

Quantitative Erhebungen über die Makrofauna in einem Testfeld im Büsumer Watt und Abschätzung ihrer Auswirkungen auf den Sedimentverband

Von HJALMAR THIEL, MICHAEL GROSSMANN u. HUBERT SPYCHALA

Zusammenfassung

Zur Beurteilung des Einflusses der Organismen auf das Sediment wurde die Besiedlung eines Testfeldes im Büsumer Watt (Dithmarscher Bucht) durch Makrofauna untersucht. Einzelne Arten der Makrofauna verändern das Sediment deutlich. Ihre Tätigkeiten werden als Biodeposition und Bioresuspension sowie als Bioturbation und Biostabilisation zusammengefaßt. Unter Verwendung von Daten zur Leistung der die Lebensgemeinschaft bestimmenden Arten wird ihr Einfluß auf den Sedimentverband diskutiert. Es zeigt sich, daß der Mangel an quantitativen Daten über den Sedimentumsatz durch die Makrofauna und die natürliche Variabilität biologischer Systeme nur eine grobe Abschätzung zulassen. Die Auswirkungen der Organismen auf das Sediment im Testfeld des Büsumer Watts sind allgemein kurzfristig (mit Zeitskalen von Tagen und Wochen), während die physikalischen Bedingungen mittel- und langfristig (Wochen und Monate) die Sedimentdynamik bestimmen.

Summary

A macrofauna population study was undertaken in a test area of the Büsum intertidal zone (Dithmarscher Bucht) in order to evaluate the influence of the organisms on the sediment characteristics. Particular species of macrofauna can significantly alter the sediment. Their activity can be summarized in terms of biodeposition and bioresuspension as well as bioturbation and biostabilization. Their influence on the sediment characteristics is discussed based on performance data of the primary benthic community species. It is concluded that only gross estimations can be made due to the scarcity of data quantifying the sediment turnover by macrofauna and the natural variability of the biological systems.

The organisms in the Büsum test area have essentially short term influence on the sediment (days to weeks). The long term sediment dynamics (weeks to months) are dominated by the external physical conditions.

Inhalt

1. Einleitung	260
2. Material und Methoden	261
2.1 Untersuchungsgebiete	261
2.2 Untersuchungen	264
2.2.1 Sedimentverteilung	264
2.2.2 Wasserbedeckungszeit	266
2.2.3 Seston	266
2.2.4 Kohlenstoff-Stickstoff-Analyse, Wassergehalt und Glühverlust des Sediments	267

2.2.5	Sedimentprofil-Kamera	267
2.2.6	Fotografie der Sedimentoberfläche	268
2.2.7	Makrofauna-Stechrohrproben	269
2.2.8	Biomassenbestimmung	269
3.	Ergebnisse	269
3.1	Sedimentverteilung und Wasserbedeckungszeit	269
3.2	Seston	271
3.3	Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wassergehalt des Sediments	271
3.4	Makrofauna und Pflanzenbedeckung sowie deren Auswirkungen auf das Sediment	272
3.4.1	<i>Hydrobia ulvae</i>	275
3.4.2	<i>Cerastoderma edule</i> (früher: <i>Cardium edule</i>)	278
3.4.3	<i>Macoma balthica</i>	280
3.4.4	<i>Mya arenaria</i>	281
3.4.5	<i>Nereis diversicolor</i>	282
3.4.6	<i>Pygospio elegans</i>	284
3.4.7	<i>Heteromastus filiformis</i>	284
3.4.8	<i>Arenicola marina</i>	287
3.4.9	Diatomeen	289
3.4.10	Pflanzenbedeckung	292
3.4.11	Verteilung der Biomasse	293
3.4.12	Beziehungen zwischen dem Vorkommen der wichtigsten Tierarten und den Korngrößenklassen der Sedimente	294
4.	Diskussion	297
4.1	Probleme der Quantifizierung biogener Sedimentbeeinflussung	297
4.2	Biodeposition	300
4.3	Bioresuspension	304
4.4	Bioturbation	304
4.5	Biostabilisation	306
4.6	Zur Sedimentdynamik im Büsumer Watt	308
5.	Schriftenverzeichnis	311

