

Bundesanstalt für Gewässerkunde

BfG

Stefan Nehring & Heiko Leuchs

Neues Untersuchungs- und Auswertungskonzept zur Erfassung von Auswirkungen auf das Makrozoobenthos durch subaquatische Baggergutverbringung

- Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Jahresbericht 1999: 71-77, 2000

'99

Jahresbericht

3.4 Neues Untersuchungs- und Auswertungskonzept zur Erfassung von Auswirkungen auf das Makrozoobenthos durch subaquatische Baggergutverbringung

Aufgrund des ständigen Sedimenteintrags in die Schifffahrtsrinnen zu den großen Küstenhäfen sind kontinuierlich Unterhaltungsbaggerarbeiten notwendig, um die planfestgestellte Fahrrinntiefe vorzuhalten. Die hierfür in den einzelnen Gewässern (Elbe, Ems, Jade) jährlich zu baggernden Mengen liegen bei jeweils mehreren Millionen m³ Sediment, in der Weser deutlich unter 1 Million m³.

Um Informationen zur Bewertung (möglicher) ökologischer Folgen, die durch das Baggern und Verbringen des Baggergutes verursacht werden, zu erhalten, wurde als Ergebnis internationaler Vereinbarungen für den Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung die "Handlungsanweisung zur Unterbringung von Baggergut im Küstenbereich (HABAK-WSV)" entwickelt. Ein wichtiges Schutzgut hierbei ist das Makrozoobenthos, für dessen maßnahmebezogene Beurteilung von bestehenden oder prognostizierten Auswirkungen im allgemeinen entsprechende Untersuchungen erforderlich sind.

Die ästuartypisch starke Dynamik der abiotischen Parameter prägt die große Variabilität der benthischen Zönose, sowohl in der Artenzahl, der Artenzusammensetzung als auch in der Abundanz und der Biomasse. Dieses starke „Grundrauschen“ erschwert die Identifikation anthropogener Störungen beim Makrozoobenthos außerordentlich. Zur Optimierung der Planung und Auswer-

tung von Untersuchungen wurde daher auf der Grundlage vorliegender Erkenntnisse über die möglichen Wirkungszusammenhänge die folgenden Arbeitshypothesen formuliert und, darauf aufbauend, ein Probenahmekonzept entwickelt. In einem zweiten Schritt wurde anhand aktueller Untersuchungen, die mit diesem Probenahmekonzept durchgeführt wurden, ein neues Auswertungskonzept der gewonnenen Daten zum Makrozoobenthos erarbeitet. Durch Einsatz verschiedener statistischer und ökologischer Auswerteverfahren ist es möglich, anhand der zusammenfassenden Betrachtung der errechneten Ergebnisse eine deutlich detailliertere Antwort auf die Frage „Gibt es ökologische Auswirkungen durch die Verklappung?“ zu erhalten. Zusätzlich werden bei dieser begonnenen Entwicklung zunehmend besondere Charakteristika der Biozönosen einbezogen. Auswirkungen sind so quantifizierbarer und nach vollziehbarer beschreibbar.

Rahmenbedingungen bei der Verklappung

- Ein Teil des verklappten Sediments sinkt zu Boden und lagert sich dort ab.
- Ein Teil des Sediments geht in Suspension und erhöht, zeitlich und räumlich begrenzt, die natürliche Schwebstoffkonzentration und verdriftet mit der Strömung. Stärkere Erhöhungen treten teilweise bodennah auf.
- Abgelagerte Sedimente können durch Strömung resuspendiert und verdriftet werden und teilweise wieder sedimentieren.

