

Nr. 11

**Baggern und Verklappen
im Küstenbereich**

**Auswirkungen auf das
Makrozoobenthos**

**Beiträge zum Workshop
am 15.11.1995 in Hamburg**

MITTEILUNG

BfG

**Bundesanstalt für Gewässerkunde
Koblenz · Berlin**



Baggern und Verklappen im Küstenbereich

**Auswirkungen auf das
Makrozoobenthos**

**Beiträge zum Workshop
am 15.11.1995 in Hamburg**

Redaktion: Dr. Heiko Leuchs
Dr. Andreas Anlauf
Dr. Stefan Nehring

Eine Literaturübersicht zum Thema "Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte durch Baggern und Verklappen auf Muscheln"

Roland Hagendorff, Stefan Nehring und Heiko Leuchs

1 Einleitung

Um die Zugänglichkeit der deutschen Seehäfen für die Schifffahrt zu gewährleisten, sind alljährlich umfangreiche Ausbaggerungsarbeiten in Häfen und Fahrrinnen erforderlich. Dies betrifft vor allem den Nordseeküstenbereich.

Eine Zusammenstellung dieser Unterhaltungsbaggerungen an Bundeswasserstraßen im Tidebereich der Nordsee ergibt für die Jahre 1981-1992 ein Gesamtbagervolumen von 25,2 - 41,7 Mio. m³ pro Jahr (im Mittel 32 Mio. m³) [12]. Davon entfallen auf die Ems 0 - 10,5 Mio. m³, die Jade 3,4 - 13,8 Mio. m³, die Weser 1,3 - 7,9 Mio. m³ und die Elbe (ohne NOK) 9,5 - 16,5 Mio. m³ pro Jahr. Hinzukommen im Mittel 7,2 Mio. m³ Sohlsedimente, die im Schleusenbereich Brunsbüttel (NOK) jährlich gebaggert und in der Elbe umgelagert werden [2]. Im Vergleich hierzu beträgt in den Niederlanden das gesamte Bagervolumen aus der Unterhaltungsbaggerung 70 - 80 Mio. m³ pro Jahr [12].

Durch Umweltverträglichkeitsuntersuchungen zu Fahrrinnenanpassungen und die Umsetzung von Baggergut-Richtlinien der Oslo-Helsinki Kommissionen im Rahmen der Handlungsanweisung Baggergut Küste (HABAK-WSV) hat die Beurteilung der Auswirkungen von Baggern und Verklappen auf das marine und ästuarine Makrozoobenthos bei der fachlichen Beratung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes an Bedeutung gewonnen.

Erhebliche Kenntnisdefizite bestehen über die von derartigen Eingriffen besonders betroffene sublitorale Makrofauna [13, 22]. Aus dem deutschen Küstenbereich liegen erst relativ wenige Untersuchungen zu dieser Problematik vor.

Um einen Überblick über den nationalen und internationalen Kenntnisstand zu gewinnen, wurde eine Auswertung der Fachliteratur zu diesem Thema von der Bundesanstalt für Gewässerkunde veranlaßt. Diese Literaturstudie beinhaltet folgende Schwerpunkte: Auswirkungen auf das Makrozoobenthos in Baggerbereichen sowie im Verklappungsbereich infolge Sedimentüberdeckung, Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte auf die Makrofauna infolge von Bagger- und Verklappungsaktivitäten, Prozesse der Wiederbesiedlung an Klappstellen.

Im vorliegenden Schriftsatz werden wesentliche Erkenntnisse zu den Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte auf das Makrozoobenthos vorgestellt.

2 Auswirkungen erhöhter Schwebstoffgehalte auf das Makrozoobenthos

2.1 Baggern und Verklappen

Durch das **Baggern** kommt es in Abhängigkeit vom Sedimenttyp und eingesetzter Baggertechnik in unterschiedlichem Maße zur Resuspension von Sedimenten in der Wassersäule. Nach Angaben von Sustar et al. [29] liegt die Erhöhung des Gehaltes suspendierter Feststoffe in der entstehenden Trübungswolke beim Baggervorgang bei einer Größenordnung von zehntel Gramm und damit um eine Zehnerpotenz unter Werten, die nach Verklappen beobachtet werden.

