

Sonderdruck aus:

Supplement 6

ISSN 0946-2015

Deutsche Hydrographische Zeitschrift German Journal of Hydrography

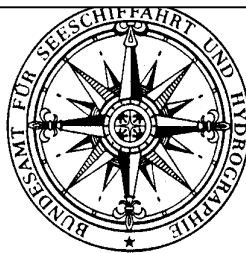
Aktuelle Probleme der Meeresumwelt

Vorträge des 6. Wissenschaftlichen Symposiums

14. und 15. Mai 1996 in Hamburg

Auswirkungen von Baggern und Verklappen auf das Makrozoobenthos im Küstenbereich – Dargestellt an einem Beispiel aus dem Elbeästuar

Heiko Leuchs und Stefan Nehring



Hamburg · Rostock 1996

Auswirkungen von Baggern und Verklappen auf das Makrozoobenthos im Küstenbereich – Dargestellt an einem Beispiel aus dem Elbeästuar

Heiko Leuchs und Stefan Nehring

Zusammenfassung

Seit Eröffnung des Nord-Ostsee-Kanals im Jahre 1895 wird im Bereich der Schleusen Brunsbüttel und des Binnenhafens Schlick gebaggert und umgelagert, wobei das Baggergut fast täglich immer etwa in dem gleichen Gebiet der Elbe wieder eingebracht wird. Die Verklappung von Schlick, die im ausgewiesenen Klappstellenbereich nur am östlichen Rande stattfindet, zeigt Auswirkungen in der Besiedlung des Makrozoobenthos in beide Strömungsrichtungen von ca. 1000 m. So zeigen benthosbiologische Untersuchungen für den gesamten Bereich dieser ca. 1 km langen Dauerklappstelle eine im Vergleich zu flußabwärts gelegenen, westlichen Referenzstationen verarmte Makrofaunengemeinschaft. In den flußauf und dem Verklappungsort nah gelegenen östlichen Referenzstationen wurden gleiche geringe Artenanzahlen und Individuendichten wie im Klappstellenbereich selbst festgestellt. Unter Berücksichtigung aller möglichen Einflußfaktoren bleiben nur die Klappaktivitäten als Erklärung für die Beeinträchtigungen des Makrozoobenthos im Klappstellenbereich und zumindest auch für den östlich gelegenen Nahbereich. Bedingt durch die Häufigkeit der Verklappung dürfte die makrobenthische Fauna des direkt beeinflussten Bereiches in einem Stadium der ständigen Wiederbesiedlung mit nur wenigen raschwüchsigen und vermehrungsfreudigen Arten (*Marezzelleria viridis*, *Neomysis integer*) verbleiben. Eine dauerhafte Ansiedlung langlebiger Arten ist im Klappstellenbereich nicht zu erwarten.

Effects of dredging and dumping on macrozoobenthos in coastal areas – represented by an example from the Elbe estuary (Summary)

Since the opening of the Kiel Canal in 1895, mud has been dredged routinely from the Brunsbüttel locks and the inland port and dumped almost daily in more or less the same area of the Elbe river. The dumping, which is limited to the eastern boundary of the official dumping site, has a proven impact on macrozoobenthos in an area extending about 1000 m upstream and downstream from the dumping site. An investigation of benthos showed an impoverished macrobenthic fauna throughout the 1000 m dumping area, in comparison with downstream reference stations. At the upstream reference station close to the dumping site, located east of it, the number of species and individuals was found to be reduced to about the same levels as at the dumping site itself. Taking into account all potential factors, only the dumping activities can explain this impoverishment, particularly with respect to the area east of the dumping site. Because of the frequent dumping, the macrobenthic fauna is expected to remain in a stage of continual recolonization with few, rapidly growing species having high reproduction rates (*Marezzelleria viridis*, *Neomysis integer*). Permanent colonization with long-lived species in the dumping area is not to be expected.

1 Einleitung

Durch die tidebedingten, natürlichen Sedimentumlagerungen im Küstenbereich findet ständig ein erheblicher Sedimenteintrag in die Fahrrinnen zu den großen Hafenzufahrten statt. Im Rahmen der Unterhaltung muß dieser Eintrag entfernt werden, um die garantierte Fahrwassertiefe vorzuhalten. In den deutschen Seeschiffahrtsstraßen der Nordsee werden auf diese Weise jährlich etwa 30–50 Mio. m³ bewegt (Tab. 1). Zur Einschätzung dieser Auswirkungen wurden diese Mengen mit natürlich umgelagerten Mengen verglichen. Doch darf man dies? Untersuchungen aus anderen Ländern haben gezeigt, daß Verklappungen größerer Mengen in einem kurzen Zeitraum einen erheblichen und nachhaltigen Einfluß auf das Makrozoobenthos haben können. Die Übertragung dieser Ergebnisse auf die Verhältnisse der Unterhaltungsbaggerei ist aber nicht so ohne weiteres möglich, selbst wenn man vergleichbare Lebensraumverhältnisse vorfindet, da die Verklappungen bei der Unterhaltungsbaggerei regelmäßiger und längerfristiger stattfinden (z. B. Hellmann [1996]). Dies kann bedeuten, daß Bagger wie im Bereich Brunsbüttel täglich mehrfach im Einsatz sind und entsprechend häufig verklappt wird.

Tabelle 1

**Fahrwasserunterhaltungsbaggerungen 1979 – 1995 in den deutschen Seeschifffahrtsstraßen
(Nordsee): Ems, Jade, Weser, Elbe und Nord-Ostsee-Kanal (in Mio. m³).
(Quelle: AKN [1991 und 1996])**

Jahr	Ems	Jade	Weser	Elbe	NOK	Σ
1979	6,5	7,3	5,1	9,8	4,4	33,5
1980	9,4	7,5	6,0	10,3	5,4	38,6
1981	6,9	8,5	5,3	13,2	5,2	39,1
1982	6,4	8,1	5,3	16,5	5,6	41,8
1983	6,5	6,0	4,7	15,2	7,8	40,1
1984	6,0	5,4	3,3	10,6	8,0	33,4
1985	5,8	3,4	2,6	11,5	6,3	29,7
1986	5,2	6,6	1,7	10,9	6,5	30,9
1987	6,5	8,6	1,4	9,5	4,7	30,7
1988	7,9	7,6	1,3	11,6	6,1	34,5
1989	5,8	11,0	1,8	12,7	7,4	38,7
1990	5,8	13,8	1,7	15,4	7,0	43,7
1991	6,3	10,2	1,7	16,4	7,7	42,4
1992	7,0	10,3	1,7	10,5	7,6	37,2
1993	8,2	14,5	1,8	15,8	9,4	49,7
1994	10,6	13,6	1,3	13,3	7,6	46,4
1995	9,2	11,0	1,6	11,7	7,1	41,0
(79–95)	7,1	9,0	2,8	12,6	6,7	38,3
(91–95)	8,3	11,9	1,6	13,5	7,9	43,3