Arbeitshypothesen

Überdeckungen mit Sediment bzw. erhöhte Trübung beeinträchtigen verschiedene bodenlebende Organismen unterschiedlich. Dies ist von der Toleranz der Arten, dem Umfang und der Frequenz der Überdeckung bzw. Trübungserhöhung abhängig. Unter diesen Annahmen ist davon auszugehen, dass die Zoobenthos-Gemeinschaft im direkten Bereich der Klappstelle gegenüber Bereichen gleicher Standortcharakteristik, die aber von der Verklappung nicht direkt beeinflusst sind, deutlich verändert sein kann. Arten- und Individuendichte der Wirbellosen können im Vergleich zu unbeeinflussten Stationen reduziert sein. Aufgrund der wiederkehrenden Störungen durch regelmäßige Verbringung im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen kann sich u. U. eine für den ungestörten Standort charakteristische Zoobenthos-Gemeinschaft nicht ausbilden; die Anzahl von adulten Individuen vorhandener Arten kann untypisch niedrig sein, während juvenile Stadien dominieren. Aus diesem Grund kann das Verhältnis Individuenzahl zu Biomasse im Vergleich zu unbeeinflussten Standorten ebenfalls verändert sein.

Die beschriebenen Auswirkungen auf das Makrozoobenthos sind direkt auf den Klappstellen (Zentrum) am ausgeprägtesten. In den Bereichen, in die ein Teil des verklappten Materials in Suspension oder bodennah verdriftet (Fahnen-Bereich), können diese Beeinträchtigungen auch stattfinden, sind jedoch vermutlich weniger deutlich und werden mit der Entfernung vom Zentrum abnehmen. In den Fahnen-Bereichen von Schlickklappstel-

len sind die verklappungsbedingten Erhöhungen der Schwebstoffkonzentrationen im Wasserkörper als auch bodennah vermutlich ausgeprägter als im Bereich von Sandklappstellen, so dass auch die damit verbundenen Beeinträchtigungen deutlicher sein könnten. Dagegen kann es im Bereich von Sandklappstellen u. U. zu einer deutlich verstärkten bodennahen Sanddrift kommen, die benthische Organismen mechanisch schädigen kann (Sandstrahleffekt).

Mit zunehmender Entfernung von der Klappstelle lassen sich innerhalb der Fahne diese Zusammenhänge immer weniger deutlich nachweisen, bis zu einem Punkt, an dem keine ökologischen Auswirkungen der Verklappung mehr sichtbar sind.

Probenahmekonzept

Auf der Grundlage der Arbeitshypothesen ist folgendes Probenahmekonzept entwickelt worden, das zur Veranschaulichung als 'Z-F-R-Konzept' bezeichnet wird. Danach werden die Probenahmestationen in drei Gruppen gegliedert und entsprechend positioniert:

- Stationen im stark beeinflussten Zentrum (Z)
- Stationen in der weniger beeinflussten Fahne (F)
- unbeeinflusste Referenzstationen (R).

Die Abb. 60 veranschaulicht diesen Ansatz, der in folgenden kurz begründet werden soll. Die Auswirkungen der Verklappung können innerhalb der eigentlichen Klappstelle als am deutlichsten angenommen werden (vgl. Arbeitshypothese). Die jeweilige Klappstelle wird daher so beprobt, dass möglichst die Bereiche, in denen wirklich verklappt wird, erfasst werden.

Im Bereich der Hauptdriftichtung des verklappten Materials, der Fahne, kann es ebenfalls zu Beeinträchtigungen des MZB kommen. In diesem Bereich, der vereinfacht als in der Hauptströmungsrichtung liegend angenommen wird, sind weitere Probenahmestationen (F) auf einem Längstransect gelegt. Die äußere F-Station wurde, soweit möglich, in so deutlicher Entfernung zum Zentrum einer jeweiligen Klappstelle gelegt, dass hier aufgrund der räumlichen Entfernung Auswirkungen auf das Makrozoobenthos unwahrscheinlich werden. Da aber Auswirkungen auch hier nicht auszuschließen sind, werden die äußeren in der Fahne liegenden Stationen nicht als Referenzstationen (s. u.), sondern als Fahnenstationen definiert. Zwischen Zentrum und der äußeren Probenahmestation werden in mehr oder weniger gleichmäßigem Abstand die weiteren Stationen verteilt.