Umfangreiche Felduntersuchungen mit Greifer- und Hopperbaggern sowie Schneidkopfsaugern zeigen, daß die höchsten Schwebstoffgehalte in der Trübungswolke bei Einsatz des Laderaumsaugbaggers mit Überlaufbaggerung auftreten [z.B. 29, 30]. Die hohen Schwebstoffgehalte ergeben sich aus den erheblichen Überlaufverlusten, die bei deutlich mehr als 50% des im Laderaum verbleibenden Materials liegen können. Dies ist stark von der Baggertechnik, der Kornzusammensetzung des gebaggerten Materials und insbesondere von der Förderleistung des Saugers im Verhältnis zur Größe des Laderaumes abhängig. Im Extremfall kann es zu reinen Überlaufbaggerungen kommen. Bei Fahrrinnenvertiefungen in der Miramichi Bucht im Golf von St. Lorenz in Kanada gingen z.B. ca. ¾ des in den Laderaum des Saugbaggers gepumpten Materials durch den Überlauf verloren [21]. Nach anfänglicher Verteilung konzentrierte sich das verlorene Sediment nach einem Jahr in einem Teilbereich der Bucht in Form einer wasserreichen, instabilen Schlickschicht an der Gewässersohle. Sedimentkerne aus diesem Gebiet zeigten stark laminierte und ungestörte Schichtungen. Das Fehlen bioturbater Strukturen deutet auf ein Ausbleiben der Besiedlung durch Makrozoen in diesem Gebiet hin.

Sedimententnahmen über einen Zeitraum von zwei Jahren an einer subtropischen, sublitoralen Sandbank in der Moreton Bay im australischem Queensland führten zu statistisch signifikanten Abnahmen von Artenzahlen, Bestandsdichten und Diversitäten der Makrofauna im direkten Eingriffsbereich [25]. In der Umgebung wurden jedoch signifikante Zunahmen der Arten- und Gesamtindividuenzahlen festgestellt. Diese Bereiche stimmten mit den anhand von Modellberechnungen vorhergesagten Hauptsedimentationszonen der beim Baggern hervor-

gerufenen Trübungswolke überein. Poiner & Kennedy [25] diskutieren eine vermehrte Verfügbarkeit von Ressourcen für die Primärproduzenten durch Nährstoff-freisetzung als mögliche Ursache für den beobachteten Effekt.

Beim **Verklappen** von Baggergut können größere Mengen von Feinmaterial in Suspension gebracht werden. Dies führt im besonderem Maße durch die Feinstkornfraktionen zu einer Erhöhung des anorganischen Schwebstoffanteils in der Wassersäule [10]. Hierdurch können neben rein planktischen Organismen (Phyto- und Zooplankton) auch larvale Entwicklungsstadien benthischer Makrozoen, die z. T. temporär im Plankton auftreten (z. B. von Amphipoden, Mysidaceen, Crangon u. a.), und vor allem filtrierende bzw. suspensionsfressende Vertreter des Makrozoobenthos (*Bivalvia*, *Polychaeta*) betroffen sein. So registrierten z. B. Howell & Shelton [16] in Kaolinschlammleiteungsgebieten in Cornwall das weitgehende Fehlen von filtrierenden Makrozoen. Außerhalb des Einleitungsbereiches und in angrenzenden Buchten gehörten Filtrierer hingegen zu den häufigen benthischen Faunenelementen.

Auf die Beeinflussung des Makrozoobenthos (speziell Muscheln) durch erhöhte Schwebstoffgehalte und Sedimentation infolge von Baggern und Verklappen wird im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen.

