mündung ins nördliche Untersuchungsgebiet, scheinen dies zu belegen. Die hohe positive Korrelation zwischen dieser Art und dem Gehalt an Organik im Sediment wurde auch im rein marinen Milieu beobachtet (O'BRIEN ET AL. 2003). Dieser euryhaline Weidegänger, der auch als fakultativer Suspensionsfiltrierer Nahrung aufnehmen kann, ist erst seit den 1980er Jahren in der Ostsee heimisch (Neozoon). Er baut L – förmige Röhren bis in eine Tiefe von ca. 35 cm. Daher rührt auch die mittlere negative Korrelation mit der mittleren Korngröße; *M. neglecta* benötigt stabile, grabbare, und daher nicht zu grobe Sedimente. Wie die hohe negative Korrelation mit der Permeabilität zeigt, werden dabei auch organikreiche Sande bis hin zu Schlickten besiedelt. Diese schnellwachsene Spionide kann neue Flächen sehr schnell besiedeln, wobei die Art eine nahezu explosive Populationsdynamik zeigt. Neue Substrate werden so für die Besiedlung durch andere Arten vorbereitet (ZETTLER 1997). Bedenkt man seine lange Lebensdauer und Immobilität im Adultenstadium, so ist *M. neglecta* eher den k – Strategen als den opportunistischen r – Strategen zuzuordnen. Die Art ist euryhalin und verträgt für kurze Zeit auch Sauerstoffmangel, Eutrophierung scheint ihm ebenfalls wenig auszumachen. *M. neglecta* scheint eine genuine Brackwasserart zu sein, die sich innerhalb kürzester Zeit über den gesamten Ostseeraum verbreitet hat (SCHIEDEK 1997, ZETTLER ET AL. 2002). *M. neglecta* gilt daher als eine Zeigerart für eutrophierte Gewässer (PRENA 1995, KUBE ET AL. 1997). Die für ihn typische rasche und gründliche Besiedlung von für ihn geeigneten Gebieten wurde nicht nur für die Ostsee dokumentiert und war mehrfach Gegenstand von Untersuchungen (z.B. in KUBE & POWILLEIT 1997, LEPPÄKOSKI ET AL. 1999, ZETTLER & RÖHNER 2004). Die Kontrolle der Verbreitung von *M. neglecta* durch **Nährstoffgradienten** (Organik) und **Sedimentcharakteristika** wird daher mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen.

Mya arenaria zeigte ebenfalls eine starke Abnahme der Abundanz zwischen Gebiet 1 und 2. Die hohe negative Korrelation dieses obligatorischen Suspensionsfiltrierers mit der Tiefe lässt auf einen ähnlichen Zusammenhang wie bei *C. glaucum* schließen. In Mägen von *M. arenaria* wurden Phytoplankter gefunden, die vor allem in bodennahen

Wasserschichten zu finden sind (ABRAHAM & DILLON 1986). FORSTER & ZETTLER (2004) sprechen daher auch von einer durch Photosynthese gesteuerten Nahrungskette in der Pommernbucht (FORSTER & ZETTLER 2004). *M. arenaria* nimmt jedoch auch kleine Zooplankter, Detritus und Bakterien auf. Für die Ernährung juveniler Stadien ist hier vor allem Ultraplankton ($< 5 \mu\text{m}$) wichtig (RABY ET AL. 1997). Ein hohes Nahrungsangebot scheint vor allem in der Nähe der Odermündung (Gebiet 3) und des Peenestroms (Gebiet 2) zu herrschen. Diese Gebiete entsprechen den Haupteintragsgebieten für Nährstoffe. Dies wiederum hat vermehrte Algenbildung und somit ein vergrößertes Nahrungsangebot zur Folge (PASTUZSAK ET AL. 2003, SARDANAND & NIMI 2003). Auf Grund ihrer tief eingegrabenen Lebensweise scheint auch die mittlere Korngröße einen Einfluss auf die Verbreitung von *M. arenaria* zu haben, in Gebieten mit ungeeigneten Sedimenten nimmt die Abundanz ab. (Die Rangkorrelation deutete einen schwachen negativen Koeffizienten für die mittlere Korngröße an). Dies wird durch die Tatsache gestützt, dass *M. arenaria* hauptsächlich Substrate zur Besiedlung wählt, die relativ stabil sind und die Schalenventile möglichst nicht durch kollabieren verstopfen (ABRAHAM & DILLON 1986). Dies erklärt vielleicht auch die hohen Abundanzen auf der Oderbank selbst. Am südwestlichen Oderbankabhang (Gebiet 2) scheint eine Kombination von geeigneten Sedimenten und ein hoher Nährstoffeintrag für die dort beobachteten hohen Abundanzen verantwortlich zu sein. Im Jahre 2004 konnte in Unterwasseraufnahmen für dieses Gebiet vor allem in Rippeln und Mulden eine gut ausgeprägte Schicht organischen Materials beobachtet werden (GLOCKZIN 2004). Allerdings werden vor allem organikreiche Sedimente oder Sedimente mit Driftalgenmatten kaum von Juvenilen besiedelt (ABRAHAM & DILLON 1986, OLAFSSON 1988). Salinitäts-, Sauerstoff- und Temperaturschwankungen werden von dieser euryhalinen und eurythermen Art gut vertragen, jedoch zeigt *M. arenaria* von allen **Mollusca** in der Ostsee die größten Biomasseschwankungen auf Grund von Salinitätsunterschieden (SHUMWAY 1977, ZETTLER & RÖHNER 2004). Temperatur spielt eine große Rolle bei der Besiedlung und für die Überlebensrate von Juvenilen. Diese sind nicht sehr hitzestabil. Dies scheint im betrachteten Gebiet nur eine untergeordnete Rolle zu spielen, da hier die klimatischen Bedingungen moderat sind. Die Besiedlungsrate der Juvenilen ist sehr gering, nur ca. 0,1 % aller Larven wachsen zu Adulten heran (ABRAHAM & DILLON 1986), (BROUSSEAU 1978). Dies ist weniger auf besagte Temperaturabhängigkeit als mehr auf Prädatoren zurückzuführen, da vor allem die Juvenilen von *M. arenaria* eine beliebte Nahrungsquelle demersaler Fischarten sind (HERTLING 1928). Die Verteilung von **Nährstoffen** und **Substrateigenschaften** scheint daher vorrangig

für die Verteilung von adulten *M. arenaria* im Untersuchungsgebiet verantwortlich zu sein. In der CCA zeigten *M. arenaria* und *C. glaucum* hohe Assoziationen mit *S. dekhuyzeni*.

Die Abundanzen von *Pygospio elegans* stiegen vom Gebiet 1 bis zum Gebiet 4 stetig an und nahmen zum Gebiet 5 hin noch einmal schlagartig zu. Diese Anhäufung im Gebiet 5 ist absolut untypisch für diese Art. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass es im Gebiet 5 entlang der 25 m – Isobathe von Strömungen freigehaltene Flächen geeigneter Substrate geben muss (Sandinseln). *P. elegans* ist ein typischer Flachwasserbewohner. Hier präferiert er vor allem sandige Substrate in lenitischen Bereichen. Die Art klebt Sandkörner zu ca. 3 – 7 cm lange Wohnröhren zusammen, die mitunter auch verzweigt sein können. Daher scheint die Sedimentcharakteristik einen entscheidenden Einfluss auf die Besiedlung auszuüben. Um Strömung und Wellenschlag auszuweichen siedelt *P. elegans* erst ab ca. 5 m Wassertiefe. In größeren Wassertiefen bis ca. 20 m werden auch von Strömungen frei gehaltene Sandflächen besiedelt. In den Schlickbecken der Ostsee fehlen zum einen die optimalen Sedimente für den Röhrenbau (Feinsande) und zum anderen kommt es hier häufig zu Hypoxie, worauf die Art sehr empfindlich reagiert und daher kaum dort anzutreffen ist (BARNES 1994, ZETTLER & RÖHNER 2004). Die Art wurde an fast jeder Station im Untersuchungsgebiet nachgewiesen. *P. elegans* zeigt mit der Tiefe und dem Salzgehalt starke positive Korrelationen. Mit dem Organikgehalt des Sedimentes wurde für *P. elegans* eine mittlere positive Korrelation berechnet. Es ist bekannt, dass auch Faeces von Muschelkolonien zu seiner Nahrungsgrundlage gehört (KUBE & POWILLEIT 1997). KUBE & POWILLEIT (1997) vermuten daher, dass solche Kolonien die Verbreitung dieser Art fördern könnten. Die starke Affinität zu hohen Organikgehalten im Sediment wurde von KUBE & POWILLEIT (1997) ebenfalls beobachtet. Ferner wurde für *P. elegans* eine mittlere negative Korrelation mit der Sauerstoffkonzentration gefunden. Besonders hohe Abundanzen fanden sich entlang der Achse Odermündung – 25 m – Isobathe sowie entlang der 25 m – Isobathen selbst. Auch an den Oderbankhängen kam die Art verstärkt vor. In den flacheren Bereichen der Bucht kam sie, bedingt durch die oben beschriebene Vermeidung physikalischer Störungen, in geringeren Zahlen vor. Dies erklärt auch den hohen Koeffizienten mit der Tiefe und dem Salzgehalt. Erstaunlicherweise wurde keine Korrelation mit der Sortierung gefunden, die ja ein Maß für die Störung eines Sedimentes durch Wind- oder Wellenenergie sein kann. Aufgrund des Röhrenbaus dieser Art spielen, wie oben erwähnt, auch Sedimenteigenschaften eine große Rolle für die Verbreitung von *P. elegans*. Aufgrund seiner Verteilung im Untersu-

chungsgebiet kann davon ausgegangen werden, dass hohe Organikanteile im Sediment kein Problem für diese Art darstellen. Außerdem kann daraus gefolgert werden, dass es im Bereich der 25 m – Isobathe (1) entweder Gebiete gibt, die von Strömungen frei gehalten werden oder (2) die Art auch auf schlickigen Sedimenten gut zurechtkommt, obwohl KUBE & POWILLEIT (1997) dies nicht für sehr wahrscheinlich erachten. Für *P. elegans* wird eine Kontrolle der Verteilung durch die abiotischen Parameter **Mittlere Korngröße, Sortierung und Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff** im Sediment vermutet.