Des Weiteren werden Probenahmestationen in unmittelbarer räumlicher Nähe der Klappstelle sowie in der weiteren Umgebung positioniert, in die eine Verdriftung des Materials nicht angenommen werden muss. Diese Probenahmestationen, die außerhalb der Klappstelle sowie außerhalb des Einflusses der Baggergutdrift liegen, werden unter Vorbehalt als 'Referenzstandorte' (R) definiert. Dies ist allerdings in einem komplexen System mit vielen natürlichen Gradienten und vielfältigen anthropogenen Eingriffen wie ein Ästuar es darstellt nur mit gewissen Einschränkungen möglich. Zu berücksichtigen ist, dass dieses Probenahmekonzept vor allem für Klappstellen

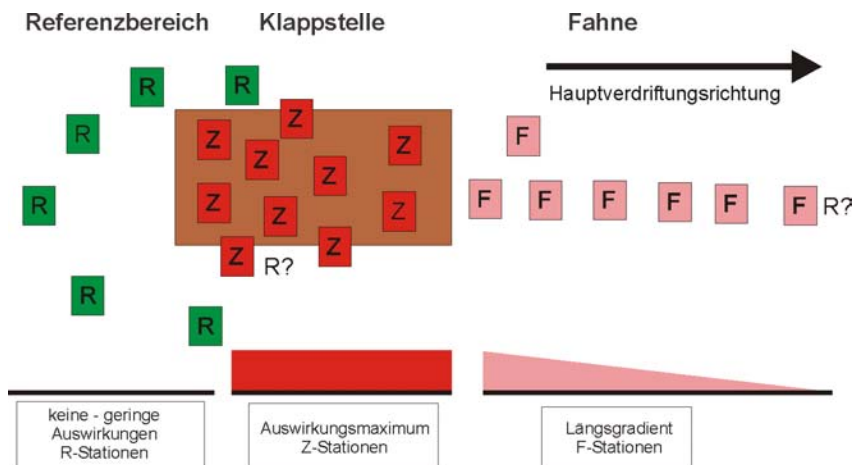


Abb. 60

Vereinfachte Darstellung der Arbeitshypothese (Z-F-R-Konzept) zu den Auswirkungen von Baggergutverklappung auf das Makrozoobenthos.

gilt, an denen ausreichend hohe Strömungen auftreten und eine Hauptdriftsrichtung des Materials (Fahne) annähernd bestimmbar ist.

Ein wichtiges Kriterium für die Qualität einer Makrozoobenthosuntersuchung ist neben der Probenahmetechnik der zugrundeliegende Datensatz und hier vor allem die Zahl der Stationen bzw. der Parallelproben. Als international anerkannter Probenahmestandard ist nach vorliegenden Erkenntnissen eine Beprobung mit einem Van-Veen-Greifer (0,1 m² Ausstichfläche) in Ästuarien als ausreichend anzusehen. Grundsätzlich muss die im Untersuchungsbereich vorhandene Biotopstruktur bei der Lage der Stationen und der Anzahl der Greiferproben berücksichtigt und im Einzelfall entschieden werden.

Auswertungskonzept

Das beschriebene Probenahmekonzept wurde im Rahmen der bisher durchgeführten Klappstellen-Untersuchungen entwickelt und aktuell in den HABAK-Untersuchungen im Weser- und Ems-Ästuar umgesetzt. Die Analyse der Daten erfolgte jeweils mit einer Reihe von Auswerteverfahren, wobei allen Analysen eine Gegenüberstellung auf Basis der einzelnen bzw. den zusammengefassten Stationen von Klappstelle- (Z), Fahne- (F) und Referenzbereich (R) an den verschiedenen Klappstellen zugrunde lag (Tab. 9). Hierbei gilt, je mehr Hinweise auf Unterschiede zwischen Klappstelle und Referenzbereich in der Vielfalt der Verfahren aufgezeigt werden können, desto deutlicher ist die Auswirkung der Verklappung auf das Makrozoobenthos zu erkennen und umgekehrt.