Als Ergebnis internationaler Vereinbarungen wurde für den Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung die „Handlungsanweisung zur Unterbringung von Baggergut im Küstenbereich (HABAK-WSV)“ (BfG [1992]) entwickelt. Zweck dieser HABAK ist es, Informationen zur Bewertung möglicher ökologischer Folgen zu erhalten, die durch die Ablagerung des Baggergutes verursacht werden. Eine erste Pilotstudie der BfG zur Anwendung der HABAK 1993 im Ems-Ästuar hat gezeigt, daß Verklappungen auch unbelasteter Sedimente durchaus einen deutlichen Einfluß auf die Benthofauna haben können (Nehring und Leuchs [1996a]). Für den Bereich der Dauerklappstelle Brunsbüttel im Elbe-Ästuar wurde durch die BfG 1994 ein weiteres Pilotprojekt durchgeführt (BfG [1995]), deren faunistische Erhebungen zur Makrozoobenthosbesiedlung eine Beurteilung der Auswirkungen von kontinuierlicher Verklappung schlickiger Sedimente auf die Bodenfauna ermöglichen sollten. Erkenntnisse aus dieser Untersuchung ergänzt durch eine weitere Makrozoobenthosaufnahme in 1995 werden im Folgenden vorgestellt.

2 Die Dauerklappstelle Brunsbüttel

Seit Eröffnung des Nord-Ostsee-Kanals im Jahre 1895 wird im Bereich der Schleusen Brunsbüttel und des Binnenhafens gebaggert und umgelagert, wobei das Baggergut immer etwa in dem gleichen Gebiet der Elbe (soweit keine Landlagerung stattfand) wieder eingebracht wurde. In den letzten 10 Jahren wurden mit dem Hopperbagger „Wilhelm Krüger“ umgerechnet auf die Dichte 1,2 t/m³ zwischen 4,7 und 9,4 Mio. m³/a im Schleusenbereich Brunsbüttel gebaggert und der Elbe bei km 700 wieder zugeführt (ca. 2/3 des gesamten Baggergutes wird dabei an Dauerklappstelle Brunsbüttel verklappt, ca. 1/3 wird über Rohrleitung verspült) (AKN [1996]). Die theoretische Aufschlickungsrate im Neuen Vorhafen wird vom WSA Bruns-

büttel für 1977 bis 1993 im Jahresmittel mit 21,3 m³/a angegeben (vgl. BfG [1995]). Diese erheblichen Schlickmengen stammen ausschließlich aus dem Schwebstoffregime der Elbe, das heißt, es findet ein permanenter Feststoffkreislauf (Eintrieb, Ablagerung, Baggerung, Verklappung/Verspülung) statt. Die Wiederholungshäufigkeit des Baggerns beträgt für fast alle zu baggernden Bereiche im Normalbetrieb ca. 1–4 Tage. Die Klappstelle wird hierbei mehrmals täglich angefahren.

3 Verfahren und Probenahme

3.1 Benthos

Am 28. 3. 94 wurden Erhebungen des sublitoralen Makrozoobenthos in der Elbe bei Brunsbüttel (Elbe-km 700–706) durchgeführt. Neben fünf Stationen im unmittelbaren Klappstellenbereich (Stat. K1–K5) wurden in Anlehnung an das Stationsraster der sedimentologischen Untersuchungen der BfG [1995] sieben weitere, flußabwärts gelegene Stationen (W1–W7) im Hangbereich zwischen der Klappstelle und dem Neufelder Sand beprobt. Ergänzend wurden am 25./26. 10. 1995 an fünf flußaufwärts gelegenen Stationen (O1–O5) im Hangbereich zwischen der Klappstelle und der Zufahrt zur Schleuse Brunsbüttel Proben genommen (Abb. 1).