2.2 Modellorganismus Muschel

Prinzip der Nahrungsaufnahme

Der organische Schwebstoffanteil (Phytoplankton, Bakterien, Detritus) dient den filtrierenden Muscheln als Nahrungsgrundlage. Der Mechanismus der Nahrungsaufnahme bei Muscheln läßt sich im wesentlichen wie folgt beschreiben [17, 24]:

Mit dem Atemwasserstrom in den Mantelraum der Muschel eingestrudelte organische und anorganische Partikel werden beim Durchtritt des Wassers durch Gitteröffnungen (Poren) der Kiemenlamellen in die Kiemenzwischenräume abgefiltert. An den Einströmöffnungen oder dem Mantelrand der Muschel vielfach gitterartig zusammengelegte Tentakel verhindern lediglich die Aufnahme zu großer Partikel in den Mantelraum. Das filtrierte Wasser wird nach außen abgegeben. Durch die Kiemen zurückgehaltene Partikel werden zum Teil unter Schleimabsonderung gebunden und durch Flimmerbewegungen von Kiemenwimpern zur Mundöffnung transportiert. Hierbei werden zu grobe Teilchen bereits aussortiert. Eine weitere Größensortierung der Filtratpartikel erfolgt durch die Mundlappen (labiale Palpen).

Von Kiemen und Mundlappen akzeptierte Partikel werden in den Magendarmtrakt aufgenommen und verdaut. Verdauungsrückstände werden als Kot (Faeces) ausgeschieden, während von Kiemen und Palpen aussortiertes Material gesondert in Schleimpaketen als Pseudofaeces abgegeben wird.

Die Fähigkeit zur Partikelselektion ist für Suspensionsfresser von offensichtlichem Vorteil bei der Besiedlung schwebstoffreicher Lebensräume. Sie variiert artspezi-

fisch und auch innerartlich zwischen Populationen aus verschiedenen Habitaten [18].

Schwebstoffkonzentrationen - Nahrungsaufnahme

Über Effekte anorganischer Schwebstoffe auf die Nahrungsaufnahme von Muscheln (*Bivalvia*) liegt eine Vielzahl von Publikationen vor [Übersichten u. a. in 1, 24, 27].

Zur Abschätzung der Nahrungsaufnahmerate von Muscheln wird vielfach auf die Messung der eingestrudelten Wassermenge pro Zeiteinheit zurückgegriffen. Loosanoff & Tommers [29] beobachteten an Austern, die Schluff-, Kaolin- und Kalkpuder-Suspensionen in Konzentrationen von 250-4000 mg/l ausgesetzt wurden, bis zu 6 Stunden anhaltende Abnahmen der Pumpaktivität um 80-94 %.

Versuche von Loosanoff [19] ergaben deutliche Reduzierungen der Pumpaktivität bei *Crassostrea virginica* und *Mercenaria mercenaria* bei Schluff-, Kaolin- und Bleicherde-Konzentrationen > 100 mg/l. Niedrigere Konzentrationen hatten hingegen oft stimulierende Wirkung.

Appleby & Scarratt [1] zitieren Angaben von Gustafson (1972), wonach *Mya arenaria* auf eine Trübungserhöhung "um den Faktor 20 gegenüber Umgebungswerten" nach 5 Tagen mit vollständiger Einstellung der Pumpaktivität reagierte.

Aus Untersuchungen von Widdows et al. [31] geht hervor, daß die Filtrationsgeschwindigkeit von 3 cm großen Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) bei Schwebstoffkonzentrationen von 125 mg/l ihr Maximum erreicht. Bei Konzentrationen von 225 mg/l wurde eine Abnahme auf ca. 30 % des Maximalwertes beobachtet; bei 250 mg/l war keine Filtrationsaktivität mehr festzustellen.

Messungen des Wasserdurchsatzes spiegeln jedoch nicht unbedingt die tatsächliche Nahrungsaufnahmeaktivität wider. Die Pumpaktivität dient ebenfalls dem Gasaustausch und kann anhalten, auch wenn die Filtration von Nahrungspartikeln bereits eingestellt ist [1].

Die Laborergebnisse von Widdows et al. [31] stimmen jedoch gut mit Befunden von Freilanduntersuchungen aus der Bucht von Wantum in den Niederlanden [11] überein. Hier wurden Miesmuscheln der gleichen Größenklasse (3 cm) in Käfigen in der Wassersäule in unterschiedlichem Abstand zum Boden einer Wattrinne exponiert. Die mittleren Schwebstoffkonzentrationen im Untersuchungszeitraum lagen in Bodennähe signifikant (17 %) über oberflächennah gemessenen Werten. Maximalwerte der Schwebstoffkonzentrationen von mehr als 250 mg/l wurden in Bodennähe dreimal häufiger als in mittlerer Wassertiefe oder an der Oberfläche registriert. Im April 1987 in bodennahen Käfigen ausgebrachte *Mytilus* wiesen im Juli zwar eine größere Schalenlänge und ein höheres Schalengewicht, jedoch ein deutlich niedrigeres aschefreies Trockengewicht des Weichkörpers auf als höher in der Wassersäule exponierte Exemplare. Im August waren diese Unterschiede statistisch signifikant. Eine mögliche Ursache hierfür kann im häufigeren Auftreten von Null-Filtrationsraten bei maximalen Schwebstoffkonzentrationen > 250 mg/l liegen.