Die Abundanzen von *Streblospio dekhuyzeni* nahmen vom Gebiet 1 zum Gebiet 2 stark ab. Vergleicht man die bisher für *S. dekhuyzeni* bekannte Ökologie mit den Ergebnissen der statistischen Untersuchung (Rangkorrelation, CCA) und der Verbreitung im Untersuchungsgebiet, so treten Widersprüche auf. Diese Art präferiert vor allem organikreiche Weichböden, in denen sie u.a. in Schlammröhren lebt. *S. dekhuyzeni* kann bis in Tiefen von 20 m vorkommen. Die Art ernährt sich als Suspensionsfiltrierer indem sie mit ihren bewimperten Tentakeln Schwebstoffe aus dem Wasserkörper fächert (BICK & GOSELCK 1985, ZETTLER & RÖHNER 2004). Im Untersuchungsgebiet kam *S. dekhuyzeni* jedoch vor allem auf der Oderbank und an den Oderbankhängen sowie vereinzelt im Gebiet nördlich der Odermündung vor. Die Substrate der genannten Gebiete sind jedoch keine typischen Weichsubstrate mit hohen Organikanteilen (z.B. schlickiger Sand) sondern eher organikarme Mittel- bis Feinsande. Eine Erklärung für das abundante Vorkommen der Art gerade in diesem Gebiet könnte durch die räumliche Struktur des Gebietes erklärt werden. Auf dem Oderbankplateau sowie den Abhängen ist zwar organikreiches Substrat vorhanden, allerdings in Rippeln und Mulden, hier sammelt sich eine organikreiche Schicht aus Detritus, Algen etc. Dies kann aus dem digitalen Geländemodell der Pommernbucht (vorliegende Arbeit) sowie aus Unterwasser – Videoaufnahmen des Jahres 2004 (GLOCKZIN 2004) für das Oderbankplateau gefolgert werden. Diese Schicht stellt durch den bereits beschriebenen Prozess der Resuspension und Reagglomeration sicherlich auch für *S. dekhuyzeni* eine potentielle Nahrungsquelle dar. Dies wird durch Untersuchungen gestützt, wonach für *S. dekhuyzeni* vor allem mit resuspendiertem Material durchströmte Wasserkörper einen Vorteil für die Nahrungsaufnahme und das Wachstum darstellen (HENTSCHEL & LARSON 2005). Durch die räumliche Struktur des Lebensraumes (Sandrippel und -mulden) scheinen hier Arten mit unterschiedlichen Ansprüchen auf engstem Raum nebeneinander Koexistieren zu können. Ebenso zur Klärung könnte die Erkenntnis beitragen, dass die Anwesenheit höherer

Stickstoffkonzentrationen zu einer erhöhten Fertilität und besserer Besiedlung von *S. dekhuyzeni* führen kann. (ROSSI & LARDICCI 2001, LEVIN & CREED 1986).⁵³ Für *S. dekhuyzeni* wird, nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit, eine Kontrolle der Verbreitung durch **Nährstoffeinträge** und **Sedimentcharakteristika** angenommen.

Tubificoides benedeni zeigte von Gebiet 1 zu Gebiet 3 ansteigende Abundanzen, die dann allerdings zum Gebiet 5 hin wieder abfielen. Im Gebiet 3 wurden die höchsten Abundanzen für diese Art gefunden. *T. benedeni* ist eine euryöke und euryhaline Art die organikreiche Sand- und Weichböden präferiert. Hier kann sie sich mit Hilfe ihrer beidseitig am Körper befindlichen Chitinborsten eingraben. *T. benedeni* ist ein Substratfresser. Salzgehalte zwischen 5 und 30 psu werden toleriert (ZETTLER & RÖHNER 2004, BAKER 1984). Für die Tiefe, den Salzgehalt, den Sauerstoffgehalt und den Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment wurden sehr hohe positive Korrelationen bestimmt. Eine leicht negative Korrelation mit der Permeabilität deutete sich ebenfalls an. Im PCA – Biplot lag die Art *B. pilosa* genau gegenüber. Von ihrer Ökologie her scheint diese Art tatsächlich, wie in der PCA – Analyse, das andere Ende einer Achse darzustellen. Am einen Ende dieser Achse steht *B. pilosa* für gut sortierte und organikarme Sedimente in geringen Tiefen, am anderen Ende verkörpert *T. benedeni* die undurchlässigen Schlicksubstrate in großen Tiefen. Alle anderen Arten sind im PCA – Biplot genau ihrer ökologischen Stellung zu dieser Achse hin angeordnet! Die Verbreitung der Art folgte fast genau dem alten Oderflussbett. Davon abweichende Stationen zeigten deutlich weniger bis gar keine Vorkommen dieser Art. Für *T. benedeni* sind für hohe Organikgehalte Massenvermehrungen belegt. Die Präferenz dieser Art für Schlicksedimente wird mit den in solchen Substraten oft herrschenden niedrigen Sauerstoffgehalten und dem Vorkommen von Schwefelwasserstoff erklärt, was die Art offensichtlich gut verträgt. *T. benedeni* scheint sich bei seiner Nahrungsauswahl auf bestimmte Bakterienarten spezialisiert zu haben. Inwiefern diese Bakterien an das für *T. benedeni* beschriebene Milieu gebunden sind, d.h. ob es sich dabei z.B. um Sulfurikanten o.ä. handelt, konnte nicht geklärt werden. Unter den einzelnen *Tubificidae* wird ferner eine Einnischung durch unterschiedliche Nahrungspräferenzen vermutet (VERDONSCHOT 1977). Die Korrelation mit dem Sauerstoffgehalt ist daher mehr als ein Einfluss der Tiefe zu interpretieren. *T. benedeni* wird in vielen Untersuchungen als Anzeiger für eutrophierte und stellenweise hypoxische Substrate angegeben (z.B. O

⁵³ Im Rahmen einer Datenbankrecherche (ODIN) fanden sich Hinweise auf erhöhte Stickstoffwerte in diesen Gebieten. Allerdings stammten die Daten aus der Wassersäule und wiesen zu große Messintervalle auf, daher wurden sie nicht berücksichtigt.

'BRIEN ET AL. 2003 u.v.a.). Im CCA – Biplot ist *T. benedeni*, wie auch *C. volutator*, am stärksten mit dem Gehalt an Organik im Sediment assoziiert. Beide Arten zeigen auch nahezu die gleiche Verbreitung. Allerdings ist bei *T. benedeni* der Tiefenaspekt der Verbreitung gleichmäßiger ausgeprägt. Die Verbreitung von *T. benedeni* im Untersuchungsgebiet wird mit hoher Wahrscheinlichkeit vom **Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff** im Sediment und von den **Sedimentparametern** bestimmt.

Tubifex costatus konnte erst ab Gebiet 2 nachgewiesen werden und hier auch nur in niedrigen Abundanzen. Erst ab Gebiet 3 stieg die Abundanz an und erreichte im Gebiet 5 ihr Maximum. *T. costatus* präferiert Sand- und Weichböden mit hohen Organikgehalten (Schlick). Diese euryöke, euryhaline und hypoxietolerante Art ist unter Steinen, Detritus und Strandanwurf ebenso zu finden, wie in den tieferen Bereichen der Pommernbucht bis 25 m. Im Bereich von 2 – 36 psu kann diese Art überleben (ARNDT 1964, ZETTLER & RÖHNER 2004). Für *T. costatus* wurde lediglich eine starke positive Korrelation mit dem Organikgehalt des Sedimentes gefunden. Allerdings ist *T. costatus* im CCA – Biplot nach *C. volutator* und *T. benedeni* die dritte am stärksten mit dem Gehalt an Organik im Sediment assoziierte Art. Allerdings scheint er weniger spezialisiert zu sein als die anderen beiden, denn er hat ein größeres Verbreitungsgebiet. Fast an allen Stationen wurde *T. costatus* nachgewiesen. Sogar auf dem zentralen Oderbankplateau selbst siedelte diese Art, obwohl doch hier die Organikgehalte der Sedimente geringer sind. Wahrscheinlich hängt dies mit der schon erwähnten räumlichen Struktur der Oberfläche zusammen. Hier findet *T. costatus* wahrscheinlich in den Mulden der Rippelfelder genügend Nahrung.⁵⁴ *T. costatus* nimmt seine Nahrung direkt mit dem Substrat auf, daher ist die Sedimentcharakteristik und der Organikgehalt von großer Bedeutung (GRUNER ET AL. 1982). Das Vorkommen von *T. costatus* ist wird oft im Zusammenhang mit einer erhöhten Nährstoffbelastung von Gewässern und Sedimenten beschrieben (z.B. VON WILLIAMS 2003, u.v.a.). Daher spielt für die Verbreitung dieser Art im Untersuchungsgebiet mit hoher Wahrscheinlichkeit die **Sedimentcharakteristik** und der **Nährstoffgehalt** eine große Rolle.

Bei allen zwölf betrachteten Arten wurden vor allem die Sedimentcharakteristik und der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment für ihre Verbreitung verantwortlich gemacht. Dies ist nicht verwunderlich, handelte es sich doch um typische Vertreter benthischer Endofauna mit hoher Substratbindung. Die für die kausalen Zu-

⁵⁴ Rippelstrukturen scheinen den biogeochemischen Austausch zu beschleunigen. Dabei kann eine Zonierung in oxische und anoxische Bereiche verstärkt werden (PRECHT ET AL. 2004).

sammenhänge zwischen abiotischen Parametern und der Besiedlung gemachten Vermutungen und Aussagen stimmen aber auch gut mit dem berechneten Ergebnis der BIO-ENV – Analyse überein (Abschnitt 3.2.3, S. 80). Hier wurde an erster Stelle die Tiefe, gefolgt von der mittleren Korngröße und der Organik als die bestimmenden Faktoren für die Verteilungsmuster der Arten berechnet. Die nMDS – Analysen (Abbildung 35, S. 77 und Abbildung 36, S. 78) bestätigten ebenfalls eine Tiefenabhängigkeit der Artenverteilung, sowohl für die Abundanzen der einzelnen Arten als auch für die nach Taxa zusammengefassten Abundanzen. Die kausale Interpretation für die Rangkorrelationskoeffizienten der abiotischen Parameter in Abbildung 55 (S. 104) zeigt es ebenfalls deutlich: Gradienten der abiotischen Parameter im Untersuchungsgebiet werden direkt oder indirekt von der Tiefe beeinflusst. Ein gutes Beispiel für die indirekte Beeinflussung stellt die mittlere Korngröße dar. Sie ist zwar, auf Grund ihrer Genese, unabhängig von der Tiefe. Trotzdem werden Sedimentcharakteristiken wie Sortierung und Permeabilität durch Strömungen, Wind- bzw. Wellenenergie und/oder Organikeinträge vielerorts überprägt, was wiederum von der Wassertiefe abhängt. Die Übereinstimmung der geografischen Verteilung der Arten/Taxa im Untersuchungsgebiet mit der Morphologie des Meeresbodens ist nicht zufällig sondern zeugt hier von einer echten Habitatbindung.⁵⁵ Die Projektionen der Cluster- und PCA – Analyseergebnisse in das Untersuchungsgebiet veranschaulichten dies sehr gut. Die Verteilungsgrenzen der Arten folgten hier fast analog den Tiefenlinien (z.B. Boddenrandschwelle, Oderbank, Sassnitzrinne, nördliche 25 m – Isobathe usw.). Diese enge Kopplung zwischen der Tiefe, dem Sedimentcharakter und dem Nahrungsangebot mit der Besiedlung ist jedoch keine neue Erkenntnis, sondern wird schon seit längerer Zeit vermutet: „Die Bodentiere sind in ihrer Lebensweise nicht nur von der Tiefe, sondern, und zwar in besonderem Maße, auch von den verschiedenen Bodenarten abhängig“ (LÖWE 1963, S. 286), „the change of the water depth is combined with vertical changes of several abiotic variables like salinity, temperature, oxygen saturation and exposure. The concentration of organic matter in the water column attenuates with depth too.“ (KUBE ET AL. 1996, S. 223), „...temperature, salinity, dissolved oxygen and sediment carbon were seen to operate along a cline of increasing depth“ und „...zoobenthic communities are not delineated by surface boundaries, but by the depth and factors related to it“ (O'BRIEN ET AL. 2003, S. 159), „the first axis reveals a gradient in trophic structure and species composition...this axis is significantly correlated with depth and proportion of *chl a* per unit organic carbon“ (WIEKING & KRÖNCKE

⁵⁵ Man könnte es auch eine Geo- oder Morphozönose nennen, da der Artenverteilung im Raum geografisch/morphologische Ursachen zu Grunde liegen (Ansicht des Autors).