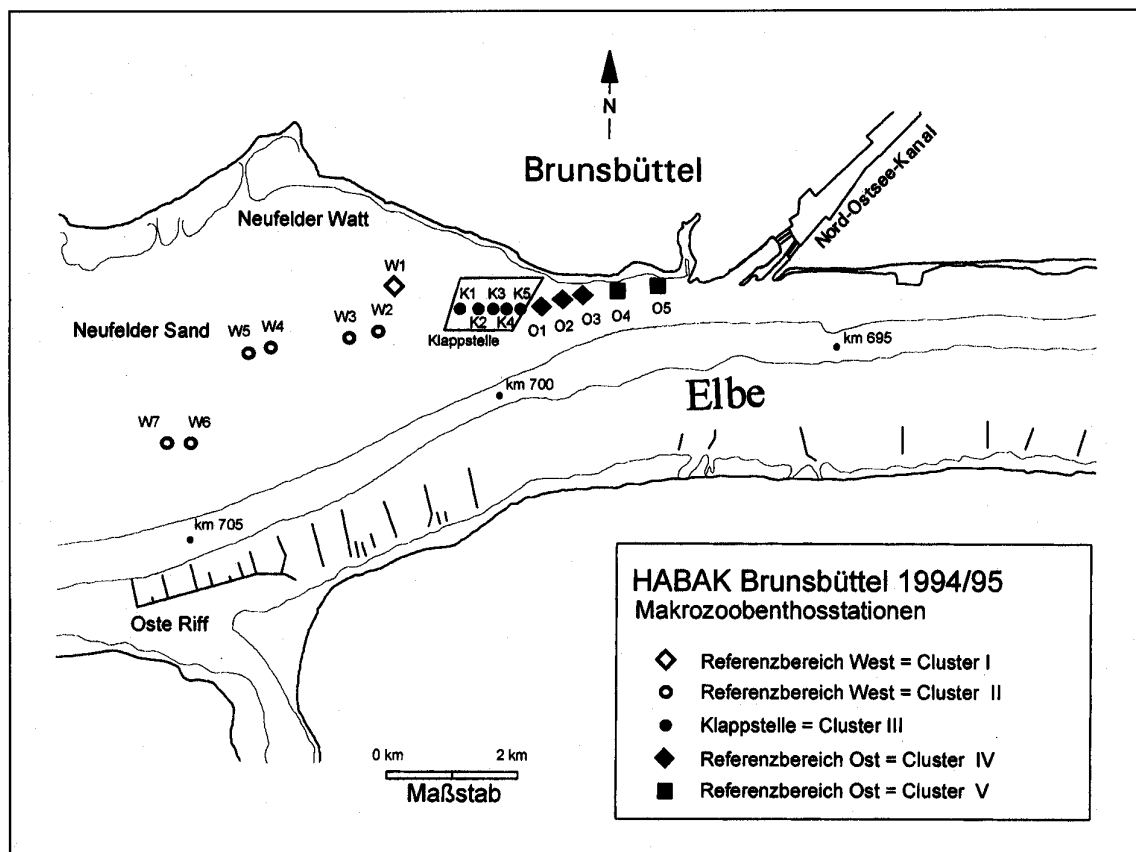


Abb. 1: Lageplan der Untersuchungsgebiete sowie Zuordnung der Benthosstationen zu Stationsgruppen nach Resultaten der Clusteranalyse. Referenzbereich West: Offene Raute = Cluster I (Stat. W1), Offener Kreis = Cluster II (Stat. W2–W7). Klappstelle: gefüllter Kreis = Cluster III (Stat. K1–K4) und die isolierte Klappstellenstation K5. Referenzbereich Ost: gefüllte Raute = Cluster IV (Stat. O1–O3), gefülltes Quadrat = Cluster V (Stat. O4–O5).

Pro Station wurden drei Parallelproben mit einem 0,1 m² van-Veen-Greifer (60 kg) entnommen und zur Abtrennung der Makrofauna über 0,5 mm Maschenweite geseibt. Anhand der Benthosbesiedlung wurde die Ähnlichkeit der Stationen untereinander mit Hilfe multivariater Datenanalyseverfahren ermittelt. Diese Auswertungen wurden mit dem speziell für die Bearbeitung marinbiologischer Datensätze vom Plymouth Marine Laboratory, Großbritannien entwickelten Statistikprogrammpaket „Primer“ durchgeführt. Im Gegensatz zu einer ersten Analyse, wo nur stetige Arten (mindestens in zwei Greifern pro Station vertreten) sowie nur die Stationen K1–K5 und W1–W7 berücksichtigt worden sind (vgl. Leuchs et al. [1996]), umfaßt die hier vorgestellte Auswertung alle gefundenen Arten sowie auch die Stationen O1–O5. In der Hauptaussage bezüglich Klappstelle und Referenzbereich West unterscheiden sich jedoch beide Arten der Auswertung kaum voneinander.

Die eingebrachten Sedimente wurden grob visuell angesprochen. In Benthosproben aus dem Bereich der Klappstelle wurde einheitlich fester, schwarzer Schlick, z. T. mit Miesmuschelschill angetroffen. Mit zunehmender Entfernung von der Klappstelle nahmen flußabwärts die Feinsandanteile bzw. flußaufwärts der Kleianteil im Sediment zu. Auf den Stationen W5, W6 und W7 wurde fast reiner Feinsand gefunden. Detailliertere Untersuchungen der BfG [1995] zur Sedimentzusammensetzung im Untersuchungsgebiet führten zu analogen Resultaten.

3.2 Photodokumentation – 'REMOTS'

Die REMOTS-Sedimentprofilkamera ermöglicht eine photographische Dokumentation der oberen Zentimeter des Gewässerbodens im Profilanschnitt. Diese Technologie, von Rhoads und Germano [1987] entwickelt, wird zunehmend in Monitoringprogrammen vor allem zur Beurteilung anthropogener Einflüsse auf das Sediment und ihrer Biota genutzt (Rumohr [1995]; Rumohr und Schomann [1992]).

Eine modifizierte REMOTS-Kamera, mit der Zeitserien erstellt werden können (vgl. Nehring und Leuchs [1996b]), wurde von der BfG in Zusammenarbeit mit dem IFM Kiel (AG Dr. Rumohr) am 7. Juni 1995 an der Dauerklappstelle Brunsbüttel (53° 53,23' N, 09° 05,46' E) nahe der Benthosstation K5 eingesetzt (Abb. 4). Ziel dieses Einsatzes war eine Fotodokumentation von möglichen Sedimentationsereignissen bei der Verklappung von Baggergut aus dem Bereich der Schleuse Brunsbüttel mit dem Hopperbagger „Wilhelm Krüger“.

4 Ergebnisse

4.1 Benthosuntersuchung

Die Klappstelle liegt in der b-mixo-mesohalinen Zone der Elbe (Caspers [1959]), einem Gebiet, in dem natürlicherweise wenige anpassungsfähige Arten leben. Insgesamt wurden 28 Arten und höhere Taxa der Makrofauna identifiziert. Arten der Roten Listen (Rachor et al. [1995]) wurden nicht nachgewiesen.

Die Artenzusammensetzung ähnelt dem von Leling [1986] und Nehring und Leuchs [im Druck] gefundenen Artenspektrum in diesem Bereich der Elbe. Bemerkenswert ist die weitläufige Besiedlung von *Marenzelleria viridis* (Polychaeta) im Untersuchungsgebiet, eine erst Anfang der achtziger Jahre dieses Jahrhunderts mit Ballastwasser aus Nord-Amerika in die europäischen Gewässer eingeschleppte Art (Essink und Kleef [1993]). Leling konnte diese Art (als *M. wireni* bestimmt) erstmalig 1985, jedoch in geringeren Abundanzen, für das Elbe-Ästuar nachweisen. Durch das neue Monitoring-Programm der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (BfG) zum Makrozoobenthosbestand in den deutschen Nordsee-Ästuarien konnte bei der erstmaligen Durchführung im Herbst 1995 gezeigt werden, daß sich *M. viridis* in der Ems und vor allem in der Weser und Elbe sehr gut etabliert hat (Nehring und Leuchs [im Druck]).

Die Gesamtzahl nachgewiesener Taxa pro Station war an Klappstellenstationen (Stat. K1–K5) im Vergleich zu Stationen außerhalb der Klappstelle mit Ausnahme der ersten drei östlich gelegenen Referenzstationen (O1–O3) deutlich niedriger (Abb. 2).