Nach Einschätzung von Essink [10] kann die geringere Biomasse des Weichkörpers bodennah gehaltener Tiere unter Berücksichtigung aller im Feldversuch gewonnener Daten jedoch nicht eindeutig auf die Unterschiede im Schwebstoffregime zurückgeführt werden. Sie ziehen die Schlußfolgerung, daß die beobachteten Unterschiede der mittleren Schwebstoffkonzentrationen von 10 - 20 % zu gering waren, um signifikante Unterschiede im Weichteilwachstum auszulösen.

Miesmuscheln und Herzmuscheln können auf Änderungen des Schwebstoffregimes durch Größenanpassungen ihrer Kiemen und labialen Palpen (Mundwerkzeuge) reagieren. Bei Schwebstoffgehalten von über 50 mg/l läßt diese Anpassungsfähigkeit jedoch bereits erheblich nach [5].

Aus der Tatsache, daß Miesmuscheln bei Umsetzungs-experimenten aus relativ schwebstoffarmen Standorten der Nordsee bzw. aus dem Seegat bei Ameland in schwebstoffreiche Bereiche des Wattenmeeres größere labiale Palpen entwickelten [11], sollte daher nicht auf eine volle Kompensation schwebstoffbedingter Streßfaktoren geschlossen werden.

Oberhalb des Grenzwertes von 50 mg/l Schwebstoff nimmt bei den genannten Spezies das Vermögen zur optimalen Ausnutzung des Nahrungsangebotes bereits ab, weil eine effiziente Sortierung der zur Verfügung stehenden Schwebstoffpartikel nicht mehr in vollem Umfang gewährleistet ist. Die daraus resultierende vermehrte Aufnahme inerten Materials hat eine "Verdünnung" der in den Magendarmtrakt gelangten organischen Schwebstoffanteile zur Folge. Die Nettonahrungsaufnahme pro Zeiteinheit nimmt ab, und die Tiere verlieren schließlich bei hohen Schwebstoffgehalten durch die vermehrte Schleimausscheidung bei der Pseudofaecesproduktion an Gewicht [26].

Bei dauerhaften Schwebstoffgehalten > 250 mg/l ist für 3 cm große Miesmuscheln keine Gewichtszunahme mehr möglich [11, 31].

Diese Ergebnisse zeigen, daß auch für Arten wie die Miesmuschel, die in Lebensräume vordringen, in denen sie natürlicherweise hohen bzw. stark wechselnden Schwebstoffregimen ausgesetzt sind, trotz erheblicher Anpassungsfähigkeiten bereits eine geringfügige Erhöhung der Schwebstoffgehalte als physiologischer Streßfaktor wirken kann.

Barnett (Scottish Marine Biological Association 1973 zitiert in [24]) stellte bei der Tellmuschel *Tellina tenuis* in einem durch Warmwassereinleitungen beeinflussten Gebiet Reduzierungen des Körpergewichtes fest, die durch erhöhte Stoffwechselraten hervorgerufen worden waren. Dieser Effekt verstärkte sich während einer Phase erhöhten Schwebstoffgehaltes in Folge von Bauarbeiten.

Subletale Effekte wurden auch bei Untersuchungen an einjährigen amerikanischen Trogmuscheln (*Spisula solidissima*) nachgewiesen [27]. In 100, 500 und 1000 mg/l Attapulgit-Tonsuspensionen über 3 bzw. 21 Tage gehältere Individuen zeigten nach anschließenden Fütterungs-experimenten gegenüber unbehandelten Kontrollgruppen

ein Ansteigen der Phytoplanktonmenge in der Pseudofaeces. Die Menge in den Verdauungstrakt aufgenommener und enzymatisch aufgeschlossener Algen war herabgesetzt. Auch die Verdauungseffizienz, definiert als relativer Anteil während der Darmpassage zu Phaeopigmenten abgebauten Chlorophylls, zeigte sich gegenüber den Kontrollgruppen verringert.