Auswerteverfahren

Als wichtige deskriptive Parameter sind Artenzahl, Diversität, Abundanz und Biomasse in verschiedenen Darstellungsformen (Gesamt, Gruppen- bzw. Art-Niveau) zur Charakterisierung der jeweiligen Klappstelle insgesamt sowie insbesondere zum Vergleich der Stationsgruppen (Z, F und R) analysiert worden.

Um den Faktor Erfassungszufälligkeit seltener Arten zu reduzieren und anhand der Arten mit hoher Erfassungswahrscheinlichkeit mögliche Verklappungswirkungen eindeutiger zu identifizieren, wurden in Bezug auf Vorkom-

menfrequenz und Abundanz so genannte stetige Arten definiert.

Die stetigen Arten sowie deren mittlere Abundanz als ein einbezogener quantitativer Aspekt im gesamten Untersuchungsgebiet fungierten zur Definition einer "Referenzzönose" mit der die Besiedlungsstruktur des Makrozoobenthos für die differenzierten Bereiche (Z, F, R) verglichen wurde. Dieser „Interne Referenzansatz“ ist angelehnt an das niederländische 'Amöbe-Verfahren'. Die Berücksichtigung einer Art in der internen Referenzzönose ist dabei an die Erfüllung folgender Voraussetzungen gekoppelt: Um zu gewährleisten, dass die Wahrscheinlichkeit nicht zu gering ist, eine Art auch mit der in Rahmen der Untersuchungen entnommenen Anzahl von Greifern zu erfassen, wurde eine Arten als stetig definiert, deren Vorkommensfrequenz bezogen auf alle entnommenen Proben >20% ist und zusätzlich eine mittlere Abundanz von mindestens ≥ 1 Ind./m² aufweist. Mit der internen Referenzzönose werden die nach dem methodischen Ansatz abgegrenzten Bereiche verglichen. So wird die mittlere Individuendichte/m² der in der Referenz aufgeführten stetigen Arten jeweils für die abgegrenzten Bereiche ermittelt. Die Abundanz einer Art je Bereich wird am für diese Art gültigen Referenzwert (=100%) 'gemessen'. Verglichen werden also die Mittelwerte einer Teilmenge (ein jeweiliger Bereich) mit den Mittelwerten der Gesamtmenge. Graphisch wird das Ergebnis durch die Darstellung von Kreisdeformationen vermittelt (Abb. 61).

Um Unterschiede zwischen den Stationen in Bezug auf Abundanzen und Biomassen statistisch abzusichern, wurden neben einfachen Diagramm-Vergleichen sowie Clusteranalysen auch univariate Signifikanztests (Median- und Wilcoxon-Tests) und ein multivariater Signifikanztest (ANOSIM) eingesetzt. Eine wesentliche Ergänzung stellen die so genannten Ordinationsverfahren dar. Während die durchgeführten Hauptkomponentenanalyse (PCA) und Korrespondenzanalyse (CA) das Variationsmuster der Arten-Abundanzstrukturen ohne Berücksichtigung von tatsächlich gemessenen Umweltparametern erfasst (die im Nachhinein zur Interpretation herangezogen werden können), erlaubt die Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA) eine Abschätzung, in welchem Maß bestimmte Umweltparameter die Variationsbreite der Benthosdaten erklären. Dabei werden Kombinationen von Umweltparametern berechnet und daraus die

Tabelle 9

Übersicht zu den Ergebnissen verschiedener statistischer Auswertungsmethoden zur Verdeutlichung von Auswirkungen durch Baggergutverklappung auf das Makrozoobenthos (HABAK Weser 1997 und HABAK Ems 1999; Klappstellen jeweils mit Angabe von Typ und ungefähre Menge der innerhalb eines Jahres verklappten Sedimente vor der Makrozoobenthosprobenahme). Unterschiede zwischen Referenzstationen versus Klappstelle- und Fahnestationen:

schwarzes - Rechteck: deutliche Hinweise auf verklappungsbedingte Veränderungen des Makrozoobenthos

weißes - Rechteck: keine erkennbaren Hinweise auf verklappungsbedingte Veränderungen des Makrozoobenthos