1. Einleitung

Schlicktransport und Schlicksedimentation sind Prozesse, die in Küstenbereichen von weitreichender Bedeutung sind: Häfen, Schleusenanlagen und Hafenzufahrten verschlickten durch Sedimenttransport und müssen regelmäßig ausgebaggert werden. Die Schlicksedimentation in flachen Küstenbereichen ist ein wesentlicher Vorgang, der seit Jahrhunderten Eindeichungen ermöglichte. Zum Verständnis der Prozesse sind Kenntnisse über das Transportmaterial und die Bedingungen erforderlich, die zur Veränderung gegebener Situationen führen. Erschwert wird die Deutung oder gar die Vorhersage von Schlicktransport und Schlickablagerung durch einen Komplex mechanischer und biogener Faktoren, die bisher nicht ausreichend zu quantifizieren sind. Das äußert sich auch in der Begriffsbestimmung „Schlick“ (FIGGE, KÖSTER, THIEL u. WIELAND, 1980), in die die Korngrößenzusammensetzung und der Gehalt an organischer Substanz eingehen. Detritus, biologisch definiert als biogenes, partikuläres Restmaterial, wird aufgrund seines hydrodynamisch wirksamen Äquivalentdurchmessers mit den feinen Sedimentkomponenten abgelagert. Wesentliche ergänzende Komponenten des Detritus sind Aufwuchsbakterien, die die organische Substanz umkomponieren und größeren Organismen als Nahrung dienen. Die Lebensäußerungen dieser größeren Organismen wirken sich gleichzeitig in unterschiedlicher Weise auf die Sedimente aus, wie die folgenden Begriffe anzeigen:

- Biodeposition:** Ablagerung aufgenommener Partikel als Sediment durch Organismen, meist in einer anderen als der ursprünglichen Umgebung, häufig unter gleichzeitiger Veränderung des Materials.
- Bioresuspension:** Aufwirbelung der Sedimente mit der Folge des Abtransportes der Partikel durch Strömungen.
- Bioturbation:** Verwühlung der Sedimente in Gewässern, einschließlich der Watten, durch Organismen.
- Biostabilisation:** Verfestigung der Sedimente durch Organismen.

Die Begriffe „Bioresuspension“ und „Biostabilisation“ sind unseres Wissens bisher nicht benutzt worden, doch sollen die vier Wortbildungen, die die Kombination eines physikalischen Vorgangs mit der Vorsilbe „Leben“ bezeichnen, die breite Bedeutung der Organismen für die Sedimente aufzeigen.

Vom Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) wurde ein Forschungsvorhaben initiiert, das sich mit dem Schlick im Bereich der Nordseewatten befassen sollte. Die biologischen Arbeiten sollten sich auf die Makrofauna (Evertibraten > 0,5 mm) beziehen, und es sind zwei Fragenkomplexe, die in diesem Zusammenhang bedeutsam sind: Einerseits muß zur Beurteilung der Auswirkungen der Organismen auf das Sediment deren Leistung bezüglich des Sedimenttransportes bekannt sein, andererseits wird die Kenntnis der Populationsdynamik benötigt, um die Gesamtleistung einzelner Arten und der gesamten Lebensgemeinschaft abschätzen zu können. Beide Fragestellungen sind in ihrer Bearbeitung sehr aufwendig und konnten von uns nicht nebeneinander bewerkstelligt werden. Da für eine Abschätzung der Transportleistungen der Organismen Werte aus der Literatur herangezogen werden konnten, haben wir uns im biologischen Programmteil, in Absprache mit Hydrologen und Geologen, wesentlich um die Erfassung von Bestandsdichten im Testfeld des Büsumer Wats bemüht. Im Sahlenburger Watt wurden einige Daten zusätzlich gesammelt.

D a n k s a g u n g : Allen Beteiligten, durch deren Einsatz und Hilfe unser Projektteil ermöglicht und gefördert wurde, sei an dieser Stelle gedankt: dem Forschungsleiter des KFKI, Herrn Ltd. Baudirektor Dr. H. ROHDE und dem Geschäftsführer des KFKI, Herrn Ltd. Baudirektor J. SINDERN, für die Befürwortung unseres Vorhabens und für die Bereitstellung von Personal- und Sachmitteln aus Fonds des Bundesministeriums für Forschung und Technologie; dem wissenschaftlichen Koordinator des Projektes, Herrn Dr. K. FIGGE, Deutsches Hydrographisches Institut; dem Leiter des Dezernats für Gewässerkunde Büsum im Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide, Herrn Dr. Ing. P. WIELAND, und seinen Mitarbeitern für Beratungen und Diskussionen, für technische Hilfe bei den Außenarbeiten und für den verwaltungstechnischen Ablauf; den Kollegen der Geologisch-Paläontologischen Institute, Prof. Dr. R. KÖSTER und Dr. R. GAST, Kiel, Prof. Dr. E. T. DEGENS und Dr. S. KEMPE, Hamburg, für gute Zusammenarbeit und Diskussionen; den Studentinnen S. JAHNS, I. KIEHN und P. SCHEWE für die Bearbeitung von Probenmaterial und Frau Dipl.-Biol. B. MEIN für die Unterstützung bei den Auswertungen.