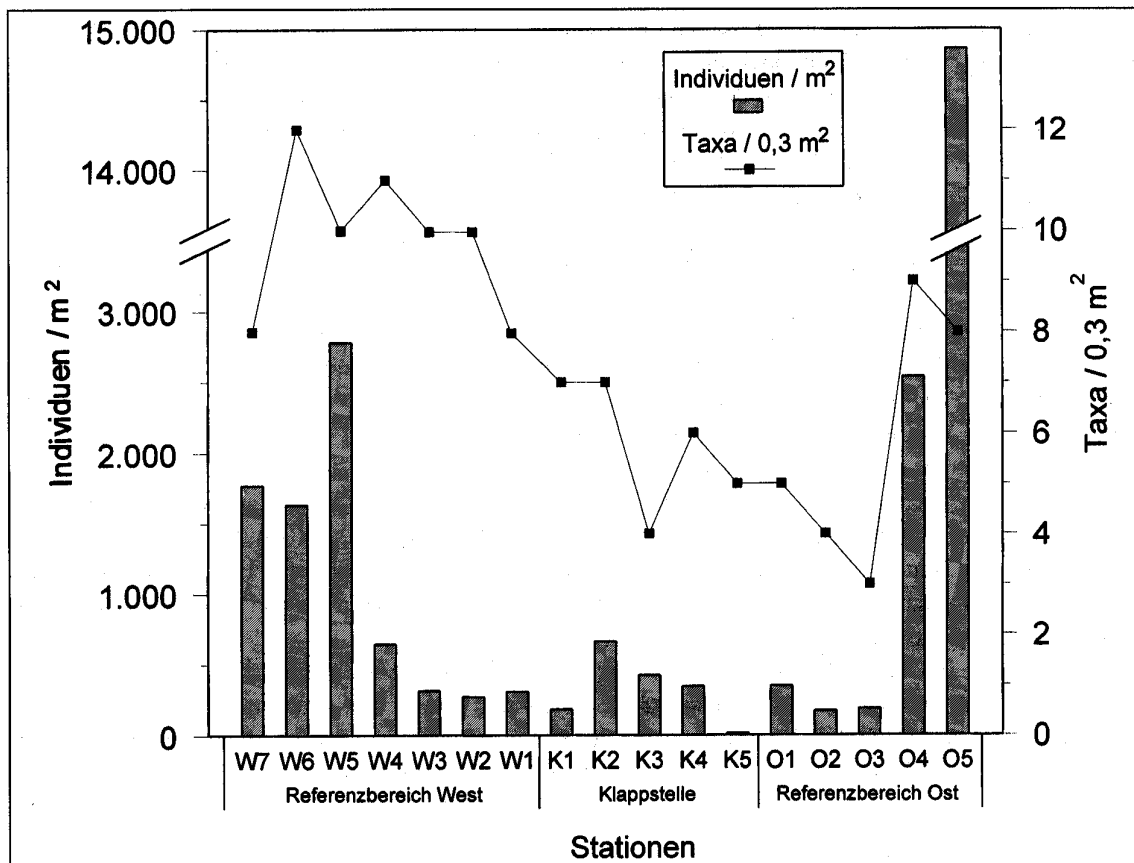


Abb. 2: Gesamtindividuenzahlen/m² und Anzahl nachgewiesener Taxa/0,3 m² in Klappstellen- und Referenzstationen.

Trotz großer Ähnlichkeit der Stationen untereinander läßt die Clusteranalyse eine Differenzierung zwischen den Stationen aus dem Bereich der Klappstelle einerseits und den Referenzstationen andererseits erkennen (Abb. 3). Es werden 5 Stationsgruppen (Cluster) unterschieden, denen die Stationen so zugeordnet sind, daß sich eine räumlich klare Trennung ergibt (Abb. 1).

Cluster I im „Referenzbereich West“ umfaßt nur die nahe an der Klappstelle gelegene Referenzstation W1. Mit 633 Individuen/m² lag die Besiedlungsdichte in der gleichen Größenordnung wie auch auf den Klappstellenstationen K1–K4, jedoch verbergen sich hinter der annähernd gleichen Anzahl an Arten verschiedene Spezies. Aber auch gegenüber den von den Grundwerten her sehr ähnlichen Stationen W2 und W3 sind auf Artniveau grundsätzliche Unterschiede zu erkennen.

Cluster II im „Referenzbereich West“ umfaßt die weiter flußabwärts von der Klappstelle gelegenen Stationen W2–W7, bei einer Ähnlichkeit von 65%. Die Individuenzahl nimmt von 633 Ind./m² an Stat. W2 auf 2944 Ind./m² an Stat. W5 kontinuierlich zu und beträgt an den beiden am weitesten im Westen gelegenen Stationen ca. 1870 Ind./m². In dieser Stationsgruppe entfielen ca. 60% auf die Borstenwürmer (*Polychaeta*) mit *Marenzelleria viridis* als dominanter Art. Die Fadenwürmer (*Nematoda*) stellten ca. 25%, gefolgt von den Flohkrebse (*Amphipoda*) mit ca. 17%. Der Anteil der Wenigborstigen Würmer (*Oligochaeta*) lag bei weniger als 1%. Gleiches gilt für weitere, unter dem Begriff „Sonstige“ zusammengefaßte taxonomische Gruppen.

Da die in Cluster I und II zusammengefaßten Referenzstationen über eine Strecke von ca. 5 km verteilt sind und die Sedimentverhältnisse in diesem Bereich z. T. deutlich variieren, liegt die Ähnlichkeit aller Referenzstationen untereinander nur bei 52%.

Dem **Cluster III** („Klappstelle“) werden die Klappstellenstationen K1–K4 zugeordnet (57% Ähnlichkeit). Die durchschnittliche Individuenzahl war hier mit 500 Ind./m² etwa gleich hoch wie im benachbarten Cluster I sowie an den Stat. W2–W4 des Clusters II. Die Verteilung der Individuen auf die taxonomischen Gruppen unterschied sich deutlich von den Verhältnissen im Referenzbereich West und an den Stationen O4 und O5: Die Polychaeten stellten mit hauptsächlich juvenilen *Marenzelleria viridis* als dominanter Art 94,5% der Individuen. Die *Oligochaeten* waren mit 3,9% vertreten. *Amphipoden* und *Nematoden* stellten jeweils weniger als 1%.