2004, S. 394). Neu ist allerdings, dass diese Abhängigkeiten zum ersten mal für das Untersuchungsgebiet in diesem Umfang mit den hier gezeigten Methoden untersucht wurden. Dies lag vor allem daran, dass bis dato kein so detaillierter Datensatz für die biotischen und abiotischen Parameter der Pommernbucht zur Verfügung stand. Dass die Verteilung der Arten im Untersuchungsgebiet nicht homogen nur von der Tiefe bestimmt wird, wurde an früherer Stelle erwähnt. Vielmehr kann in Nord – Süd – Richtung von einem überwiegenden Einfluss der Tiefe und dem Organikgehalt gesprochen werden, in West – Ost – Richtung scheint dieser Einfluss durch andere abiotische Parameter überprägt. Diese Überprägung geschieht dabei hauptsächlich durch Strömung, Morphologie, Sedimentcharakteristik und Nährstoffeinträge. Im folgenden sollen die Gebiete 1 bis 5 nach ihren Bodentiergemeinschaften charakterisiert werden. Der Begriff der „Gemeinschaft“ soll hier aber nicht als ökologische Gemeinschaft im Sinne des Zönosebegriffs nach ARNDT (1969) verstanden werden (ARNDT 1969, S. 184). Vielmehr soll er als eine einfache Beschreibung der Fauna, eine Kurzbezeichnung der Besiedlung, aufgefasst werden. Dies ist insofern sinnvoll, da die geografischen Grenzen der Gemeinschaften nicht fest sind, sondern vielmehr, wie ein Pendel, um einen Ursprung schwingen (O'BRIEN ET AL. 2003). Oft können daher Zönosen nicht einwandfrei zugeordnet werden, weil sie nicht „typisch“ oder „verarmt“ sind, z.B. wenn Charakterarten nicht vollständig nachgewiesen wurden.⁵⁶ Die Dynamik natürlicher Systeme wird dabei ebenfalls nur ungenügend berücksichtigt. Das große Problem bei diesen Zuordnungen ist auch, dass die Benennung stark vom Verlauf der Gebietsgrenzen abhängt. Diese Grenzen werden oft nach „Augenmaß“ und nicht auf der Basis statistischer Untersuchungen gezogen. Um den Gebieten 1 – 5 eine Charakteristik im Bezug auf ihre Besiedlung zu verleihen, wurde in Anlehnung an SPÄRK (1935)⁵⁷ folgendermaßen vorgegangen: zuerst wird die Art genannt, die nach Tabelle 16 (S. 86) den höchsten Prozentanteil nach Abundanz von allen Arten in diesem Gebiet hat.⁵⁸ Im Anschluss daran wurden die Arten genannt, welche nach Tabelle 18 (S. 106) im Vergleich zu den anderen Gebieten hier am häufigsten waren. Dieses System hat den Vorteil, dass auch bei geringen Probenumfängen Gebiete immer einwandfrei zugeordnet werden können, da es sich um nicht red-

56 Bedingt durch den niedrigen Salzgehalt in der Pommernbucht handelt es sich allgemein um eine verarmte Biozönose, daher sind nur euryhaline Arten in der Lage hier zu überleben. Solche Artengemeinschaften mit „Artenminimum“ sind typisch für Ästuarsysteme, Lagunen und Haffe in Brackwassergebieten (COGNETTI & MALTAGLIATI 2000).

57 (SPÄRK 1935 in LÖWE 1963), SPÄRK nimmt die Zuweisung allerdings nach Biomasse vor. Das Grundprinzip, das Gebiet nach der Art mit dem größten Anteil zu benennen, bleibt das gleiche.

58 Hiervon wurde bei *H. ulvae* eine Ausnahme gemacht. Nur im Gebiet 2, wo sie die höchste Abundanz aufwies, wurde sie als die typischste Art gewählt, da sie in den anderen Gebieten relativ homogen vorkam und so jedes Gebiet ein *Hydrobia* – Gebiet wäre.

undante, bodenständige Arten handelt, welche die Gebiete ganz klar voneinander unterscheiden. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass allein die Abundanzstruktur der zwölf dominantesten Arten zur Einteilung der 5 Gebiete genutzt wurde! Nach der oben beschriebenen Methode wurden die Gebiete wie folgt benannt:

1. Gebiet: *Mya* – *Bathyporeia* – *Streblospio/Marenzelleria* – Gemeinschaft
 - vorwiegend gut bis sehr gut sortierte, permeable, stellenweise strukturierte (Rippeln, Mulden) Fein- und Mittelsande mit geringen Organikgehalten in geringen Tiefen. Im Untersuchungsgebiet: Oderbank und nördliche Boddenrandschwelle.
2. Gebiet: *Hydrobia* – *Marenzelleria* - *Mya/Hediste* – Gemeinschaft
 - vorwiegend gut bis zufriedenstellend sortierte, gut strukturierte Fein- und Mittelsande mit erhöhtem Organikanteil in mittleren Tiefen, deutlich erkennbare Mulmschicht in Bodenvertiefungen. Im Untersuchungsgebiet: untere Hangbereiche der Oderbank, vom Peeneausstrom bis ca. 10 km in die Bucht (entlang der Linie Dammriff - Oier Riff - Zinnowitzbank, in etwa bis zur 10 m – Isobathe).
3. Gebiet: *Cerastoderma* – *Tubificoides* – *Corophium/Hediste* – Gemeinschaft
 - von gut bis schlecht sortierte, überwiegend durch Makrostrukturen geprägte, tieferliegende Fein- und Mittelsande mit hohem bis sehr hohem Organikanteil und erkennbarer Mulmschicht. Im Untersuchungsgebiet: ca. 10 km nordwestlich der Odermündung bis zur 17 m – Isobathen (Sassnitzrinne), von dort nordöstlich zwischen der 15 m – und 17 m – Isobathen bis zur nordwestlichen Oderbank verlaufend, nordwestlich der Sassnitzrinne zwischen der 10 m – und 15 m – Isobathen bis zum Dammriff verlaufend.
4. Gebiet: *Macoma* – *Corophium* – *Tubificoides/Marenzelleria* - Gemeinschaft
 - gut bis ungenügend sortierte Fein- und Mittelsande in Tiefen ab ca. 17 m mit hohem bis sehr hohem Organikanteil und sehr geringer Permeabilität, gelegentlich Schlicksubstrate. Im Untersuchungsgebiet: Verlauf in etwa entlang der Sassnitzrinne, zwischen der 17 m – und 20 m – Isobathen, nordöstlich der Oderbank auch bis zur 25 m – Isobathen.
5. Gebiet: *Tubifex* – *Macoma* – *Pygospio/Corophium* – Gemeinschaft⁵⁹
 - schlecht bis ungenügend sortierte Substrate mit sehr hohem Organikanteil bis hin zu reinem Schlick und niedrigsten Permeabilitäten in großen Tiefen, ab ca. 23 m Wassertiefe. Im Untersuchungsgebiet: In der nördlichen Bucht in etwa ab dem Ende

⁵⁹ Wie bereits beschrieben weist *P. elegans* in Gebiet 5 zwar höchste Abundanzen auf, die Art ist für dieses Gebiet jedoch nicht charakteristisch. Daher wurde hier die das Gebiet 5 besser beschreibende Art *T. costatus* gewählt.

der Makrorippfelder nordwestlich der Pommernbucht⁶⁰ bei ca. 20 m Tiefe bis zum nördlichen Ende des Untersuchungsgebietes.

Die Tabelle 23 (S. 141, Anhang) stellt die Unterschiede in der Besiedlung für die einzelnen Gebiete und Arten übersichtlich dar. Wie aus dieser Klassifizierung und auch aus der Tabelle 17 (S. 86) hervorgeht, verschieben sich nicht nur die Anteile der Arten, sondern auch die Anteile der einzelnen Taxa zwischen den Gebieten. Somit veränderte sich die Faunencharakteristik im Untersuchungsgebiet von vorwiegend durch *Bivalvia* und *Crustacea* geprägten Gebieten (1 und 2) hin zu vorwiegend durch *Poly-* und *Oligochaeta* geprägten Gebieten (4 und 5).⁶¹ Dies liegt, wie in der vorhergehenden Diskussion klar wurde, in der Autökologie der einzelnen Arten begründet und hängt hauptsächlich mit der von Gebiet zu Gebiet unterschiedlichen Substratcharakteristik und Nährstoffversorgung zusammen. Für die Strukturierung der Besiedlung im Untersuchungsgebiet scheint, wie ebenfalls von KUBE ET AL. 1997 und WIEKING & KRÖNCKE (2004) vermutet, auch die Nährstoffqualität eine Rolle zu spielen. Zum Abschluss sollen noch die durch die BIO-ENV – Analyse isolierten Parameter Tiefe, mittlere Korngröße und Organik mit den Rangkorrelationen dieser Faktoren für die 23 Arten aus Datensatz B verglichen werden. Durch die Clusteranalyse für die Arten in Datensatz B in Abbildung 37 (S. 79) konnten 2 Klassen valide isoliert werden. Die Arten dieser zwei Klassen wurden in Tabelle 19 (S. 124) dargestellt und alle Rangkorrelationskoeffizienten (auch nicht signifikante!) für die Parameter Tiefe, Organikgehalt im Sediment und mittlere Korngröße angegeben. Die Arten wurden nach dem Koeffizienten für die Tiefe geordnet. Die Tabelle enthält ferner die bis dato bekannten Daten zur Ernährung, Lebensweise und Lebensraumauswahl der Tiere. Die Koeffizienten für die Tiefe trennten dabei die Arten fast genau so gut wie die Clusteranalyse. Es handelt sich bei den grau unterlegten Arten auch fast durchweg um Spezies, die in größeren Tiefen vorkommen. Alle filtrierenden *Bivalvia* und „Nahrungsspezialisten“ (z.B. Sandlecker) befinden sich im oberen Drittel der Tabelle. Generell entspricht die Anordnung in der Tabelle in etwa den durchschnittlichen Tiefen, in denen die Arten mit höchsten Abundanzen nachgewiesen wurden.

60 Diese Makrorippel weisen Abstände zwischen den Dünengipfeln von 1 – 2 km auf.

61 In der Literatur zu findende Aussagen über eventuelle Eutrophierungserscheinungen und dadurch bedingte Taxa - Verschiebungen (z.B. PRENA 1995, KUBE ET AL. 1997) scheinen sich oft auf eine zu schmale Datenbasis und einen zu engen Beobachtungszeitraum zu gründen. Erst ein sorgfältiges Monitoring über Dekaden hinweg könnte diese Fragen endgültig klären. Betrachtet man die von Autoren früherer Jahre beschriebenen Verbreitungsgrenzen der Arten, konnten bis auf wenige Ausnahmen kaum Verschiebungen festgestellt werden. Es scheint eher so, als hätte man die natürliche Dynamik innerhalb dieses „artenarmen“ Lebensraumes bis dato unterschätzt.