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiete

Als Probengebiete wurden durch die Forschungsgruppe das Sandwatt der Meldorfer Bucht und das Schlickwatt vor Sahlenburg ausgewählt (Abb. 1). Diese Gebiete boten sich für

Untersuchungen an, weil dort bereits in früheren Jahren wichtige Grundlagendaten ermittelt worden waren (ELWERT, 1977; SIEFERT, 1979).

Um Prognosen über die Ursachen des Schlickfalls und der Erosion erstellen zu können, waren simultane Messungen zahlreicher Naturvorgänge in Schlick- wie auch in Nicht-Schlickgebieten geplant. Erste Begehungen der bereits vorhandenen und vom Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide (ALW), Dezernat Gewässerkunde, Büsum, mit Pflöcken markierten fünf Profilschnitte in der Meldorfer Bucht ergaben, daß im Gebiet zwischen den Profilen I und II (südlich von Deichhausen) auf einer Fläche von ca. 1 km² die in der gesamten Bucht vorkommenden wesentlichen Sedimentarten vorhanden sein könnten.

Diese Annahme wurde durch detaillierte Untersuchungen, insbesondere der Arbeitsgruppe Küstengeologie der Universität Kiel, später bestätigt (GAST, KÖSTER u. RUNTE, 1984).

Vergleichende Untersuchungen biologischer Einflußgrößen auf die verschiedenen Watttypen (Schlick-, Misch-, Sandwatt) sollten sich daher in diesem Areal der Meldorfer Bucht durchführen lassen.

Da die Auswertung benthischer Proben und die Bestimmung der Organismen sehr aufwendig sind, wurde unter Berücksichtigung der vorhandenen Arbeitskapazität und des beschränkten Zeitraums das Büsumer Watt als Untersuchungsschwerpunkt gewählt. Das Sahlenburger Watt diente dem ergänzenden Vergleich.

Im Nordteil der Meldorfer Bucht, vor Deichhausen (Abb. 2), wurde im Büsumer Watt eine Testfläche ausgewählt, die von den bereits vorhandenen Profilen I und II des ALW Heide begrenzt war. Dieses etwa 1 km² große Gebiet wurde im Frühjahr 1978 mit einem Stationsraster – insgesamt 116 Stationen – versehen (Abb. 3a). Die Stationen wurden mit

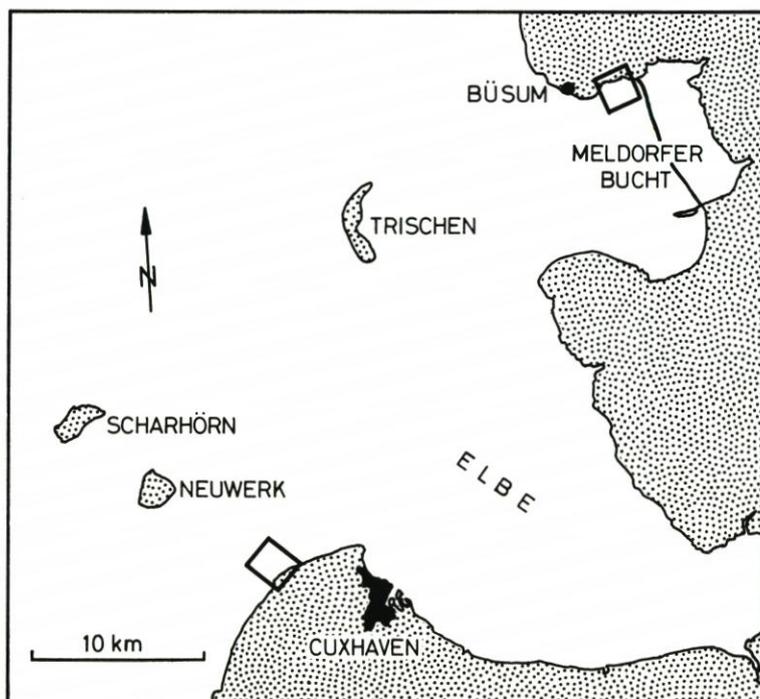


Abb. 1. Das Gebiet der Dithmarscher Bucht und der Elbmündung mit den Untersuchungsgebieten im Büsumer Watt und im Sahlenburger Watt