Cluster IV im „Referenzbereich Ost“ umfaßt die nahe an der Klappstelle gelegenen Referenzstationen O1–O3, bei einer Ähnlichkeit von 74%. Mit durchschnittlich 227 Individuen/m² lag die Besiedlungsdichte deutlich niedriger als auf den Klappstellenstationen K1–K4. Die Biozönose wurde aber auch hier hauptsächlich von *Marenzelleria viridis* dominiert. Die Artenanzahl hatte mit nur 3 Arten auf Stat. O3 den niedrigsten Wert aller untersuchten Stationen. Von den Arten aus der Klappstelle fanden sich hier aber nur *Marenzelleria viridis* und *Bathyporeia pilosa*, alle anderen Arten (z.B. *Neomysis integer*, *Mesopodopsis slabberi*) kamen sonst nur noch auf den Stationen O4 und O5 vor.

Cluster V im „Referenzbereich Ost“ umfaßt die weiter östlich von Cluster IV gelegenen Stationen O4 und O5, bei einer Ähnlichkeit von 71%. Die Individuenzahl nimmt von 2540 Ind./m³ an Stat. O4 auf 14.863 Ind./m² an Stat. O5 stark zu. Auch an diesen beiden Stationen ist *Marenzelleria viridis* vertreten, spielt aber nur eine untergeordnete Rolle. Dominiert wird dieser Bereich durch den Polychaeten *Boccardia redeki*, der ca. 90% der Individuen stellte.

Obgleich die in Cluster IV und V zusammengefaßten Referenzstationen nur über eine Strecke von ca. 2 km verteilt sind, liegt die Ähnlichkeit aller Referenzstationen untereinander nur bei 27%. Dies begründet sich vor allem in den deutlichen Unterschieden in der Sedimentzusammensetzung, die primär die Artenzusammensetzung bestimmt. Liegt auf den Stationen O1–O3 vor allem feinsandiger Schlick vor, besteht Station O4 aus Klei mit nur einer 3–4 cm starken Schlickauflage und Station O5 aus verfestigtem Klei mit groben Detritus.

Wie das Dendrogramm der Clusteranalyse (Abb. 3) zeigt, steht die Station W1 den übrigen Stationen im Referenzbereich West isoliert gegenüber. Die Sonderstellung der Besiedlung von Station W1 begründet sich wahrscheinlich aus ihrer geringeren Wassertiefe verbunden mit einer näheren Lage zum Neufelder Watt. Auswirkungen durch die Klappaktivitäten sind aus der vorhandenen Datenlage nicht zu belegen.

Weiter zeigt das Dendrogramm, daß die Klappstellenstation K5 den übrigen Stationen in der Klappstelle und auch denen im Referenzbereich West isoliert gegenübersteht. In zwei Proben der Station K5 lagen insgesamt lediglich fünf durch Einzelfunde vertretene Taxa vor. Das Sediment einer dritten Probe erwies sich hier als gänzlich frei von Makrozoen. Kein Taxon war in mehr als einer Probe dieser Station präsent.

Auffällig ist, daß die im Referenzbereich Ost liegenden Stationen nur eine Ähnlichkeit von 23% mit allen anderen Stationen aufweisen. Dies liegt vor allem in der Artenzusammensetzung und für Station O4 und O5 zusätzlich in der Individuendichte begründet. Da die Untersuchung in diesem Referenzbereich im Herbst 1995 stattfand, alle anderen Daten aber aus dem Frühjahr 1994 stammen, ist ein saisonaler/annueller Einfluß nicht auszuschließen. Zusätzlich kann aber auch im Vergleich zu den Stationen in der Klappstelle und im Referenzbereich West der vor allem bei den Stat. O4 und O5 vorhandene viel steilere Hang verbunden mit der viel näheren Lage zum Ufer und ihren damit verbundenen morphologisch/hydrologischen Besonderheiten zu diesen Unterschieden geführt haben.

Zur Validierung der Clusteranalysen wurden die Datensätze ebenfalls mit Hilfe der Multidimensionalen Skalierung untersucht. Auch dieses Verfahren zeigte eine klare Abgrenzung der Klappstellenstationen von den Referenzstationen.

Die Unterschiede in der Besiedlungsstruktur konnten durch Darstellung der Rang – Häufigkeitsverteilungen nach der Methode von Lambhead et al. [1983] für die fünf Cluster weiter verdeutlicht werden. Die relativen Anteile der einzelnen Taxa an der Gesamtindividuenzahl wurden hier kumulativ gegen die ihrer Dominanz entsprechende Rangfolge aufgetragen. In Cluster III (Klappstelle) und Cluster IV (nahe Referenzbereich Ost) ergab sich bei einer relativen Artenarmut eine extrem einseitige Verteilung der Individuen auf die Arten. Derartig einseitige Verteilungen sind typisch für Daten aus frühen Sukzessionsstadien und unwirtlichen Lebensräumen (Gray [1984]). Demgegenüber zeigen die Kurven für die durch Referenz-

renzstationen gebildeten Cluster I und II bei einer größeren Artenvielfalt eine weniger einseitige Häufigkeitsverteilung. Cluster V (entfernter Referenzbereich) zeigte trotz größerer Artenvielfalt aufgrund der starken Dominanz einer Tierart eine einseitige Häufigkeitsverteilung.