Tab. 19: Anordnung der Arten und Darstellung aller Rangkorrelationskoeffizienten für Tiefe, Organikgehalt im Sediment (Org) und mittlerer Korngröße (MKG); auch nicht Signifikante wurden dargestellt

Art	r - Tiefe	r -Org	r -mKG	Phagotyp	Substrat	Grabtiefe
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-0,648	-0,211	0,1	Filterierer	Feind - Mittelsande	2 - 3 cm tief eingegraben
<i>Mya arenaria</i>	-0,644	-0,016	-0,14	Filterierer, Phytoplankton, Bakterien Detritus	Feind - Mittelsande	bis 50 cm tief eingegraben
<i>Bathyporeia pilosa</i>	-0,64	-0,753	0,169	Sandlecker, Bodendiatomeen	gut sortierte Feinsande	Endopsammal
<i>Streblospio dekhuyzeni</i>	-0,485	-0,2	-0,166	Tentakel - Filterierer	Feind - Mittelsande	Schlammröhren
<i>Marenzelleria neglecta</i>	-0,397	0,547	-0,28	Substratfresser/ Palpen - Filterierer	Sande - schlickige Sande	35 cm tiefe Röhren
<i>Cyathura carinata</i>	-0,328	0,272	-0,292	Schlammwühler	schlickige Sande - Schlicke	vertikale Gänge
<i>Hydrobia ulvae</i>	-0,32	0,403	-0,171	Weidegänger	Sande - schlickige Sande	Endobenthisch
<i>Hediste diversicolor</i>	-0,256	0,222	-0,031	Substratfresser - Räuberisch/Aas	Sande - schlickige Sande	30 cm tiefe Röhren
<i>Tubifex costatus</i>	-0,083	0,388	-0,076	Substratfresser	Sande - Schlicke	Steine, Detritus, Strandanwurf, Sande - Schlicke
<i>Neanthes succinea</i>	-0,02	0,483	-0,197	Räuber	Sande - schlickige Sande	Röhren ähnlich Hediste
<i>Corophium volutator</i>	0,104	0,466	-0,173	Substratfresser/ Filterierer	schlickige Sande - Schlick	2 - 5cm tiefe Röhren
<i>Balanus improvisus</i>	0,148	0,58	-0,089	Cirren - Filterierer	Hartsubstrate, Mytilus	Epibenthisch
<i>Jaera albifrons</i>	0,155	0,143	0,042	Räuberisch karnivor	Lückensysteme, Mytilus	Endobenthisch
<i>Macoma balthica</i>	0,187	0,434	-0,207	Selektiver Pipettierer/Filterierer	Sande - Schlicke	5 - 6 cm tief eingegraben
<i>Pygospio elegans</i>	0,25	0,286	-0,114	Strudler, Bodendiatomeen	Mittel - Feinsande	benthische Röhren aus Sandkörnern
<i>Pontoporeia femorata</i>	0,282	0,2	-0,221	Substratfresser	Schlicke	endobenthisch
<i>Fabricia stellaris</i>	0,365	0,276	-0,007	Tentakelfilterierer	Schlicke	Detritus - Röhren
<i>Ampharete baltica**</i>	0,409	-	-	Suspensionsfresser	schlickige Sande - Schlicke	Röhren
<i>Tubificoides benedeni</i>	0,414	0,494	-0,221	Substratfresser	schlickige Sande - Schlicke	grabend im Schlick
<i>Bylgides sarsi</i>	0,457	0,416	-0,321	Räuberisch karnivor	Sande - Schlicke	Epibenthisch
<i>Scoloplos armiger</i>	0,483	0,236	-0,256	Schlammwühler	schlickige Sande - Schlicke	5 - 15 cm, Endopsammal
<i>Halicryptus spinulosus</i>	0,547	0,19	-0,196	Detritusfresser, Räuber	Sande - Schlicke	Endobenthisch - eingegraben
<i>Diastylis rathkei</i>	0,63	0,264	-0,221	Schlammwühler	schlickige Sande - Schlicke	Gänge

* die farblich unterschiedlich unterlegen Arten entsprechen den 2 Klassen der Cluster – Analyse in Abbildung 37 (S. 79); ** für *Ampharete baltica* konnte kein Rangkorrelationskoeffizient für Organik und mittlere Korngröße bestimmt werden

5 Zusammenfassung

1. Alle bisher für das Untersuchungsgebiet vorliegenden relevanten Daten zur Besiedlung und zu den abiotischen Umweltfaktoren konnten zusammengefasst, systematisiert und in ein Geoinformationssystem implementiert werden. Darüber hinaus wurde die bestehende Datengrundlage durch ein Strömungsmodell und verschiedene abiotische und biotische Datensätze erweitert.
2. Für den Meeresboden des Untersuchungsgebietes wurde erstmals für das Untersuchungsgebiet ein digitales Geländemodell (DEM) in sehr hoher Auflösung erstellt.
3. Für einige der abiotischen Parameter wurden Verteilungsraster interpoliert und diese Verteilungen nach Flächenanteilen quantifiziert. Die implementierten Daten und Modelle bildeten die Grundlage für Analysen und Darstellungen in der vorliegenden Arbeit. Sie stehen fortan zur Recherche und Analyse in der biologischen Sektion des IOW zur Verfügung und können jederzeit erweitert werden.
4. Für die hydrologischen, sedimentologischen und morphologischen Umweltparameter im Untersuchungsgebiet wurden kausale Zusammenhänge und Wirkungsbeziehungen herausgearbeitet.
5. Vierundvierzig von neunundachtzig makrozoobenthischen Arten des Untersuchungsgebietes wurden mit statistischen Methoden auf vorhandene Korrelationen mit abiotischen Parametern untersucht.
6. Für dreiundzwanzig von neunundachtzig Arten wurden mit einfachen multivariaten statistischen Methoden, sowohl auf Einzelarten- als auch auf Taxaebene, Gebiete ähnlicher Besiedlung in der Pommernbucht isoliert. Für diese Gebiete konnten diskriminierende und charakteristische Arten benannt werden. Die Aufteilung der Gebiete durch die Analyse der Taxa war dabei effizienter als die Aufteilung nach reinen Abundanzen. Es konnte dadurch auch gezeigt werden, dass die unterschiedlichen Taxa sich nicht gleichmäßig auf die Gebiete aufteilen, sondern in einigen Gebieten verstärkt vorkommen.
7. Die Variabilität der verschiedenen benthischen Arten hinsichtlich ihrer Lebensraumauswahl bedingt ihre geografische Verteilung im Untersuchungsgebiet. Das Muster dieser Verteilung konnte durch unbedingte multivariate statistische Verfahren aus der Stations – Abundanzdatenmatrix für zwölf Arten extrahiert und in einem GIS – System visualisiert werden. Für das Untersuchungsgebiet wurden 5 Zonen unterschiedlicher Besiedlung gefunden und charakterisiert. Dieses Ergebnis bestätigte die vorher

mit 23 Arten und einfachen multivariaten Methoden bestimmte Gebietseinteilung und wurde als Grundlage für die Diskussion genutzt.

8. Für die unter (7.) genannten zwölf Arten wurden mit bedingten statistischen Methoden die Auswirkungen von abiotischen Gradienten auf die Besiedlung des Untersuchungsgebietes quantifiziert und diskutiert. Die Variabilität der benthischen Arten hinsichtlich ihrer Lebensraumauswahl fand dabei besondere Beachtung.
9. Als Haupteinflussfaktoren für die Besiedlung von zwölf Arten wurden der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff im Sediment und die Sedimentcharakteristik bestimmt. Diese beiden Parameter unterliegen fast im gesamten Untersuchungsgebiet einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Tiefenzonierung.
10. Daher kann im Umkehrschluss gefolgert werden, dass eine durch die Tiefe morphologisch und physikalisch bedingte Zonierung von Umweltfaktoren im Untersuchungsgebiet wahrscheinlich in höchstem Maße eine Zonierung der benthischen Besiedlung verursacht!

6 Quellenverzeichnis

- ABRAHAM, B. J., DILLON, P. L.(1986): Species Profiles: Life Histories and Environmental Requirements of Coastal Fishes and Invertebrates (Mid-Atlantic)-Softshell Clam. U.S. Fish & Wildlife Service, in: Biological Report 82 (11.68). U.S. Army Corps of engineers, TR EL-82-4: 10 – 28
- ARNDT, E. A.(1964): Tiere der Ostsee. A. Ziemsen Verlag, Wittenberg Lutherstadt, 199 S.
- ARNDT, E. A.(1969): Zwischen Düne und Meeresstrand - Tiere und Pflanzen des Ostseeraumes, 1. Auflage. Urania - Verlag, Leipzig, Jena, Berlin, 380 S.
- ARROYO, N. L., AARNIO, K., BONSDORFF, E.(2006): Drifting algae as a means of re-colonizing defaunated sediments in the Baltic Sea: A short-term microcosm study. *Hydrobiologia* 554: 83 - 95
- BAKER, H. J.(1984): Diversity and zoogeography of marine Tubificidae (Annelida, Oligochaeta) with notes on variation in widespread species. *Hydrobiologia* 115: 191 - 196
- BARNES, R. S. K.(1994): The Brackish-Water Fauna of Northwestern Europe. Cambridge University Press, Cambridge, 287 S.
- BEGON, M. E., HARPER, J. L., TOWNSEND, C. R.(1998): Ökologie. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin, 750 S.
- BERGER, V. Y., GORBUSHIN, A. M.(2001): Tolerance and resistance in Gastropod Mollusks *Hydrobia ulvae* and *H. ventrosa* from the White Sea to abiotic environmental factors. *Russian Journal of Marine Biology* 27 (5): 314 - 319
- BICK, A., ZETTLER, M. L.(1994): The Distribution of *Hydrobiids* and the effects of sediment characteristics on the population dynamics of *Hydrobia ventrosa* in a coastal region of the Southern Baltic. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 79: 325 - 336
- BICK, A., GOSSELCK, F.(1985): Arbeitsschlüssel zur Bestimmung der Polychaeten der Ostsee. *Mitteilungen des Zoologischen Museums Berlin* 65: 171 - 272
- BOBERTZ, B., HARFF, J.(2004): Sediment facies and hydrodynamic setting: a study in the south western Baltic Sea. *Ocean Dynamics* 54: 39 - 48
- BRONSTEIN, I. N., SEMENDJAJEW, K. A., MUSIOL, G., MÜHLIG, H.(1999): Taschenbuch der Mathematik - 4. überarbeitete und erweiterte Auflage. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main, 1152 S.
- BROUSSEAU, D. J.(1978): Population dynamics of the soft-shell clam *Mya arenaria*. *Marine Biology* 50: 63 - 77
- BRÜGGEMANN, M., HORSTMANN, O., LEHFELDT, R., MILBRADT, P., MOLKENTHIN, F., SCHLEIDER, O., SELLERHOFF, F.(1997): Morphodynamic modeling of wind influenced flats - Internet based collaborative project handling. *Coastal Engineering*, Meilenstein 97
- BUSTOS-BAEZ, S., FRID, C.(2003): Using indicator species to assess the state of macrobenthic communities. *Hydrobiologia* 496: 299 - 309