Abb. 2. Luftaufnahme der nördlichen Dithmarscher Bucht mit den Profilen I und II. Freigegeben durch L.A.H. 2782/79

Holzpflocken gekennzeichnet, deren Abstand untereinander etwa 100 m betrug. Nach der Zerstörung der Markierungen durch den Eisgang des Winters 1978/79 wurden die Stationen neu eingemessen und markiert, um die Untersuchungen fortsetzen zu können. Abb. 3b zeigt das Stationsnetz mit den veränderten Watthöhenlinien des Testgebietes nach der Vermessung des ALW Heide im Sommer 1979.

Im Sahlenburger Watt wurde ein Profilschnitt (Profil III) vor der Küste von Arensch eingerichtet (Abb. 4). Dieser Schnitt ging von einem Bühnenkopf aus, wurde mit dem Wasserturm Neuwerk als Fixpunkt eingepeilt und endete nach 1000 m auf dem „Profil Arensch“ der Forschungs- und Vorarbeitenstelle Neuwerk des Amtes für Strom- und Hafenaufbau, Hamburg.

2.2 Untersuchungen

Die Primärdaten aus diesem Programm sind auf Magnetband (Hewlett Packard 9815 A) gespeichert und werden im Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg aufgehoben.

2.2.1 Sedimentverteilung

Die Beschaffenheit der Sedimente an den einzelnen Stationen wurde während der Probenahme im Gelände abgeschätzt und nach den dort gewonnenen Erfahrungswerten anhand der Oberflächenfotografie klassifiziert. Vergleiche mit den von GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984) analysierten Silt-Gehalten ergaben eine gute Übereinstimmung der Resultate. Für die Auswertung der Daten des Jahres 1979 wurden die genaueren Werte der Laboranalysen dieser Autoren verwendet.

Als Klassifizierungsgröße verwendeten GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984) den prozentualen Anteil der Partikelgrößen kleiner als 63 μm . Bei dem Vergleich der von uns durchgeführten Sedimentsprache (Sand, Schlick-Sand, Schlick) mit den von GAST, KÖSTER u. RUNTE gefundenen Analysenwerten ergaben sich die in Tab. 1 zusammengestellten Beziehungen.

Tabelle 1
Beziehungen zwischen Grobsprache im Gelände und Analysenwerten von GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984)

Grobsprache im Gelände	Werte der Pipette-Analysen
Sand	< 15 % Silt
Schlick-Sand	15–35 % Silt
Schlick	> 35 % Silt

Bei der Übertragung der Daten auf Magnetband wurden die von uns ermittelten Sedimenttypen als Sandwatt = 10 %, Mischwatt = 25 %, Schlickwatt = 35 % aufgezeichnet.