Feld nicht belegt: keine statistische Analyse durchgeführt

Parameter	Basis	Niveau	Verfahren	Weser			Ems		
				Klappstelle 1 Sand & Schlack 0,6 Mio m ²	Klappstelle 2 Sand 0,1 Mio m ²	Klappstelle 3 Schlick 0,5 Mio m ²	Klappstelle 5 Schlick 1,7 Mio m ²	Klappstelle 6 Sand & Schlack 1,9 Mio m ²	Klappstelle 7 Sand & Schlack 2,2 Mio m ²
Umwelt	Station	Sedimenttyp Glühverlust	Diagramm						
Artenzahl	Station	Art	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	Gruppe	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	stetige Art	Diagramm						
Diversität Dominanzstruktur	Station	Art	Diagramm						
	Station	stetige Art	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	Art	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	stetige Art	Diagramm						
Abundanz	Station	gesamt	Diagramm						
	Station	Art	ANOSIM						
	Station	Art	Cluster						
	Stationsgruppen Z-F-R	Gruppe	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	Gruppe	Tests						
	Stationsgruppen Z-F-R	stetige Art	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	stetige Art	Inteme Referenz						
	Probe	Art	PCA						
	Station	Art	PCA						
	Probe	Art	CA						
	Station	Art	CA						
	+ Umwelt	Station	Art	CCA					
Biomasse	Station	gesamt	Diagramm						
	Station	Art	ANOSIM						
	Station	Art	Cluster						
	Station	Art	ABC-Plot						
	Stationsgruppen Z-F-R	Gruppe	Diagramm						
	Stationsgruppen Z-F-R	Gruppe	Tests						
	Stationsgruppen Z-F-R	stetige Art	Diagramm						