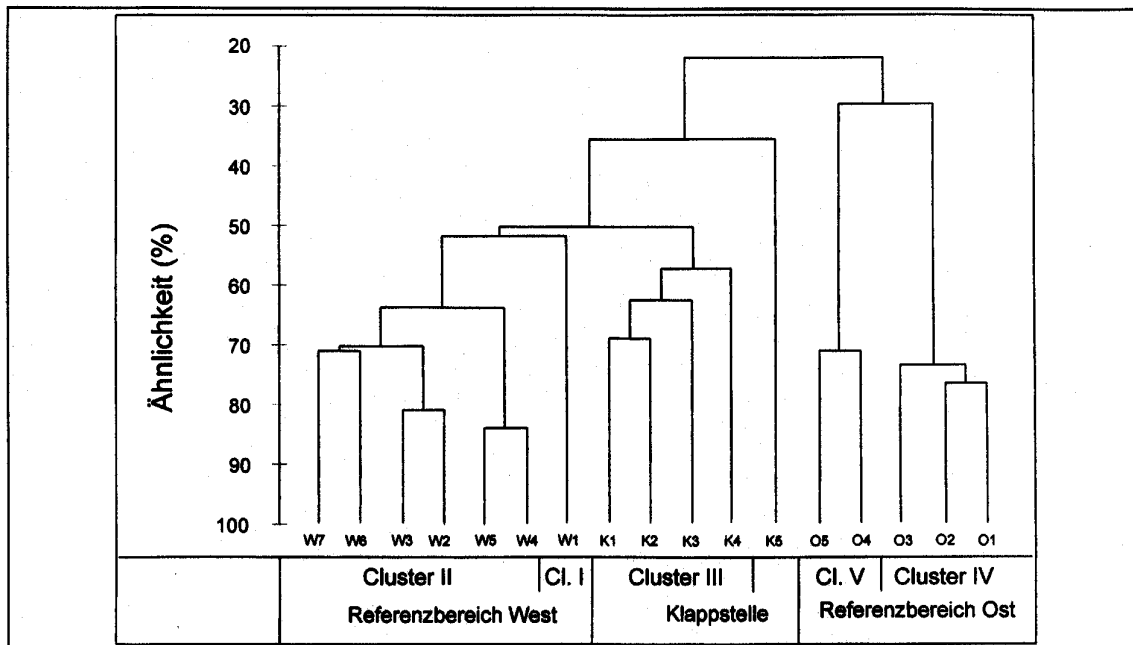


Abb. 3: Dendrogramm der Clusteranalyse. Die Originaldaten wurden um den Einfluß von Extremwerten zu minimieren mit $\sqrt[4]{}$ transformiert. Ähnlichkeiten zwischen Stationen wurden an Hand des Bray-Curtis Koeffizienten (Bray und Curtis [1957]) berechnet.

4.2 Dokumentation von Sedimentationsereignissen nach Verklappung

Vor der Verklappung ist ein einheitliches Sediment auch an der homogenen Färbung zu erkennen. Die Sedimentoberfläche zeigt sich durch eine helle Kante (Abb. 4B).

Etwa 30 min. nach Kenterzeit bei auflaufend Wasser mit einer geschätzten Strömungsgeschwindigkeit von 0,5 m/sec wurden durch den ca. 80 m flußabwärts entfernten Hopperbagger innerhalb von 2,5 min 2000 m³ Schlack verklappt.

Drei Minuten nach Klappbeginn konnten durch die starke Trübungserhöhung an der Sohle über die Videokamera kein Blitz der Spiegelreflexkamera sowie kein Licht der Videoscheinwerfer mehr beobachtet werden. Erst 8 min später wurde das Scheinwerferlicht sowie weitere 5 min später auch der Blitz wieder am Kontrollmonitor erkannt.

Die Analyse der REMOTS-Photographien ergab für den Zustand bis 3 min nach Klappbeginn keine Veränderung an der Sedimentoberfläche. 5 min nach Klappbeginn konnte die erste Schlicksedimentation festgestellt werden (Abb. 4C). Innerhalb der nächsten 8 min kam es zu einer kontinuierlichen Aufschlickung von bis zu 2 cm (Abb. 4D). Weitere 5 min später waren Auskolkungen festzustellen, die sich innerhalb der nächsten 10 min weiter verstärkten. Die Auskolkungen waren höchstwahrscheinlich durch ein Umstürzen des REMOTS-Gestells bedingt, was durch das schwojende Schiff ausgelöst wurde. Durch den Einsatz der REMOTS (Photodokumentation) konnte gezeigt werden, daß innerhalb der Dauerklappstelle Brunsbüttel

1. die Verklappung eine starke Erhöhung der Trübung an der Gewässersohle zur Folge hat und
2. das Klappgut sedimentiert und im vorliegenden Fall für mindestens 20 min nachzuweisen war.

Zur Überprüfung der gewonnenen Erkenntnisse sowie zur besseren Einschätzung der zeitlichen Dauer der Ablagerungen befinden sich z. Zt weitere REMOTS-Untersuchungen in Planung.