Es wurden jedoch auch Anpassungsreaktionen festgestellt. So war die Chlorophyllkonsumption bei den über 21 Tage in 100 und 500 mg/l Tonsuspensionen gehälteren Trogmuscheln höher als bei entsprechend behandelten Individuen aus dem Kurzzeitversuch. Bei einer Schwebstoffkonzentration von 1000 mg/l war die Grenze des Anpassungsvermögens von *Spisula solidissima* überschritten.

Die Resultate weisen daraufhin, daß Erhöhungen der Schwebstoffkonzentrationen auf ein Niveau > 100 mg/l zu Beeinträchtigungen des Energiehaushaltes von Trogmuschelpopulationen führen können [27]. Im Verbreitungsgebiet der Art am westatlantischen Kontinentalschelf herrschen natürlicherweise Schwebstoffkonzentrationen < 5 mg/l vor.

Berichte über wachstumsfördernde Effekte geringerer Konzentrationen (< 100 mg/l) suspendierter Sedimente auf Muscheln liegen von Winter [32] für *Mytilus edulis* und von Mohlenberg & Kiorboe [23] für die europäische Trogmuschelart *Spisula subtruncata* vor.

Augst [3] zitiert Befunde fünfwöchiger dänischer Untersuchungen: Miesmuscheln in der Nähe einer Verklappungsstelle von Schlick aus dem Hafen von Esbjerg waren größer als in zunehmender Entfernung gesammelte bzw. ausgebrachte Exemplare. Angaben zum natürlichen Schwebstoffregime der jeweiligen Standorte werden vom Autor jedoch nicht gemacht.

In Anbetracht der bereits dargelegten Resultate niederländischer Untersuchungen ist hier weiterhin zu berücksichtigen, daß Angaben zu Änderungen der Schalengröße allein kein ausreichendes Maß zur Ermittlung eventuell auftretender Effekte von Verklappungen auf Muscheln sind.

Bergeron et al. [4] konnten 3 Monate nach Verklappungen von 1900 bzw. 3700 m³ Feinsand in der Baie de Chaleurs in Québec keine Auswirkungen auf Filtrationsraten, Wachstum und Mortalität von frei in der mittleren Wassersäule in Käfigen exponierten Miesmuscheln nachweisen. Die hohe Sedimentationsgeschwindigkeit und begrenzte Verteilung des Baggergutes durch die Strömung lassen jedoch nach Angaben der Autoren vermuten, daß die Versuchstiere nicht oder nur in geringem Umfang mit dem Klappgut in Kontakt kamen.

Fälle massiver Mortalitäten in Muschelkulturen durch Trübungserhöhungen infolge von Bagger- und Verklappungstätigkeiten sind aus Kanada, Japan und Italien bekannt [7, 14, 15]. Diese erhöhte Sterblichkeit stand im letzten Fall vermutlich in Zusammenhang mit der Akkumulation von Suspensionspartikeln auf dem Mantel der Muscheln, was eine deutliche Reduktion des Gasaustausches durch die Kiemen bewirkt haben kann [7]. Darüber

hinaus wurde aber auch eine erhöhte Kupferbelastung des Baggergutes als mögliche Ursache für Beeinträchtigungen des Filtrations- und Gasaustauschprozesses der Muscheln diskutiert [7].

Schwebstoffkonzentrationen - Fortpflanzung

Chernina & Startseva [6] weisen auf die Sensitivität benthischer Makrozoen gegenüber erhöhten Konzentrationen suspendierter Feinsedimente zu Zeiten des vielfach weiträumig synchronisiert erfolgenden Abblaus hin. Beeinträchtigungen der pelagischen Larvalentwicklung werden auch von Rosenberg [28] diskutiert.

Appleby & Scarratt [1] kommen nach einem Vergleich von Literaturdaten [u. a. 8, 9, 19] zu dem Ergebnis, daß Larven und Eier von Mollusken empfindlicher als adulte Individuen auf Suspensionen anorganischer Schwebstoffe reagieren.