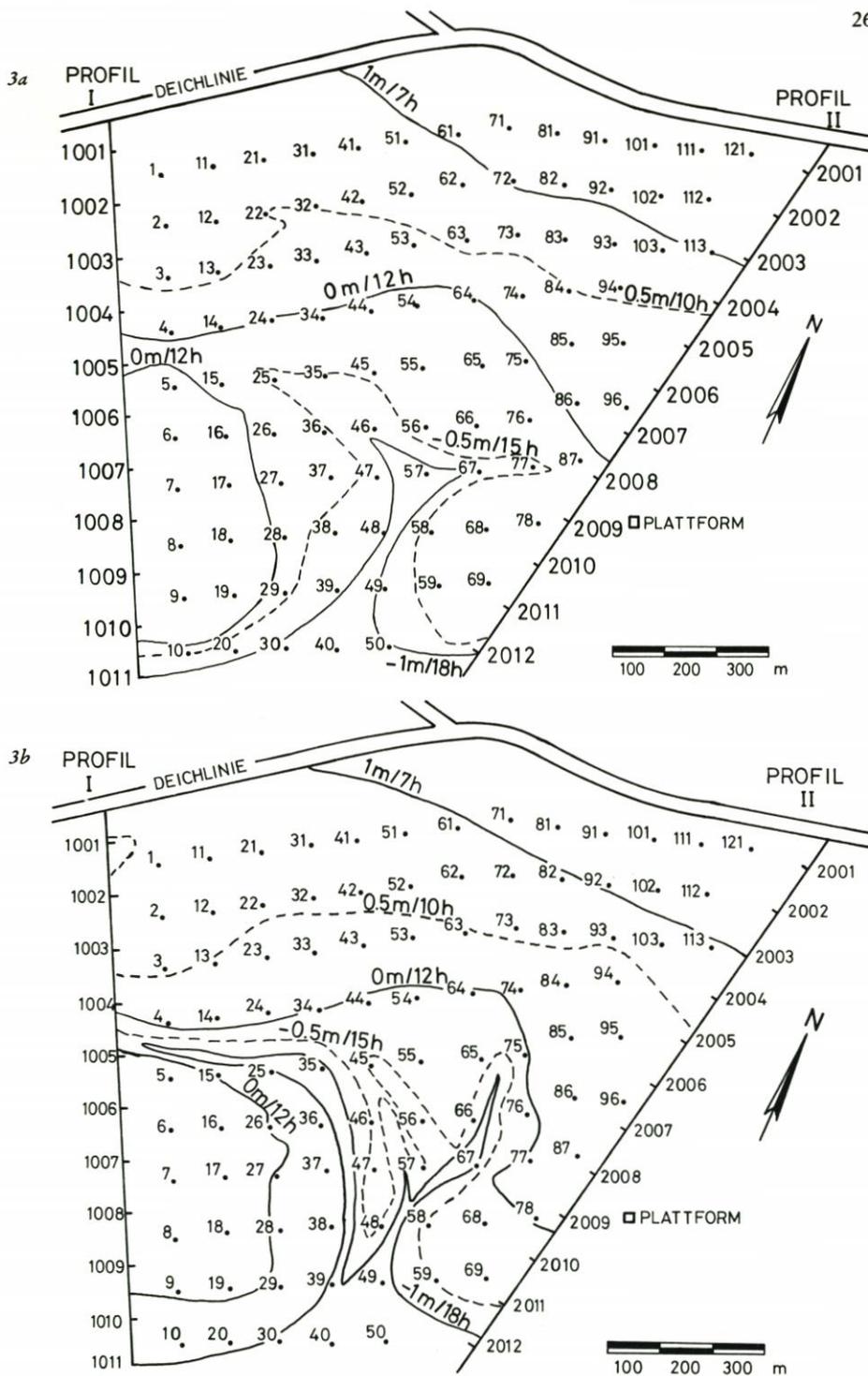


Abb. 3. Das Testfeld im Büsumer Watt, begrenzt durch Profil I (Stationen 1001-1011) und Profil II (Stationen 2001-2012), mit den Stationsnummern im Feld, mit Tiefenlinien (bezogen auf NNIOm) und Wasserbedeckungszeiten (12 h). ■ Beobachtungsplattform außerhalb des Testfeldes. 3a = 1978, 3b = 1979