- CHERRIL, A. J., JAMES, R.(1987): Evidence for competition between mudsnails (*Hydrodiidae*): a field experiment. *Hydrobiologia* 150: 25 - 31
- CHRISTIANSEN, C., EDELVANG, K., EMEIS, K., GRAF, G., JÄHMLICH, S., KOZUCH, J., LAIMA, M., LEIPE, T., LÖFFLER, A., LUND-HANSEN, L. C., MILTNER, A., PAZDRO, K., PEMPKOWIAK, J., SHIMMIELD, G., SHIMMIELD, T., SMITH, J., VOSS, M., WITT, G.(2002): Material transport from the nearshore to the basinal environment in the southern Baltic Sea - I. Processes and mass estimates. *Journal of Marine Systems* 35 (2002): 133 - 150
- CLARKE, K. R., GORLEY, R. N.(2001): Primer-E-v5: User Manual/Tutorial. Primer-E Ltd, Plymouth, 91 S.
- CLARKE, K. R., WARWICK, R. M.(1998): Quantifying structural redundancy in ecological communities. *Oecologia* 113: 278 - 289
- CLARKE, K. R., WARWICK, R. M.(1997): Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation. Plymouth Marine Laboratory (UK), Reprinted by Bourne Press Limited, Bournemouth, 144 S.
- COGNETTI, G., MALTAGLIATI, F.(2000): Biodiversity and adaptive mechanisms in brackish water fauna. *Marine Pollution Bulletin* 40: 7 - 14
- COOSEN, J., SEYS, J., MEIRE, P. M., CRAEYMEERSCH, J. A. M.(1994): Effects of sedimentological and hydrodynamical changes in the intertidal areas of the Oosterschelde estuary (SW Netherlands) on distribution, density and biomass of five common macrobenthic species. *Hydrobiologia* 282/283: 235 - 249
- DE KROHN, H., DE JONG, H.(1984): The Colonization of two new brackish water habitats on the isle of Texel (the Netherlands). *Marine Biology* 18 (1): 72 - 72
- DEMEL, K., MULICKI, Z.(1954): Quantitative Investigations on the bottom fauna in the southern Baltic. *Prace Morskiego Instytutu Rybackiego w Gdyni* 6: 57 - 82
- DIPPNER, J. W., HÄNNINEN, J., KUOSA, H., VUORINEN, I.(2001): The influence of climate variability on zooplankton abundance in the Northern Baltic Archipelago Sea (SW Finland). *Journal of Marine Science* 58: 569 - 578
- EMEIS, K.,CHRISTIANSEN, C., EDELVANG, K., JÄHMLICH, S., KOZUCH, J., LAIMA, M., LEIPE, T., LÖFFLER, A., LUND-HANSEN, L. C., MILTNER, A., PAZDRO, K., PEMPKOWIAK, J., POLLEHNE, F., SHIMMIELD, J., VOSS, M., WITT, G.(2002): Material transport from the nearshore to the basinal environment in the southern Baltic Sea - II. Synthesis of data on origin and properties of material. *Journal of Marine Systems* 35 (2002): 151 - 168
- ESSINK, K.(2003): Response of an estuarine ecosystem to reduced organic waste discharge. *Aquatic Ecology* 37: 65 - 75
- FENCHEL, T., KOFOED, L. H., LAPPALAINEN, I., LAPPALAINEN, A.(1975): Particle size-selection of two deposit feeders: the Amphipod *Corophium volutator* and the Prosobranch *Hydrobia ulvae*. *Marine Biology* 30: 119 - 128
- FIELD, J. G., CLARKE, K. R., WARWICK, R. M.(1982): A practical strategy for analysing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series* 8: 37 - 52

- FORBES, V. E., LOPEZ, G.R.(1990): The role of sediment type in growth and fecundity of mud snails (*Hydrobiidae*). *Oecologia* 83: 53 - 61
- FORSTER, S., BOBERTZ, B., BOHLIN, B.(2003): Permeability of Sands in the coastal Areas of the Southern Baltic Sea: Mapping a Grain-Size Related Sediment Property. *Aquatic Geochemistry* 9: 171 - 190
- FORSTER, S., ZETTLER, M. L.(2004): The capacity of the filter-feeding bivalve *Mya arenaria* L. to affect water transport in sandy beds. *Marine Biology* 144: 1183 - 1189
- GAMENICK, I., JAHN, A., VOPEL, K., GIERE, O.(1996): Hypoxia and sulfide as structuring factors in a macrozoobenthic community on the Baltic Sea shore: colonisation studies and tolerance experiments. *Marine Ecology* 144: 73 - 85
- GLENN R. LOPEZ I. AND JEFFREY S. LEVINTON(1978): The availability of microorganisms attached to sediment particles as food for *Hydrobia ventrosa* Montagu (Gastropoda: Prosobranchia). *Oecologia* 32: 263-275
- GLOCKZIN, M.(2004): Makrozoobenthische Besiedlung in potentiellen NATURA 2000 - Gebieten innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) der Bundesrepublik Deutschland gemäß FFH - Richtlinie - Areal: Oderbank. Praxissemesterarbeit, unveröffentlicht: 96 S.
- GOSELCK, F., KUBE, J.(2004): Marine FFH - Lebensraumtypen in der Ostsee am Beispiel des Greifswalder Boddens und der Pommerschen Bucht. *Naturmagazin* 3 (2004): 1 - 7
- GRUNER, H. E., HARTMANN-SCHRÖDER, R., KILIAS, K., MORITZ, M.(1982): Lehrbuch der speziellen Zoologie - Wirbellose Tiere, 3. Teil - Mollusca, Sipunculida, Echiurida, Annelida, Onychophora, Tardigrada, Pentastomida, vierte Auflage. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 608 S.
- GRUSZKA, P.(1991): *Marenzelleria viridis* (Verrill 1873) (Polychaeta: Spionidae) a new component of shallow water benthic community in the southern Baltic. *Acta Ichthyologica et Piscatoria XXI Suppl.*: 57 - 65
- HANDL, A.(2002): Multivariate Analysemethoden - Theorie und Praxis multivariater Verfahren unter besonderer Berücksichtigung von S-Plus. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 515 S.
- HENTSCHEL, B. T., LARSON, A. A.(2005): Growth rates of interface - feeding polychaetes: combined effects of flow speed and suspended food concentration. *Marine Ecology Progress Series* 293: 119 - 129
- HERTLING, H.(1928): Untersuchungen über die Ernährung von Meeresfischen. I. Quantitative Nahrungsuntersuchungen an Pleuronektiden und einigen anderen Fischen der Ostsee. *Berichte der Deutschen Wissenschaftlichen Kommission für Meeresforschung N.F.* 4: 25 - 124
- HOFFMAN, G., BARNASCH, J.(2005): Late glacial to holocene coastal changes of SE Rügen Island (Baltic Sea, NE Germany). *Aquatic Science* 67 (2005): 132 - 141
- JAGNOW, B., GOSELCK, F.(1987): Bestimmungsschlüssel für die Gehäuseschnecken und Muscheln der Ostsee. *Mitteilungen des Zoologischen Museums Berlin* 63: 191 - 268

- JIUNN-TZONG, W.(1999): A generic index of diatom assemblages as bioindicator of pollution in the Keelung River of Taiwan. *Hydrobiologia* 397: 79 - 87
- KARLSON, K., HULTH, S., RINGDAHL, K., ROSENBERG, R.(2005): Experimental recolonisation of Baltic Sea reduced sediments: survival of benthic macrofauna and effects on nutrient cycling. *Marine Ecology Progress Series* 294: 35 - 49
- KEDDY, P., WEIHER, E.(1999): *Ecological Assembly Rules - Perspectives, Advances, Retreats*. Cambridge University Press, Cambridge, 418 S.
- KLAPWIJK, S. P.(1980): Effects of laundry wastewater on benthic algae in ditches in the Netherlands. *Hydrobiologia*: 142 - 151
- KLEIN, J.(2003): Abgrenzung von Sandbänken als FFH - Vorschlagsgebiete - Abschlussbericht. Argument GmbH, 21 S.
- KRATOCHWIL, A., SCHWABE, A.(2001): *Ökologie der Lebensgemeinschaften*. Verlag Eugen Ulmer (UTB), Stuttgart, 756 S.
- KUBE, J.(1996): The ecology of makrozoobenthos and sea ducks in the Pomeranian Bay. *Meereswissenschaftliche Berichte* 18: 128 S.
- KUBE, J., GOSSELCK, F., POWILLEIT, M., WARZOCHA, J.(1997): Long - term changes in the benthic communities of the Pomeranian Bay (Southern Baltic Sea). *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 51: 399 - 416
- KUBE, J., POWILLEIT, M.(1997): Factors controlling the distribution of *Marenzelleria* cf. *viridis*, *Pygospio elegans* and *Streblospio shrubsolei* (Polychaeta: Spionidae) in the southern baltic sea. *Aquatic Ecology* 31: 187 - 198
- KUBE, J., POWILLEIT, M., WARZOCHA, J.(1996): The importance of hydrodynamic processes and food availability for the structure of macrofauna assemblages in the Pomeranian Bay (Southern Baltic Sea). *Archiv für Hydrobiologie* 138: 213 - 228
- KUHRTS, C., FENNEL, W., SIFERT, T.(2004): Model studies of the transport of sedimentary material in the western Baltic. *Journal of Marine Systems* 52 (2004): 167 - 190
- LASS, H. U., MOHRHOLZ, V., SEIFERT, T.(2001): On the dynamics of the Pomeranian Bight. *Continental Shelf Research* 21 (2001): 1237 - 1261
- LEPPÄKOSKI, E., HELMINEN, H., HÄNNINEN, J., TALLQVIST, M.(1999): Aquatic biodiversity under anthropogenic stress: an insight from the Archipelago Sea (SW Finland). *Biodiversity and Conservation* 8: 55 - 70
- LEVIN, L. A., CREED, E. L.(1986): Effect of temperature and food availability on reproductive responses of *Streblospio benedicti* (Polychaeta: Spionidae) with planktotrophic or lecithotrophic development. *Marine Biology* 92: 103-113
- LIEBIG, W, MUMMENTHEY, R. D.(2002): *ArcGis - ArcView 8 - Das Buch für den Anwender*. Points Verlag, Halmstad, 470 S.
- LÖFFLER, A., LEIPE, T., EMEIS, C. K.(2000): The "fluffy layer" in the Pomeranian Bight (western Baltic Sea): geochemistry, mineralogy and environmental aspects. *Geochemie*,

Mineralogie und Umweltaspekte 52: 85 - 100

- LÖWE, F. K.(1963): Quantitative Benthosuntersuchungen in der Arkonasee. Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin: 247 - 403
- LOZÁN, J., L., KAUSCH, H.(2004): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler, 3. Auflage. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 300 S.
- MCARTHUR, V. E.(1998): Post-settlement mortality of juvenile lagoonal cockles (*Cerastoderma glaucum*: Mollusca: Bivalvia). Marine Biology 132: 117 - 122
- MCGARIGAL, K., CUSHMAN, S., STAFFORD, S.(2000): Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research. Springer - Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 279 S.
- MCMANUS, J.(1988): Grain size determination and interpretation. Blackwell Scientific Publishers, Oxford, 63 - 85 S.
- MEYER, M.(2002): Modellierung der Küstenlinien der Ostsee im Holozän - Wechselspiel zwischen Isostasie und Eustasie. Mathematisch - naturwissenschaftliche Fakultät der Ernst - Moritz Arnd - Universität Greifswald, Dissertation: 83 S.
- MINSHALL, G. W., ROBINSON, C. T.(1998): Macroinvertebrate community structure in relation to measures of lotic habitat heterogeneity. Archives of Hydrobiology. 141: 129 - 151
- MOHRHOLZ, V.(1998): Transport- und Vermischungsprozesse in der Pommerschen Bucht. Meereswissenschaftliche Berichte 33: 106 S.
- MOHRHOLZ, V., LASS, H. U., MUTZKE, A.(1999): Dynamics of river plumes in the Pomeranian Bight (Extended Abstract). Journal of Marine Science 56: 84 - 86
- MÜLLER-NAVARRA, S. H., LANGE, W., DICK, S., SOETJE, K. C.(2003): Über die Verfahren der Wasserstands- und Sturmflutvorhersage. promet 29 (1-4): 117 - 124
- NAUSCH, G., FEISTEL, R., LASS, H. U., NAGEL, K., SIEGEL, H.(2004): Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 2003. Meereswissenschaftliche Berichte 59: 80 S.
- NAUSCH, M., POLLEHNE, F., KERSTAN, E.(1998): Extrazelluläre Enzymaktivitäten in Relation zu Hydrodynamik in der Pomeranischen Bucht (Südliche Ostsee). Microbial Ecology 36 (1998): 251 - 258
- NEUMANN, G., BUBLITZ, G.(1968): Seegrunduntersuchungen im westlichen Teil der Oder-Bucht. Meereskunde 24/25: 82 - 109
- O'BRIEN, K., HÄNNINEN, J., KANERVA, T., METSÄRINNE, L., VUORINEN, I.(2003): Macrozoobenthic zonation in relation to major environmental factors across the Archipelago Sea, northern Baltic Sea. Boreal Environment Research 8: 159 - 170
- OLAFSSON, E. B.(1988): Inhibition of larval settlement to a soft bottom benthic community by drifting algal mats: an experimental test. Marine Biology 57: 571 - 574
- OTT, J.(1996): Meereskunde, 2. Auflage. Verlag Eugen Ulmer (UTB), Stuttgart, 424 S.
- PASTUSZAK, M., NAGEL, K., GRELOWSKI, A., MOHRHOLZ, V., ZALEWSKI, M.(2003): Nutrient