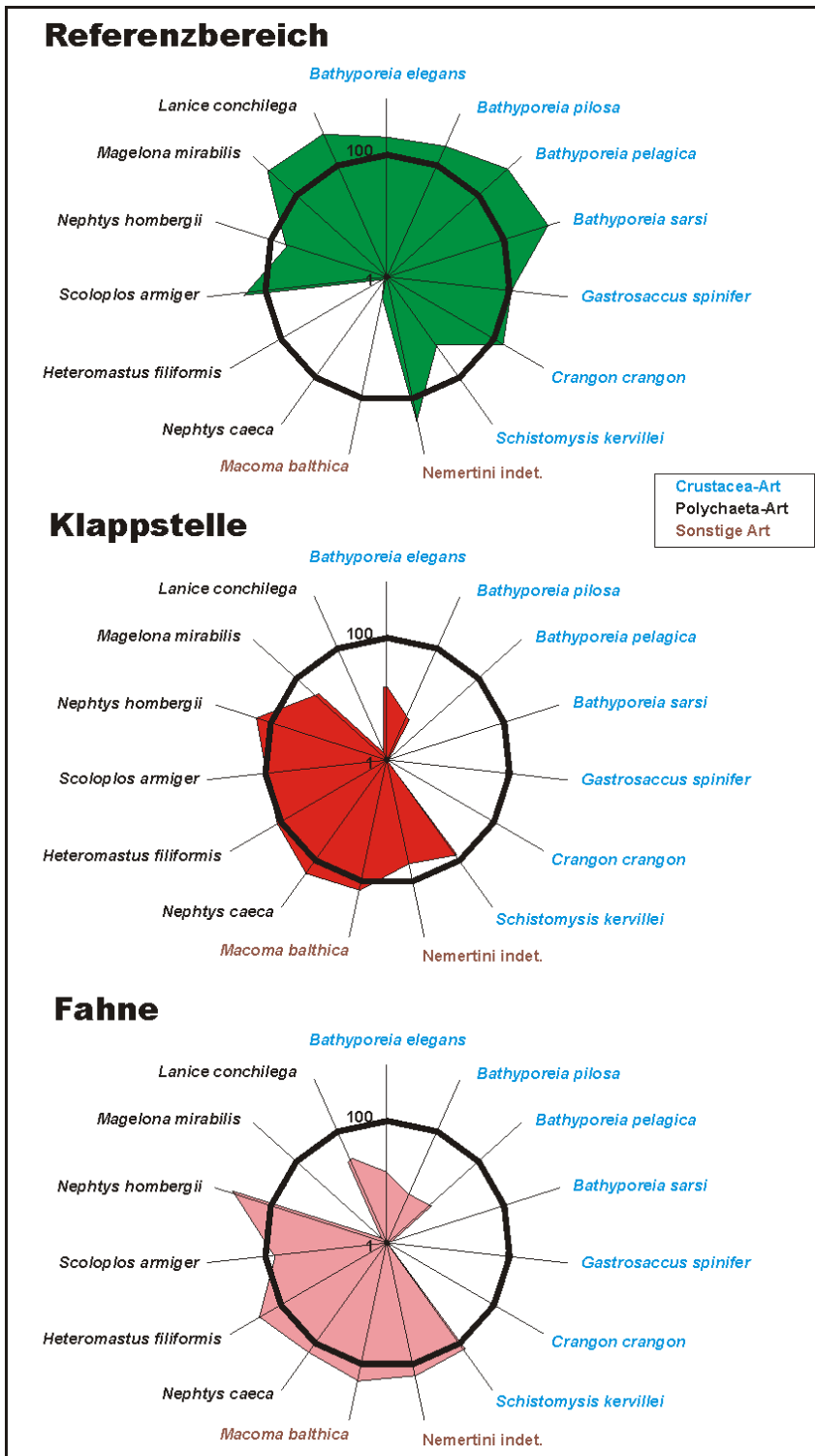


Abb. 61

Auswertungsmethode "Interne Referenz": Vergleich der Stationsgruppen Klappstelle, Fahne und Referenz anhand des Vorkommens stetiger Makrozoobenthos-Arten (HABAK Ems, Klappstelle 6). Erläuterung: Die Ähnlichkeit der Artenspektren zwischen Klappstelle und Fahne (dominiert durch Polychaeta) ist deutlich höher als deren Ähnlichkeit zu dem Referenzbereich (dominiert durch Crustacea), was als Hinweis auf verklappungsbedingte Veränderungen zu bewerten ist. Schwarzer Kreis = Referenzwert 100%.

Ordinationsachsen (= Achsen künstlicher Faktoren) gespannt. Die Analyse stellt eine multivariate Form der Regression dar, bei der die Arten-Abundanz-Daten als Funktion der vorgegebenen Umweltparameter modelliert werden. Die CCA dient dazu, den möglichen Einfluß der parallel zur faunistischen Probenahme erfassten Umweltparameter (Sedimenttyp, Sediment-Glühverlust, Wassertiefe) auf die Makrozoobenthosgemeinschaften transparent zu machen. Die für Arten dargestellten Punkte sind deren Optima im Gefüge der dargestellten Umweltparameter. Auch die Lage der Stationen in Abhängigkeit der Um-

weltparameter und der Arten-Abundanzstruktur ist in dieser Ordination dargestellt (Abb. 62).