3 Zusammenfassung

Erhöhte Schwebstoffgehalte infolge von Bagger- und Verklappungsaktivitäten beeinflussen vor allem filtrierende bzw. suspensionsfressende Vertreter des Makrozoobenthos. Die meisten diesbezüglichen Erkenntnisse liegen bisher für Muscheln vor. Allgemein läßt sich feststellen, daß, solange eine Erhöhung der Schwebstoffkonzentrationen bestimmte Werte nicht überschreitet, die Organismen keine Schädigung davontragen bzw. teilweise sogar vom besseren Nahrungsangebot partizipieren können. Eine Festlegung von Grenzwerten ist jedoch bisher nicht möglich, da je nach Art bzw. Vorleben der Organismen aber auch je nach Lebensstufe (Ei - Larve - Adult) unterschiedlich hohe Konzentrationen toleriert werden können. Der Einsatz von Baggertechnik, die ökonomische und ökologische Auswirkungen minimiert, ist anzustreben.

4 Literatur

- [1] Appleby, J.A. and D.J. Scarratt (1989): Physical effects of suspended solids on marine and estuarine fish and shellfish with special reference to ocean dumping: A Literature Review. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 1681, 33 p.
- [2] Arbeitskreis Naßbaggererei Küste (1995): Naßbaggerunterhaltungsarbeiten im Küstenbereich - Ergebnisbericht 1994 Datenteil. Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven, Baggerbüro Küste
- [3] Augst, H.-J. (1994): Verklappung von Hafenschlick - Unnatürliches Futter. Wattenmeer International 94, H.1, S. 28
- [4] Bergeron, P., M. Fréchette, L. Pagé, Y. Lavergne et G. Walsch (1990): Sédimentation et dispersion des déblais de dragage en mer et effets sur la moule bleue (*Mytilus edulis*) en élevage dans la Baie des Cha-

leurs. Ministre des peches et des oceans. Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, Cap Diamant, Québec, Canada No. 1746, 59 p.

- [5] Brett, S.E. and A. Wassenaar (1990): Relationship between suspended particulate matter concentration and gill and palp sizes in *Mytilus edulis*. Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren. Notitie GWAO 90.12017
- [6] Chernina, YE.YU. and A.I. Startseva (1991): Effect of fine suspended matter on marine hydrobionts. *Gidrobiologicheskii zhurnal* 27, no. 2, pp 9-15
- [7] Collinson, R.I. and C.P. Rees (1978): Mussel mortality in the Gulf of La Spezia, Italy. *Mar. Pollut. Bull.* 9, pp. 99-101
- [8] Davis, H.C (1960): Effects of turbidity-producing substances in sea water on eggs and larvae of the clam *Mercenaria mercenaria*. *Biol. Bull.* 118, pp. 48-54
- [9] Davis, H.C. and H. Hidu (1969): Effects of turbidity-producing substances in sea water on eggs and larvae of three genera of bivalve mollusks. *The Veliger* 11, pp. 316-323
- [10] Essink, K. (1993): Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, 64 p.
- [11] Essink, K., P. Tydeman, F. de Koning and H.L. Kleef (1989): On the adaption of the mussel *Mytilus edulis* L. to different suspended matter concentrations. In: R.Z. Klekowski, E. Styczynska & L. Falkowski (Hrsg.), *Proc. 21th Europ. Mar. Biol. Symp.*, Gdansk 1986. Polish Acad. of Sci., pp.41-51
- [12] Farke, H. (1994): Eingriffe durch Baggerarbeiten. In: Lozán, J.L., E. Rachor, K. Reise, H. Westernhagen und W. von Lenz (Hrsg.), *Warnsignale aus dem Wattenmeer*. Blackwell Berlin, S. 60-64
- [13] Gosselck, F., J. Prena, G. Arlt and A. Bick (1993): Distribution and zonation of macrobenthic fauna in the deep channels of the Weser Estuary. *Senckenbergiana maritima* 23, no. 4/6, pp. 89-98
- [14] Gracey, J. (1988): Mussels ruined in New-Brunswick. *Canadian Aquaculture* 4, pp. 56-74
- [15] Horiguchi, Y. and M. Maegawa (1978): Studies on marine environments and mariculture resources in the waters around Zaga-shima (Ago-Bay). III. Effects of dredging works upon growth and mortality of operated pearl oyster and quality of pearl. *Rep. Fish. Rs. Lab. Mie Univ.* 1, pp. 31-38
- [16] Howell, B.R. and R.G.J. Shelton (1970): The effect of china-clay on the bottom fauna of St. Austell and Mevagissey Bays. *J. mar. biol. Ass. U.K.* 50, pp. 593-607
- [17] Kiliyas, R. (1982): Stamm Mollusca. In: Kaestner, A. (Hrsg.), *Lehrbuch der speziellen Zoologie*, Band 1, Teil 3. Fischer, Stuttgart