- dynamics in the Pomeranian Bay (Southern Baltic): Impact of the Oder River outflow. *Estuaries* 26 (5): 1238 - 1254
- POLLEHNE, F.(2000): Die Rolle der Küstengewässer - Drehscheibe des Stofftransportes zwischen Land und Meer. *BODDEN* 10: 1 - 19
- POWILLEIT, M., KUBE, J.(1999): Effects of severe oxygen depletion on macrobenthos in the Pomeranian Bay (southern Baltic Sea): a case study in a shallow, sublittoral habitat characterised by low species richness. *Journal of Sea Research* 42 (1999): 221 - 234
- PRECHT, E., FRANKE, U., POLERECKY, L., HUETTEL, M.(2004): Oxygen dynamics in permeable sediments with wave - driven pore water exchange. *Limnol. Oceanogr.* 49 (3): 693 - 705
- PRENA, J.(1997): Periodic and episodic benthos recruitment in southwest Mecklenburg Bay (western Baltic Sea). *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 51: 1 - 21
- PRENA, J.(1995): Effects of eutrophication on macrobenthos zonation in Wismar Bay (Western Baltic Sea). *Archiv für Hydrobiologie* 133 (2): 245 - 257
- RABY, D., MINGELBIER, M., DODSON, J. J., KLEIN, B., LAGADEUC, Y., LEGENDRE, L.(1997): Food-particle size and selection by bivalve larvae in a temperate embayment. *Marine Biology* 127: 665 - 672
- RASCH, D., ENDERLEIN, G., HERRENDÖRFER, G.(1973): *Biometrie - Verfahren, Tabellen, Angewandte Statistik*. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 390 S.
- RHEINHEIMER, G.(1996): *Meereskunde der Ostsee*, 2. Auflage. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 338 S.
- ROSSI, F, LARDICCI, C.(2001): Role of the nutritive value of sediment in regulating population dynamics of the deposit-feeding polychaete *Streblospio shrubsoli*. *Marine Biology* 140: 1129-1138
- SACHS, L.(1997): *Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden*, 8. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 883 S.
- SARDANAND, N. H., NIMI R. R.(2003): Numerical Analysis of Soft-bottom macroinvertebrates to diagnose the pollution in tropical Coastal Waters. *Environmental Monitoring and Assessment* 93 (1-3): 251 - 275
- SCAPS, P.(2002): A review of the biology, ecology and potential use of the common ragworm *Hediste diversicolor* (O.F. Müller) (Annelida: Polychaeta). *Hydrobiologia* 470: 203 - 218
- SCHIEDEK, D.(1997): *Marenzelleria viridis* (Verrill 1873) (Polychaeta), a new benthic species within European coastal waters: some metabolic features. *Journal of Experimental Marine Biology & Ecology* 211: 85 - 101
- SCHÖTTLER, U., SURHOLT, B., ZEBE, E.(1984): Anaerobic metabolism in *Arenicola marina* and *Nereis diversicolor* during low tide. *Marine Biology* 81: 69 - 73

- SCHULTE-OEHLMANN, U., OEHLMANN, J., FIORONI, P., BAUER, B.(1997): Imposex and reproductive failure in *Hydrobia ulvae* (Gastropoda: Prosobranchia). *Marine Biology* 128 (2): 257 - 266
- SCHWARZER, K., DIESING, M., LARSON, M., NIEDERMEYER, R. O., SCHUHMACHER, W., FURMANCZYK, K.(2003): Coastline evolution at different time scales - examples from the Pomeranian Bight, southern Baltic Sea. *Marine Geology* 194: 79 - 101
- SEIFERT, T., KAYSER, B.(1995): A high spherical grid topography of the Baltic Sea. *Marine Science Reports* 9: 73 - 86
- SHUMWAY, S. E.(1977): The effect of fluctuating salinity on the tissue water content of eight species of bivalve Molluscs. *Journal of comp. Phys.* 116: 269 - 285
- SIEGEL, H., SEIFERT, T., SCHERNEWSKI, G., GERTH, M., OHDE, T., REISSMANN, J., PODSETCHINE, V. (2005): Discharge and transport processes along the German Baltic Sea Coast. *Ocean Dynamics* 55: 47 - 66
- SIRABELLA, P., GIULIANI, A., COLOSIMO, A., DIPPNER, J. W.(2001): Breaking down the climate effects on cod recruitments by principal component analysis and canonical correlation. *Marine Ecology Progress Series* 216: 213 - 222
- SMETACZEK, V.(1999): Diatoms and the Ocean Carbon Cycle. *Protist* 150: 25 - 32
- SPÄRK, R.(1935): On the importance of quantitative Investigation of the bottom fauna in marine biology. *J. Conseil. int. Expl. mer.* 10: 3 - 19
- TAUBER, F., EMEIS, K. C.(2005): Sediment mobility in the Pomeranian Bight (Baltic Sea): a case study based on sidescan-sonar images and hydrodynamic modelling. *Geo-Marine Letters - An International Journal of Marine Geology* 25 (4): 221 - 229
- VALAVANIS, V. D., KAPANTAGAKIS, A., KATARA, I., PALIALEXIS, A.(2004): Critical regions: A GIS-based model of marine productivity hotspots. *Aquatic Science* 66 (2004): 139 - 148
- VENICE SYSTEM - KONFERENZ(1958): Final resolution of the symposium on the classification of brackish waters. *Archives of Oceanography and Limnology.* 11 (suppl.): 1-248
- VERDONSCHOT, P. F. M.(1977): The distribution of Oligochaetes in the Haringvliet-Hollands Diep (Delta region of the Netherlands) before and after the closure in 1970. *Aquatic Ecology* 14 (3): 220 - 221
- WARZOCHA, J.(1995): Classification and structure of macrofaunal communities in the southern Baltic. *Arch. Fish. Mar. Res.* 42: 225 - 237
- WIEKING, I., KRÖNCKE, I.(2004): Is benthic trophic structure affected by food quality? The Dogger Bank example. *Marine Biology* 146: 387 - 400
- WILLIAMS, D. D.(2003): The brackish water hyporheic zone: invertebrate community structure across a novel ecotone. *Hydrobiologia* 510: 153 - 173
- WINTER, J. E.(1969): Über den Einfluss der Nahrungskonzentration und anderer Faktoren auf Filtrierleistung und Nahrungsausnutzung der Muscheln *Arctica islandica* und *Modiolus modiolus*. *Marine Biology* 4: 87 - 135

- WITT, G., LEIPE, T., EMEIS, K. C.(2001): Using fluffy layer material to study the fate of particle-bound organic pollutants in the southern Baltic Sea. *Environmental Science & Technologie* 35 (8): 1567 - 1573
- WITT, G., TROST, E.(1999): Distribution and Fate of Polycyclic Aromatic Hydrocarbos (PAHs) in Sediments and Fluffy Layer Material from the Odra River Estuary. *Acta hydrochim. hydrobiol.* 27 (1999/5): 308 - 315
- WULFF, F., RAHM, L., LARSSON, P.(2001): A Systems Analysis of the Baltic Sea - Ecological Studies 148. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 455 S.
- YOUNG, L. J, YOUNG, J. H.(1998): *Statistical Ecology - A Population Perspective*. Kluwer Academic Publishers, Bosen, Dordrecht, London, 565 S.
- YSEBAERT, T., FETTWEIS, M., MEIRE, P., SAS, M.(2005): Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. *Hydrobiologia* 540: 197 - 216
- ZANDER, D. C., KOÇOĞLU, Ö., SKROBLIES, M., STROHBACH, U.(2002): Parasite populations and communities from the shallow littoral of the Orther Bight (Fehmarn, SW Baltic Sea). *Parasitology Research* 88 (8): k.A.
- ZETTLER, M. L.(1997): Population dynamics, growth and reproduction of the neozoon *Marenzelleria* cf. *viridis* (Verril, 1873) (Polychaeta: Spionidae) in a coastal water of the Southern Baltic Sea. *Aquatic Ecology* 31: 177 - 186
- ZETTLER, M. L., DAUNYS, D., KOTTA, J., BICK, A.(2002): History of an invasion into the Baltic Sea: the polychaete *Marenzelleria* cf. *viridis*, development and strategies. In: Leppaköski, E. Olenin, S., Gollasch, S. (eds.) *Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 66-75
- ZETTLER, M. L., RÖHNER, M.(2004): Verbreitung und Entwicklung des Makrozoobenthos der Ostsee zwischen Fehmarn und Usedom - Daten von 1839 bis 2001. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.), *Die Biodiversität in der deutschen Nord- und Ostsee*, Band 3. Bericht BfG – 1421, Koblenz: 175 S.
- ZWARTS, L, WANINK, J.(1989): Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. *Marine Biology* 100: 227 - 240

Digitale Medien:

ESRI – Daten CD – ESRI Data & Maps, im ArcView 8.2 Programmpaket enthalten

Internet – Quellen:

- BRÜGGEMANN, M., HORSTMANN, O., LEHFELDT, R., MILBRADT, P., MOLKENTHIN, F., SCHLEIDER, O., SELLERHOFF, F. (1997): Morphodynamic modeling of wind influenced flats - Internet based collaborative project handling, in: *Coastal Engineering*. Meilenstein 97, zu finden unter:

<http://morwin.bauinf.uni-hannover.de/lehfeldt/CD97/toc.htm>:

letzter überprüfter Zugriff: 31.01.2006

WALDOW, H. v.: Einführung in die Geostatistik, Vorlesungsskript, 1998, zu finden unter:

<http://www.geog.fu-berlin.de/~jkrywkow/harald/geostatistik/referat.html>

letzter überprüfter Zugriff: 31.01.2006

Kontakt: Internetseite der Arbeitsgruppe „Ökologie benthischer Organismen“ im IOW – Warnemünde http://www.io-warnemuende.de/bio/workgroups/benthos/de_arbeitsgruppe.html