Erste Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen zur **HABAK Außen-Weser** im Jahre 1997 wurde an drei Klappstellen das o.g. Probenahme-Konzept und die anschließende Auswertung der Daten zum Makrozoobenthos mit verschiedenen statistischen Verfahren angewendet (Tab. 1). Die Untersuchung bestätigte, auch im Vergleich mit vorlie-

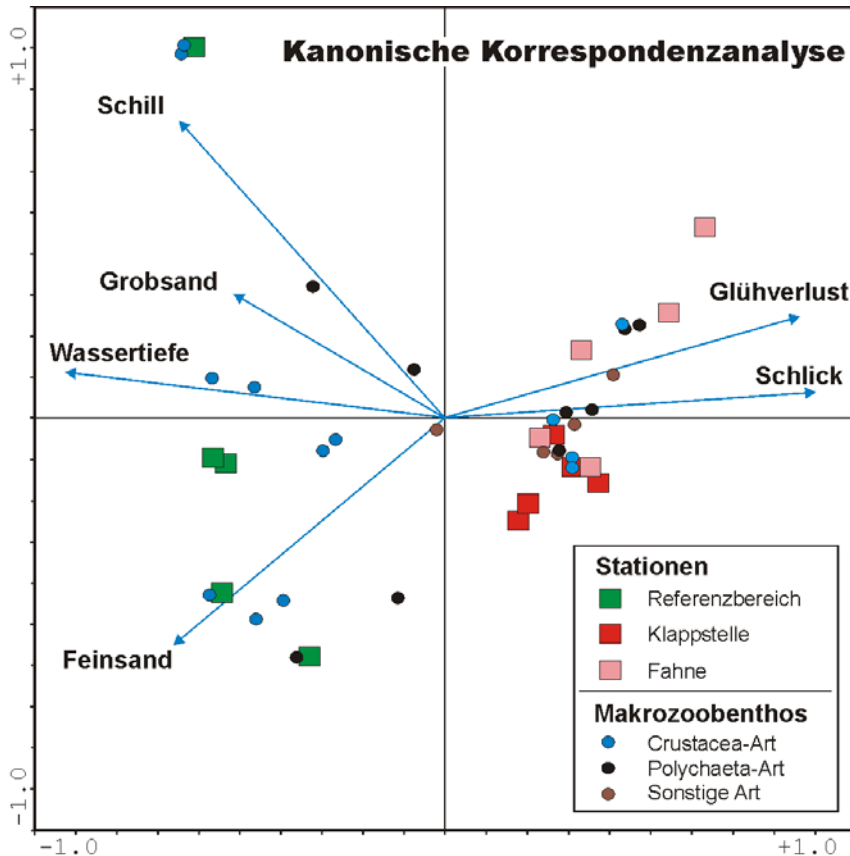


Abb. 62

Auswertungsmethode "Kanonische Korrespondenzanalyse": Zusammenhang von Artenzusammensetzung des Makrozoobenthos und Umweltparametern, Ordination der Stationen basierend auf den Abundanzdaten (HABAK Ems, Klappstelle 6). Erläuterung: In der Ordination sind Unterschiede der Arten und Stationen entsprechend den vorherrschenden Umweltparametern aufgeführt. Die Referenz-Stationen werden durch feinsandige, z.T. schillhaltige und grobsandige Sedimente gekennzeichnet, Fahne- und besonders Klappstellen-Stationen weisen dagegen verklappungsbedingt höhere Schlickgehalte und Glühverluste auf. Auf den abgebildeten Achsen (x- und y-Achse) werden 70,5% der Varianz in den Arten-Abundanzspektren auf die gegebenen Umweltparameter zurückgeführt und können somit als Hinweis auf verklappungsbedingte Veränderungen bewertet werden.

genden älteren Datensätzen, die bekannte große natürliche Variabilität der Besiedlung des Ästuars auf verschiedenen Raum- und Zeitskalen. Das gilt nicht nur für Abundanz und Biomasse, sondern besonders ausgeprägt auch für das Artenspektrum. Nur im Bereich der mit 0,6 Mio m³ Sand und Schlick relativ am stärksten beaufschlagten Klappstelle 1 liefert das angewendete Auswertungs-Konzept trotz der insgesamt großen Variabilität der Besiedlung einige Hinweise auf Beeinträchtigungen der Zönose. Dort sind, zumindest in Teilbereichen, Artenzahl und Dichte vermindert, eine deutliche Verarmung ist aber nicht zu beobachten. Ein schwächer ausgeprägtes Bild ist auch bei Klappstelle 3 zu beobachten; ein offensichtlicher Zusammenhang mit den Verklappungen scheint hier nicht gegeben, da die Interne Referenz keinen Effekt aufzeigt.