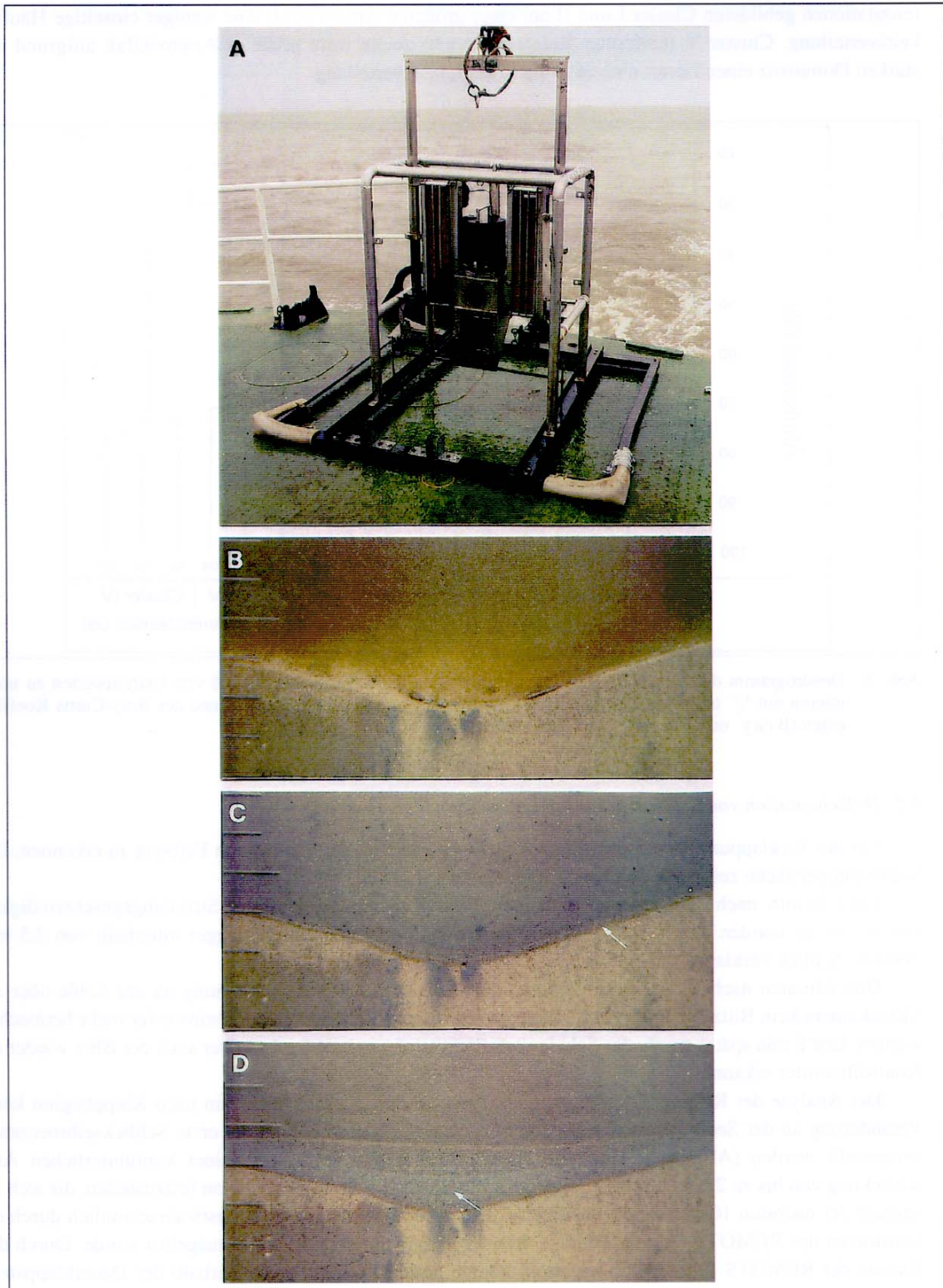


Abb. 4: Das REMOTS-Sedimentprofilkamera-System. A) Gestell mit REMOTS-Kameraeinheit. B–D) REMOTS-Sedimentprofilaufnahmen aus der Dauerklappstelle Brunsbüttel. B) Ist-Zustand kurz vor der Verklappung. C) 5 min nach erfolgter Verklappung, dünne Schlickauflage erkennbar (Pfeil). D) 13 min nach erfolgter Verklappung, bis zu 2 cm Aufschlickung erkennbar (Pfeil). Skala am linken Photorand in Zentimeter. (weitere Erläuterung siehe Text).

5 Diskussion

Die vorgelegten Resultate lassen deutliche Unterschiede zwischen Klappstellen- und Referenzstationen hinsichtlich der Makrofaunenbesiedlung erkennen. Diese Unterschiede können mit Ausnahme der Referenzstationen O4 und O5 nicht primär substratbedingt sein, da die im Klappstellenbereich angetroffenen schlickigen Sedimente auch an den Referenzstationen W1–W4 und O1–O3 vorgefunden wurden. Sämtliche westlich der Klappstelle gelegenen Stationen besaßen, obwohl sie in Bezug auf die Sedimente starke Unterschiede aufwiesen, nach den Ergebnissen der multivariaten Analysen der Benthosgemeinschaften untereinander eine größere Ähnlichkeit als zu den Klappstellenstationen. Andere Einflußgrößen wie Strömung, Wassertiefe, Salzgehalt und Temperatur sind im Untersuchungsbereich insbesondere bei den schlickigen Referenzstationen W2–W4 und O1–O3 im Vergleich zu den schlickigen Stellen K1–K5 sehr ähnlich (vgl. BfG [1995], Caspers [1959]) und können daher nicht die Unterschiede in der Besiedlung erklären. Selbst die Bereiche W1 bzw. W5–W7, die sich hinsichtlich Wassertiefe bzw. Substrat und damit wohl auch in der Strömung stärker von den Bereichen W2–W3 unterscheiden, ähneln sich hinsichtlich der Besiedlung mehr, als im Vergleich zur Klappstelle. Dies zeigt deutlich, daß diese hydrologischen und physikalischen Parameter nicht die Beeinträchtigung im Klappstellenbereich erklären können.

Das Makrozoobenthos der Klappstelle und der östlich gelegenen Stationen O1–O3 ist im Vergleich zu den Referenzstationen durch Artenarmut und deutliche Dominanz mit im wesentlichen juvenilen Individuen einer Art geprägt, was auf ein frühes Sukzessionsstadium eines gestörten Systems hindeutet. Das vollständige Fehlen stetig auftretender Arten (Vorkommen in mehr als zwei der drei Parallelproben) an der Klappstellenstation K5 unterstreicht dies. Obgleich die Verklappungen immer bei ablaufend Wasser direkt am östlichen Rand innerhalb der Klappstelle (auf Höhe Stat. K5) stattfinden, wird durch Sedimentation und Verdriftung des Klappgutes nicht nur die Makrofaunagemeinschaft des mittleren und westlichen Bereiches der Klappstelle (mindestens 1000 m), sondern wahrscheinlich auch der außerhalb der Klappstelle in östlicher Richtung gelegene Nahbereich (ca. 1000 m) nachhaltig beeinflusst. Dies ist eine neue Erkenntnis, die z. Zt. durch weitere faunistische Untersuchungen überprüft wird. Im Rahmen des HABAK-Pilotprojektes wurde der östliche Bereich auf Makrozoobenthos nicht untersucht (vgl. Leuchs et al. [1996]).

Auch bei Untersuchungen über die Auswirkungen von Baggergutverklappungen in der Bucht von Liverpool wurde ein signifikanter Rückgang der Anzahl von Makrofaunaarten in der Nähe der Klappstelle festgestellt (Franklin und Jones [1993]; Rees et al. [1992]). Degermann [1986] fand im schwedischen Hakefjord im Einzugsbereich einer Klappstelle nach einem kurzfristigen Anstieg der Biomasse einiger Arten langfristig gesehen einen drastischen Rückgang der Bestandsdichten und Biomassen vieler Makrofaunaarten. Bei Untersuchungen des niederländischen Rijksinstituut voor Kust en Zee, Dienst Getijdewateren, wurde ebenfalls eine Reduzierung der Artenzahl des Makrozoobenthos auf die Hälfte nach Verklappungen von Baggergut aus dem Emshafen (Defzijl) an neu eingerichteten Klappstellen beobachtet (Essink [1993]; Kleef et al. [1992]).