ANHANG I

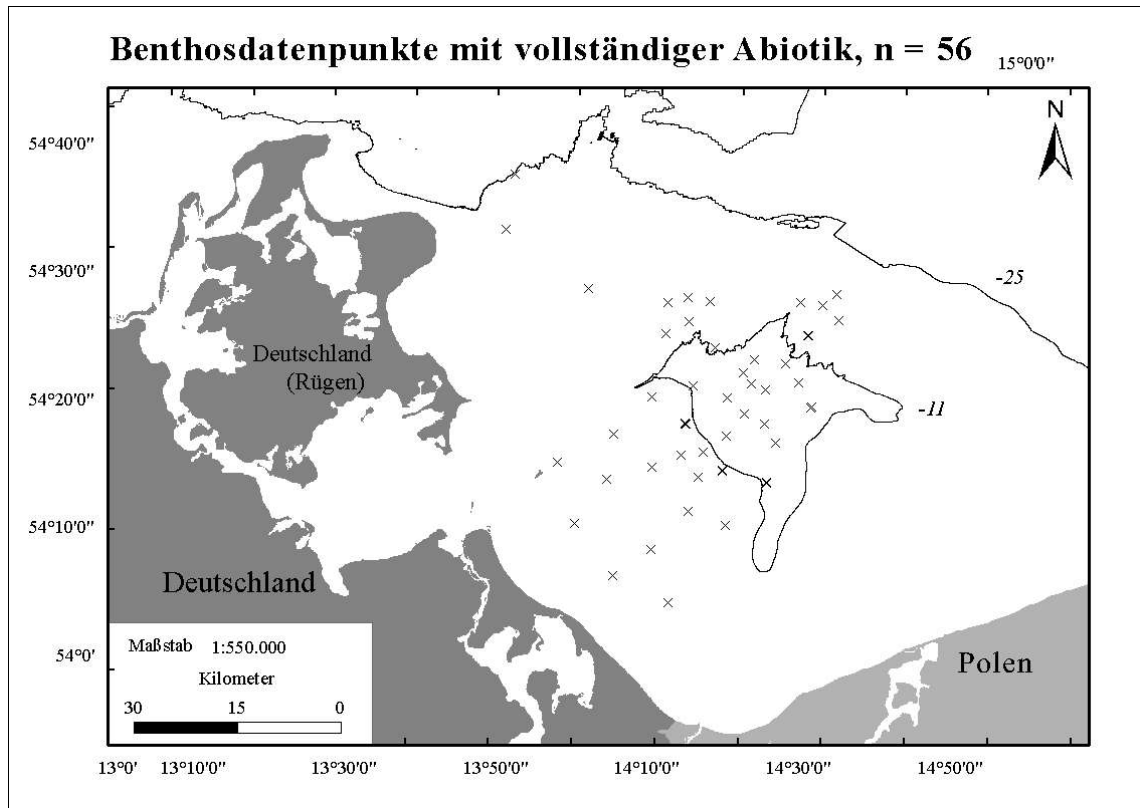


Abb. 57: Benthos - Datenpunkte im Untersuchungsgebiet für die ein vollständiger Satz aller abiotischen Parameter zur Untersuchung vorlag = **Datensatz C - Abio**

Tips zur Interpretation des CCA – Biplots:

Die zwei Hauptachsen stellen die Linearkombinationen der abiotischen Parametermatrix dar und erklären die größte Varianz innerhalb dieser Datenmatrix. Die aus dem Koordinatenursprung zu den Parameterbezeichnungen laufenden Pfeile entsprechen den ansteigenden Gradienten der jeweiligen Parameter. Die Länge der Pfeile ist dabei gleichzusetzen mit der Bedeutung dieses Parameters. Von den Pfeilen eingeschlossene Winkel geben den Korrelationskoeffizienten zwischen den jeweiligen Parametern an. Um die Arten entlang eines Gradienten zu ordnen, fällt man das Lot von der Art auf den Pfeil, den man sich in zwei Richtungen verlängert vorstellen kann. Das Optimum der jeweiligen Arten verläuft vom Pfeilende zur Spitze hin zunehmend, d.h. die Abfolge der von den Arten auf den Pfeil gefällten Lotlinien ist vom Pfeilende zur Spitze hin auch die Reihenfolge der Präferenzen der einzelnen Arten diesem Faktor gegenüber. Eine Deutung der Hauptachsen kann durch die Lage des Gradientenpfeils zur jeweiligen Hauptachse abgelesen werden. Auch hier gilt wieder der Kosinus des Winkels zwischen Gradienten- und Hauptachse als Korrelationskoeffizient. Je weiter Arten vom Zentrum entfernt liegen, um so besser sind sie zuzuordnen. (LOZÁN & KAUSCH 2004)

ANHANG II

Das digitale Geländemodell (DEM) der Pommernbucht:

Pommernbucht - 3 D - Ansicht der Geländestructur

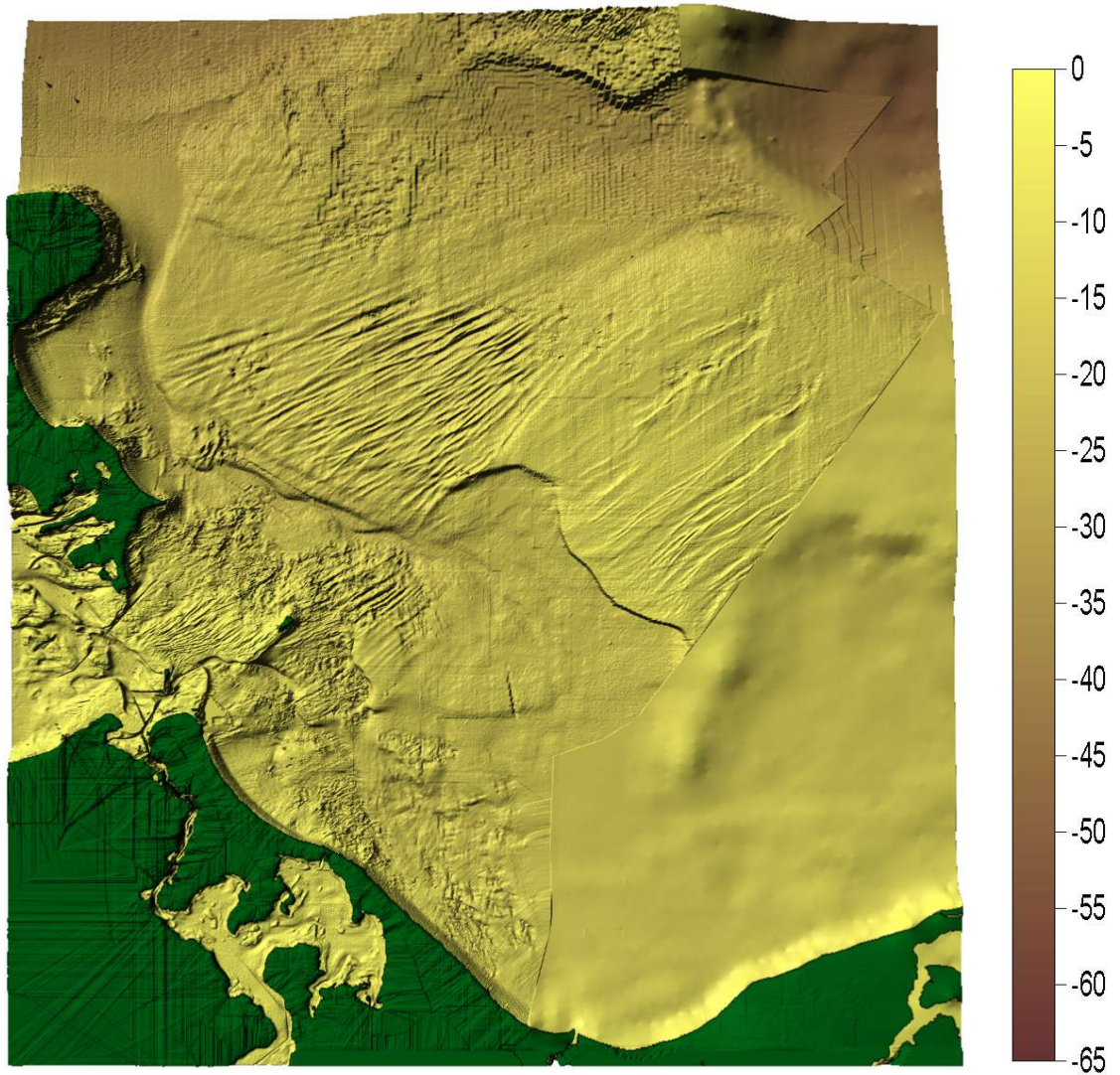


Abb. 58: Dreidimensionale Ansicht der Morphologie der Pommernbucht (Tiefenskala in Meter)

ANHANG III

Tab. 20: Alle SPEARMAN – Rangkorrelationskoeffizienten, Arten mit abiotischen Parametern - Datensatz A

SPEARMAN - Rangkorrelationskoeffizienten, Arten Datensatz A, nur (*), (**) - Signifikanzlevel							
Art	Tiefe	psu	O2	MKG	Org	Sort	Perm
<i>Ampharete baltica</i>	,409(**)	,407(**)	-0,150	,	,	,	,
<i>Arenicola marina</i>	,291(**)	,343(**)	-0,130	,	,	,	,
<i>Balanus improvisus</i>	,148(*)	,251(**)	,345(**)	-0,09	,580(**)	-,276(*)	-,275(*)
<i>Bathyporeia pilosa</i>	-,643(**)	-,711(**)	-,345(**)	0,17	-,753(**)	,371(**)	,342(**)
<i>Bylgides sarsi</i>	,457(**)	,425(**)	-,246(**)	-,321(*)	,416(**)	0,04	-,327(*)
<i>Cerastoderma glaucum</i>	-,648(**)	-,649(**)	-,210(*)	0,1	-0,21	0,21	0,14
<i>Corophium volutator</i>	0,1	,334(**)	,166(*)	-0,17	,466(**)	-,306(*)	-0,25
<i>Crangon crangon</i>	0,01	-,277(**)	-,404(**)	-0,08	-0,16	-0,14	-0,19
<i>Cyathura carinata</i>	-,328(**)	-0,04	,374(**)	-,292(*)	,272(*)	-,299(*)	-,304(*)
<i>Diastylis rathkei</i>	,630(**)	,580(**)	-0,1	-0,22	,264(*)	0,2	-0,21
<i>Eteone longa</i>	,326(**)	,339(**)	0,07	-	-	-	-
<i>Fabricia stellaris</i>	,365(**)	,423(**)	0,14	-0,01	,276(*)	-,324(*)	-0,15
<i>Gammarus oceanicus</i>	,184(**)	0,1	-,266(**)	-0,25	,322(**)	-0,07	-,303(*)
<i>Gammarus salinus</i>	,	-0,09	-,238(**)	0,07	0,07	-0,23	-0,1
<i>Gammarus zaddachi</i>	-0,03	-,292(**)	-,406(**)	0,07	,278(*)	-0,14	-0,11
<i>Halicryptus spinulosus</i>	,547(**)	,490(**)	-,273(**)	-0,2	0,19	-0,21	-0,21
<i>Hediste diversicolor</i>	-,256(**)	-0,15	-0,13	-0,03	0,22	-0,2	-0,11
<i>Hydrobia ulvae</i>	-,320(**)	-,306(**)	-0,11	-0,17	,403(**)	-0,2	-,295(*)
<i>Hydrobia ventrosa</i>	-,479(**)	-,369(**)	-0,12	0,11	-,368(**)	,293(*)	0,22
<i>Idotea balthica</i>	-0,07	0,07	0,07	-0,22	,286(*)	0,11	-0,23
<i>Idotea chelipes</i>	-,180(**)	-0,15	-0,06	-,267(*)	0,18	0,07	-0,18
<i>Jaera albifrons</i>	,155(*)	0,08	-,319(**)	0,04	0,14	-0,04	0,03
<i>Lineus ruber</i>	,248(**)	,268(**)	-0,1	-	-	-	-
<i>Macoma balthica</i>	,187(**)	,225(**)	-,456(**)	-0,21	,434(**)	0,08	-0,16
<i>Manayunkia aestuarina</i>	-0,1	-0,04	-0,13	0,14	0,16	0,03	0,09
<i>Marenzelleria neglecta</i>	-,397(**)	-,369(**)	-,357(**)	-,280(*)	,547(**)	-0,19	-,404(**)
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	-0,02	0,13	0,1	0,22	0,18	-0,23	0,05
<i>Mya arenaria</i>	-,644(**)	-,521(**)	-0,01	-0,14	-0,02	-0,02	-0,14
<i>Mysis mixta</i>	,237(**)	-0,09	-,300(**)	0,04	0,08	-0,13	-0,03
<i>Mytilus edulis</i>	-0,05	-0,07	-0,12	-0,06	,263(*)	-0,16	-0,23
<i>Nais elinguis</i>	-0,11	-,461(**)	-,586(**)	-0,1	0,16	-0,02	-0,14
<i>Neanthes succinea</i>	-0,02	0,15	,413(**)	-0,2	,483(**)	-,283(*)	-,367(**)
<i>Neomysis integer</i>	-,186(**)	-,440(**)	-,561(**)	0,03	-0,1		-0,080
<i>Paranais litoralis</i>	-,220(**)	-,293(**)	-,354(**)	0,05	-0,12	-0,02	0,110
<i>Polydora cornuta</i>	,214(**)	,225(**)	0,08	-	-	-	-
<i>Pontoporeia femorata</i>	,282(**)	,302(**)	-,193(*)	-0,221	0,2	0,200	0,210
<i>Praunus flexuosus</i>	-,251(**)	-,565(**)	-,463(**)	0,02	-0,23	-0,04	0,011
<i>Prostoma obscura</i>	-,351(**)	-,282(**)	-,212(*)	0	-0,23	,278(*)	0,120
<i>Pygospio elegans</i>	,250(**)	,333(**)	-,173(*)	-0,11	,286(*)	-0,09	-0,110
<i>Saduria entomon</i>	,432(**)	,351(**)	-,170(*)	-	-	-	-
<i>Scoloplos armiger</i>	,483(**)	,478(**)	0,02	-0,26	,236(*)	,299(*)	-0,090
<i>Streblospio dekhuyzeni</i>	-,485(**)	-,500(**)	-,480(**)	-0,17	-0,2	0,11	-0,100
<i>Tubifex costatus</i>	-0,08	-0,04	0,14	-0,08	,388(**)	-0,15	-0,130
<i>Tubificoides benedeni</i>	,414(**)	,671(**)	,255(**)	-0,07	,494(**)	-0,05	-0,150