Bei der im Jahre 1999 durchgeführten Untersuchung zur **HABAK-Ems** wurde das Auswertungs-Konzept zum Makrozoobenthos weiterentwickelt und ergänzende statistische Verfahren angewendet. Bei der Auswertung der Klappstellen 5, 6 und 7 in Bezug auf Artenzahl, Individuenzahl, Diversität, Biomasse und Gemeinschaftsstrukturen wurden deutliche Unterschiede zwischen den Stationsgruppen der Klappstellen selbst, den Referenz- und den Fahnestationen sichtbar (Tab. 9). Besonders klar grenzten sich die Referenzstationen von den Fahne- und den eigentlichen Klappstellenstationen ab (Abb. 61). Die Besiedlungsstrukturen sind nach Ergebnissen aus der Kanonischen Korrespondenzanalyse (CCA) wesentlich

von den jeweiligen Sedimenten bedingt, deren Beschaffenheit sich im Bereich der Referenz (geringer Schlickanteil) im Vergleich zum Bereich Fahne/Klappstelle (hoher Schlickanteil) deutlich unterscheidet und ein Resultat der Baggergutverklappungen ist (Abb. 62).

Ein Vergleich der beiden HABAK-Untersuchungen zeigt, dass die Qualität und die Menge des auf die Klappstellen verbrachten Materials wesentlich Art und Ausmaß der Beeinträchtigungen der benthischen Zönose beeinflusst. So ist im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen ab einer jährlichen Verbringung von über 1/2 Mio m³ Sand und Schlick zumindest im Weser- und Ems-Ästuar mit ersten nachweisbaren Auswirkungen beim Makrozoobenthos im Bereich der Klappstelle und in der Hauptverdriftungsrichtung zu rechnen.

Fazit

Damit mit Baggergut in Zukunft unter Beachtung ökologischer Belange wirtschaftlicher umgegangen werden kann, ist es als erstes notwendig, mögliche Wirkungen der Verklappung von Baggergut unterschiedlicher Herkunft auf definierten Klappstellen zu dokumentieren bzw. die Arbeitshypothese, dass solche Wirkungen vorhanden sind, zurückzuweisen, wenn keine Wirkungen gefunden werden. Die Möglichkeiten und Grenzen der Identifikation von Störungen benthischer Zönosen durch

Verklappungen werden aber entscheidend durch die angewendete Methodik der Probenahme und Auswertung beeinflusst.

Durch die im Rahmen aktueller HABAK-Untersuchungen umgesetzten Konzepte ist es gelungen, die bekannten Schwierigkeiten der Dokumentation relativ „geringer“ und temporärer anthropogener Beeinträchtigungen beim Makrozoobenthos und ihre Trennung von der natürlichen Variabilität in den besonders dynamischen Küsten-Ökosystemen einzugrenzen. Durch die parallele Anwendung verschiedener Auswertungs- und Darstellungsverfahren konnten neben möglichen Störungssignalen wesentliche ökologische Auswirkungen gezielt erkannt und bei der Dateninterpretation und Diskussion entsprechend berücksichtigt werden.

Ziel ist es, durch Prüfung und Weiterentwicklung statistischer sowie ökologischer Auswerteverfahren ein umfassendes Auswertungstool für die Beantwortung der Frage „Gibt es ökologische Auswirkungen durch die Verklappung?“ zu erstellen. Die gewonnenen Erkenntnisse werden dann ein ökologisch optimiertes Klappstellenmanagement ermöglichen.

S. Nehring und H. Leuchs