- [18] Kiorboe, T. and F. Mohlenberg (1981): Particle selection in suspension-feeding bivalves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 5, pp. 291-296
- [19] Loosanoff, V.L. (1961): Effects of turbidity on some larval and adult bivalves. *Proc. Gulf. Carib. Fish. Inst.* 14, pp. 80-95
- [20] Loosanoff, V.L. and F.D. Tommers (1948): Effect of suspended silt and other substances on rate of feeding of oysters. *Science* 107, pp. 69-70
- [21] Messieh, S.N., T.W. Rowell, D.L. Peer and P.J. Cranford (1991): The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seabed. *Continental Shelf Research* 11, pp. 1237-1263
- [22] Michaelis, H. und B. Böhme (1994): Ökosystemforschung Wattenmeer, Teilvorhaben niedersächsisches Wattenmeer, Vorphase, Teilprojekt: Benthosforschung im Ostfriesischen Wattenmeer. UBA Texte 24/94: 73 S. + Anhang
- [23] Mohlenberg, F. and T. Kiorboe (1981): Growth and energetics in *Spisula subtruncata* (Da Costa) and the effect of suspended bottom material. *Ophelia* 20, pp. 79-90
- [24] Moore, P.G. (1977): Inorganic particulate suspensions in the sea and their effects on marine animals. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 15, pp. 225-363
- [25] Poiner, R.I. and R. Kennedy (1984): Complex patterns of change in the macrozoobenthos of a large sandbank following dredging. I. Community analysis. *Mar. Biol.* 78, pp. 335-352
- [26] Prins, T.C. and A.C. Smaal (1989): Carbon and nitrogen budgets of the mussel *Mytilus edulis* L. and the cockle *Cerastoderma edulis* (L.) in relation to food quality. In: J.D. Ros (Hrsg.), *Topics in marine biology*. *Scient. Mar.* 53, no. 2, pp. 477-482
- [27] Robinson, W.E., W.E. Wehling and M.P. Morse (1984): The effect of suspended clay on feeding and digestive efficiency of the surf clam, *Spisula solidissima* (Dillwyn). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 74, pp. 1-12
- [28] Rosenberg, R. (1977): Effects of dredging operations on estuarine benthic macrofauna. *Mar. Pollut. Bull.*, 8 no. 5, pp. 102-104
- [29] Sustar, J.F., T.H. Wakeman and R.M. Ecker (1976): Sediment-water interactions during dredging operations In: Krenkel, P.A., J. Harrison & J.C. Burdick (Hrsg.), *Proceedings of the specialty conference on dredging and its environmental effects*. Mobile, Alabama January, pp. 736-766
- [30] Wakeman, T.R., R. Peddicord and J. Sustar (1975): Effects of suspended solids associated with dredging operations on estuarine organisms. *Proc. Ocean 75, Mar. Technol. Soc.*, pp. 431-436
- [31] Widdows, J., P. Fieth and C.M. Worral (1979): Relationship between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 50, pp. 195-207
- [32] Winter, J.E. (1976): Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale. II. The influence of suspended silt in addition to algal suspensions on growth. In: Resone, G. and E. Jaspers (Hrsg.), *Proc. 10th Europ. Mar. Biol. Symp.*, Ostend, Belgium. Universa Press, Wetteren, pp. 583-600

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Biol. Roland Hagendorff
Scheideweg 186
26127 Oldenburg

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