ANHANG IV

Tab. 21: Häufigkeit der einzelnen Arten im jeweiligen Gebiet der PCA – Hauptkomponentenprojektion, Zahlen in Tabelle = Abstufung der Häufigkeit wieder, 5 = höchste Abundanz, 1 = niedrigste Abundanz

Gebiet	1	2	3	4	5
Durchschnittliche Tiefe	9 m	13 m	14 m	16 m	23 m
<i>Bathyporeia pilosa</i>	5	4	3	2	1
<i>Cyathura carinata</i>	5	4	3	2	1
<i>Marenzelleria neglecta</i>	5	4	3	2	1
<i>Mya arenaria</i>	5	4	3	2	1
<i>Paranais litoralis</i>	5	4	3	2	1
<i>Praunus flexuosus</i>	5	4	3	2	1
<i>Streblospio dekhuyzeni</i>	5	4	3	2	1
<i>Hydrobia ventrosa</i>	5	4	3		
<i>Nais elinguis</i>	5	4	3	1	2
<i>Neomysis integer</i>	5	4	3	1	2
<i>Prostoma obscura</i>	5	4			
<i>Idotea chelipes</i>	5	3	4	3	2
<i>Hediste diversicolor</i>	5	2	4	1	3
<i>Mytilus edulis</i>	5	2	1	3	4
<i>Tubificoides benedeni</i>	5	1	4	3	2
<i>Idotea balthica</i>	5		5	3	4
<i>Cerastoderma glaucum</i>	4	3	5	2	1
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	4	1	3	2	5
<i>Fabricia stellaris</i>	4	1	2	3	5
<i>Hydrobia ulvae</i>	3	5	4	1	2
<i>Balanus improvisus</i>	3	2	1	4	5
<i>Jaera albifrons</i>	3	2	1	4	5
<i>Gammarus salinus</i>	3	1	5	2	4
<i>Diastylis rathkei</i>	3			4	5
<i>Mysis mixta</i>	2	5	5	1	3
<i>Corophium volutator</i>	2	1	5	3	4
<i>Neanthes succinea</i>	2	1	4	5	3
<i>Macoma balthica</i>	1	2	4	3	5
<i>Bylgides sarsi</i>	1	2	3	4	5
<i>Pygospio elegans</i>	1	2	3	4	5
<i>Tubifex costatus</i>	1	2	3	4	5
<i>Manayunkia aestuarina</i>		3	5	4	
<i>Halicryptus spinulosus</i>			3	4	5
<i>Ampharete baltica</i>				4	5
<i>Saduria entomon</i>				4	5
<i>Arenicola marina</i>					5
<i>Eteone longa</i>					5
<i>Lineus ruber</i>					5
<i>Polydora cornuta</i>					5
<i>Scoloplos armiger</i>					5

ANHANG V

Tab. 22: Artenliste – alle für die Pommernbucht von 1998 bis 2005 nachgewiesene Arten

Artenliste I – Alle in der Pommernbucht von 1998 bis 2005 nachgewiesene Arten

Hydrozoa

Clava multicornis (Forskal, 1775)
Halitholus yoldia-arcticae (Birula, 1897)
Hartlaubella gelatinosa (Pallas, 1766)
Laomedea flexuosa Alder, 1856
Opercularella lacerata (Johnston, 1847)
Verticillina verticillata (Linnaeus, 1758)

Priapulida

Halicryptus spinulosus Von Siebold, 1849
Priapululus caudatus Lamarck, 1816

Nemertinea

Lineus ruber (O.F. Müller, 1776)
Prostoma obscura (Schultze, 1851)

Bivalvia

Cerastoderma glaucum (Poiret, 1789)
Macoma balthica (Linnaeus, 1758)
Mya arenaria Linnaeus, 1758
Mytilus edulis Linnaeus, 1758

Gastropoda

Hydrobia ulvae (Pennant, 1777)
Hydrobia ventrosa (Montagu, 1803)
Potamopyrgus antipodarum (J. E. Gray, 1843)
Pusillina inconspicua Alder, 1844
Stiliger bellulus (D'Orbigny, 1837)
Tenellia adspersa (Nordmann, 1844)
Theodoxus fluviatilis (Linnaeus, 1758)

Oligochaeta

Nais elinguis O.F. Müller, 1773
Paranais litoralis (O.F. Müller, 1784)
Tubifex costatus (Claparede, 1863)
Tubificoides benedeni (Udekem, 1855)

Polychaeta

Alkmaria romijni Horst, 1919
Ampharete baltica Eliason, 1955
Arenicola marina (Linnaeus, 1758)
Bylgides sarsi (Kinberg, 1865)
Capitella capitata (Fabricius, 1780)
Eteone longa (Fabricius, 1780)
Fabricia stellaris (Müller, 1774)
Hediste diversicolor (O.F. Müller, 1776)
Manayunkia aestuarina (Bourne, 1863)
Marenzelleria neglecta (Verrill, 1873)
Neanthes succinea (Frey & Leuckart, 1847)
Polydora cornuta Bosc, 1802
Polydora quadrilobata Jacobi, 1883
Pygospio elegans Claparede, 1863
Scalibregma inflatum Rathke, 1843
Scoloplos armiger (O.F. Müller, 1776)
Sphaerodoropsis balticum (Reimers, 1933)
Streblospio dekhuyzeni Horst, 1909
Streptosyllis websteri Southern, 1914

ANHANG VI

Tab. 23: Fortsetzung Artenliste – alle für die Pommernbucht von 1998 bis 2005 nachgewiesene Arten

Artenliste II – Alle in der Pommernbucht von 1998 bis 2005 nachgewiesene Arten

Cirripedia

Balanus improvisus Darwin, 1854

Mysidacea

Gastrosaccus spinifer (Goes, 1864)

Mysis mixta Lilljeborg, 1852

Neomysis integer (Leach, 1814)

Praunus flexuosus (O. F. Müller, 1776)

Praunus inermis (Rathke, 1843)

Cumacea

Diastylis rathkei (Kröyer, 1841)

Tanaidacea

Heterotanais oerstedii (Kröyer, 1842)

Isopoda

Cyathura carinata (Kröyer, 1847)

Idotea balthica (Pallas, 1772)

Idotea chelipes (Pallas, 1766)

Jaera albifrons Leach, 1814

Saduria entomon (Linnaeus, 1758)

Amphipoda

Ampithoe rubricata (Montagu, 1808)

Bathyporeia pelagica (Bate, 1856)

Bathyporeia pilosa Lindström, 1855

Corophium lacustre Vanhöffen, 1911

Corophium volutator (Pallas, 1766)

Gammarus oceanicus Segerstrale, 1947

Gammarus salinus Spooner, 1947

Gammarus tigrinus Sexton, 1939

Gammarus zaddachi Sexton, 1912

Hyperia galba (MONTAGU, 1813)

Leptocheirus pilosus Zaddach, 1844

Melita palmata (Montagu, 1804)

Microdeutopus gryllotalpa Da Costa, 1853

Monoporeia affinis (Lindström, 1855)

Pontoporeia femorata Kröyer, 1842

Decapoda

Carcinus maenas (Linnaeus, 1758)

Crangon crangon (Linnaeus, 1758)

Palaemon elegans (Linnaeus, 1758)

Palaemon squilla (Rathke, 1843)

Rhithropanopeus harrisi (Gould, 1841)

Bryozoa

Alcyonidium polyoum Hassal, 1841

Callopora lineata (Linnaeus, 1767)

Electra crustulenta (Pallas, 1766)

Eucratea loricata (Linnaeus, 1758)

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Warnemünde, 01.02.2005

Unterschrift: _____

Danksagung

In erster Linie möchte ich mich bei meinen beiden Diplom – Betreuern Herr Prof. Dr. rer. nat. Reiner Schulz von der HTWS Zittau und Dr. rer. nat. Michael L. Zettler vom IOW – Warnemünde für ihre immer offenen Ohren, ihre Diskussionsbereitschaft und vor allem für die Überlassung des Themas bedanken.

Dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrografie – Rostock, und hier vor allem Herrn Monk, möchte ich für die Überlassung der Daten für diese Studie danken. Das Bundesamt für Naturschutz finanzierte z.T. die in dieser Studie verwendeten Benthosdaten. Vielen Dank auch dafür!

Des weiteren gilt mein Dank den Doktoren Michael Meyer, Bernd Bobertz und Björn Bohling, ohne die es keine Sedimentdaten und Hilfestellung bei der GIS – Umsetzung gegeben hätte.

Herr Dr. Torsten Seifert sei noch einmal herzlichst für das Strömungsmodell gedankt!

Vielen Dank auch an Herrn Dr. Joachim Dippner für die Hilfe beim Verständnis der PCA – Hauptkomponentenwerte und ihrer Anwendung.

Des weiteren möchte ich mich bei Ines Glockzin, Veronika Grimm und vielen, vielen Praktikanten bedanken, ohne deren mühevollen Arbeit am Siebturm und Binokular es keine Benthos-Datenbank geben würde.

Vielen, vielen Dank an alle Mitarbeiter des IOW – Warnemünde für das tolle Arbeitsklima! Nicht zu vergessen Frau Solveig Kühl aus dem Sekretariat sowie Frau Annemarie Schröder und Frau Brigitte Sievert aus der Bibliothek. Auch den Mitarbeitern der EDV, Dr. Steffen Bock, Sabine Biesel, Bernd Schlichting, Joachim Vogt und Siegfried Gust, sei hiermit gedankt! Dank geht auch an alle Mitarbeiter/-innen der Verwaltung.

Ein großes Dankeschön auch an die Doktoren Jens Frankowski und Matthias Röhner für erbauliche Gespräche, viel Motivation (und Zigaretten!) vor allem in der Endphase.

Ganz besonderer Dank für ihr Verständnis und die tolle Motivation gilt meiner Verlobten Maria Danzig! Ohne sie wäre diese Arbeit nie entstanden.