Eine permanente Ablagerung von Baggergut konnte an der Dauerklappstelle Brunsbüttel zwar nicht nachgewiesen werden (BfG [1995]), es kommt aber nach den REMOTS-Aufnahmen mindestens bei Stromruhe (Gezeitenwechsel) bzw. reduzierten Strömungsgeschwindigkeiten zu kurzfristigen Ablagerungen sowie erhöhten Schwebstoffkonzentrationen in Bodennähe. Nach Literaturangaben ergeben sich besonders nachteilige Effekte für das Makrozoobenthos (Beeinträchtigung der Nahrungsaufnahme und des Wachstums bei filtrierenden Organismen, z. B. Muscheln, was sogar ein Absterben bewirken kann), wenn das verklappte Material langfristig eine suspendierte Schlickschicht über dem Boden ausbildet (Übersicht in Hagedorff et al. [1996]). Ob es bei der Dauerklappstelle Brunsbüttel zur Ausprägung einer solchen dauerhaften „fluid mud layer“ kommt, ist derzeit nicht bekannt. Aber schon die bei Brunsbüttel nachgewiesene erhöhte Konzentration von suspendiertem Schlick (Mittelwerte bis zu 4500 g Schwebstoffe/m³ Wasser) in dem bodennahen, tidebewegten Wasserkörper (BfG [1995]) kann nach Literaturangaben ebenfalls zu einer Beeinträchtigung von Filtrierern im Sediment führen (vgl. Hagedorff et al. [1996]). Somit sind die Klappaktivitäten als Ursache für die Beeinträchtigung des Makrozoobenthos an der Dauerklappstelle Brunsbüttel anzusehen.

Literatur

- AKN – Arbeitskreis Naßbaggerei Küste, 1991: Naßbaggerunterhaltungsarbeiten im Küstenbereich – Ergebnisbericht 1990. Datenteil. Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven, Baggerbüro Küste.
- AKN – Arbeitskreis Naßbaggerei Küste, 1995: Naßbaggerunterhaltungsarbeiten im Küstenbereich – Ergebnisbericht 1994. Datenteil. Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven, Baggerbüro Küste.
- Bray, J. R. und J. T. Curtis, 1957: An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* **27**, 325–349.
- BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1992: Handlungsanweisung – Anwendung der Baggergutrichtlinien der Oslo- und Helsinki-Kommission in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (HABAK-WSV). Koblenz, BfG-Nr. 0700.
- BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1995: Untersuchung der Einbringung von Baggergut aus dem Bereich der Schleuse Brunsbüttel in die Außenelbe – Pilotprojekt zur Umsetzung der Handlungsanweisung Baggergut – Küste (HABAK-WSV). Koblenz, BfG-Nr. 0874.
- Caspers, H., 1959: Vorschläge einer Brackwassernomenklatur (The Venice System). *Int. Rev. Gesamt. Hydrobiol.* **44**, 313–316.
- Degermann, E., 1986: The influence of spoil disposal on bottom fauna and fish inside Tjoern, Bohuslaan. *Medd. Havsfiskelab. Lysekil.* **315**, 1–52.
- Essink, K., 1993: Ecologische effekten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Dienst Getijdewateren, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Haren.
- Essink, K. and H. L. Kleef, 1993: Distribution and life cycle of the North American spionid polychaet *Marenzelleria viridis* (Verrill, 1873) in the Ems estuary. *Neth. J. Aquat. Ecol.* **27**, 237–246.
- Franklin, A. and J. Jones, 1993: Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal at the sea. *Aquat. environm. monit. rep. dir. fish. res. GB* **36**, 60–61.
- Gray, J. S., 1984: *Ökologie mariner Sedimente*. Berlin: Springer.
- Hagendorff, R., S. Nehring und H. Leuchs, 1996: Eine Literaturübersicht zum Thema „Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte durch Baggern und Verklappen auf Muscheln“. *Mitteilungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz*, Heft 11, 7–11.
- Hellmann, H., 1996: Baggergut-Umlagerung in Fließgewässern – Untersuchung der Auswirkungen bei der Verklappung. *Wasser und Boden* 9/1996, 27–32.
- Jongman, R. H. G., C. J. F. ter Braak and O. F. R. van Tongeren, 1987: *Data analysis in community and landscape ecology*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation (Pudoc), Wageningen.
- Kleef, H. L., K. Essink, and E. E. Welling, 1992: Het effect van het storten van baggerspecie op de bodemfauna in de Oude Westerems in de jaren 1989 en 1990. *RWS. Dienst Getijdewateren*.
- Lambshhead, P. J. D., H. M. Platt and K. M. Shaw, 1983: The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. *J. Nat. Hist.* **17**, 859–874.
- Leling, A., 1986: *Untersuchungen zur Häufigkeit und Verteilung des Makrozoobenthos in der Unterelbe*. Diplomarbeit Universität Hamburg.
- Leuchs, H., S. Nehring, R. Hagendorff, I. Kröncke und J. Stecher, 1996: Dauerklapptelle Brunsbüttel – Auswirkungen auf das Makrozoobenthos. *Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz*, Heft Nr. 11, 53–59.
- Nehring, S. und H. Leuchs, 1996a: Umsetzung der „Handlungsanweisung zur Unterbringung von Baggergut im Küstenbereich“: Die HABAK-Pilotprojekte Ems – Ducegat und Elbe – Brunsbüttel. *Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz*, Heft 11, 60–64.
- Nehring, S. und H. Leuchs, 1996b: Einsatz der REMOTS-Sedimentprofilkamera zur Dokumentation von Sedimentationsereignissen nach Verklappung. *Mitteilung der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz*, Heft 11, 65–68.
- Nehring, S. und H. Leuchs, im Druck: Das Ästuarmonitoring der BfG – Makrozoobenthos in Ems, Jade, Weser und Elbe 1995. *Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz*.
- Rachor, E., J. Harms, W. Heiber, I. Kröncke, H. Michaelis, K. Reise, und K.-H. v. Bernem, 1995: Liste der gefährdeten bodenlebenden Wirbellosen des Wattenmeeres und der Nordsee. *Schr.-R. f. Landschaftspfl. u. Natursch.* **44**, 61–73.
- Rees, H. L., S. M. Rowlatt, D. S. Limmepenny, E. I. S. Rees and M. S. Rolfe, 1992: Benthic studies at dredged material disposal sites in Liverpool Bay. *Aquat. environm. monit. rep. dir. fish. res. GB* **28**, 1–28.
- Rhoads, C. and D. Germano, 1987: Interpreting long-term changes in benthic community structure: a new protocol. *Hydrobiologia* **142**, 291–308.
- Rumohr, H., 1995: Monitoring the marine environment with imaging methods. *Sci. Mar.* **59** (Suppl.1): 129–138.
- Rumohr, H. and H. Schomann, 1992: REMOTS sediment profiles around an exploratory drilling rig in the southern North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **91**, 303–311.

Anschrift der Verfasser:

**Dr. Heiko Leuchs
Dr. Stefan Nehring
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Kaiserin-Augusta-Anlagen 15–17
D-56068 Koblenz**