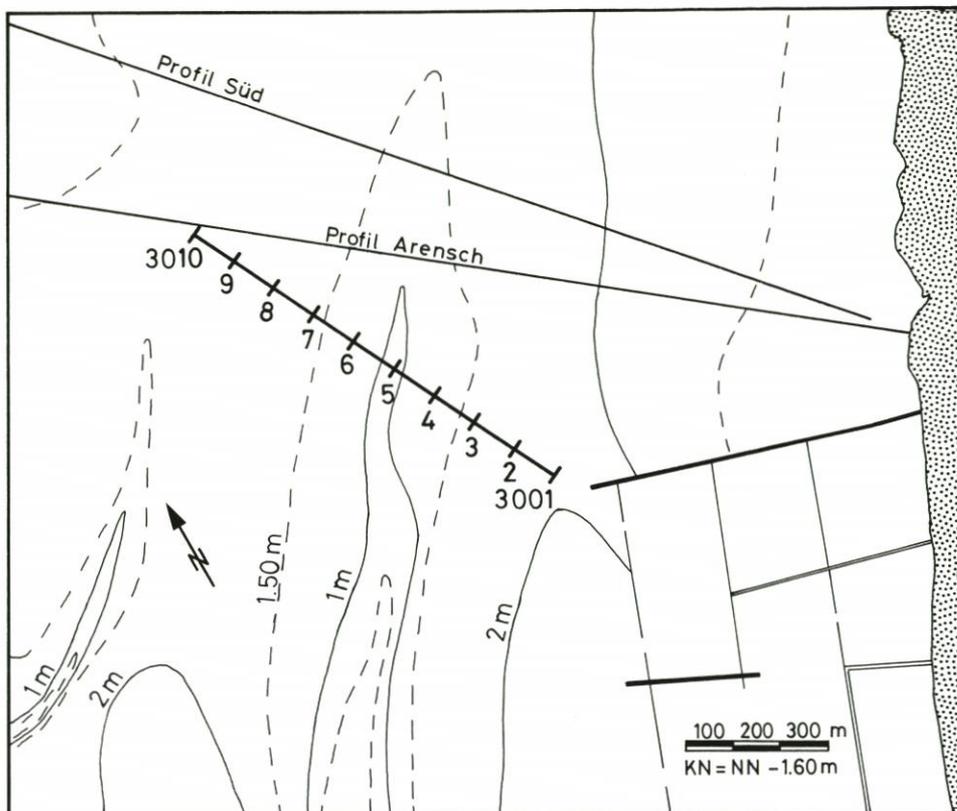


Abb. 4. Der Schnitt im Sahlener Watt mit den Stationen 3001–3010 und Tiefenlinien. Rechts im Bild Lahnungen

2.2.2 Wasserbedeckungszeit

Anhand des vom ALW Heide zur Verfügung gestellten Materials (Tidenkurven und Watthöhenaufnahmen) wurde für jede Station im Büsumer Watt die Wasserbedeckungszeit an den Probestritten errechnet und in die Auswertung einbezogen. Die theoretischen Wasserbedeckungszeiten sind in die Abbildungen 3a und 3b mit eingetragen.

2.2.3 Seston

Der Gehalt an Seston, der im Wasser suspendierten und sedimentierfähigen bzw. abfiltrierbaren Substanzen, ist für die Kalkulation der Leistung filtrierender Organismen bedeutsam. Die Arbeitsgruppen der Geologisch-Paläontologischen Institute der Universitäten Kiel und Hamburg, des ALW Heide und des Instituts für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg haben deshalb mehrfach den Seston Gehalt im Wattwasser bestimmt. Unsere Arbeitsgruppe verwendete dafür Schöpfwasserproben, die in halbstündi-

gem Abstand von der im Büsser Watt aufgestellten Forschungsplattform genommen wurden. Die Wasserproben wurden mittels der Filtrationseinrichtung SM 16510 von Sartorius und einer Unterdruckluftpumpe durch vorgewogene Membranfilter SM 11107 mit der Porenweite $0,2 \mu\text{m}$ filtriert. Danach wurde bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen.

2.2.4 Kohlenstoff-Stickstoff-Analyse, Wassergehalt und Glühverlust des Sediments

Um einen Anhaltspunkt über die Verteilung des organischen Anteils im Sediment zu haben und daraus Rückschlüsse auf Nahrungsangebot und Besiedlungsattraktion ziehen zu können, wurden an ausgewählten Stationen mit Hilfe eines Stechrohrs (Fläche der Öffnung = 1 cm^2) Sedimentproben entnommen und in 1-cm-Schichten in Glasröhrchen überführt. Die Proben wurden sofort gekühlt und unmittelbar nach der Rückkehr nach Hamburg eingefroren. Die oberste Schicht wurde jeweils benutzt, um nach Trocknung ($60^\circ\text{C}/24 \text{ h}$) und Homogenisierung (Kugelmühle/5 min) eine Analyse von Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) mit einem Elementar-Analyser Mod. 1104 der Firma Carlo Erba Strumentazione vorzunehmen.

Parallelproben wurden verwendet, um den Wassergehalt des Sediments zu bestimmen. Im Anschluß an die Trocknung des Sediments zur Bestimmung des Wassergehalts wurden die Proben bei 485°C verascht und so der Glühverlust (Anteil C_{org}) im Sediment bestimmt. Zur Bestimmung des gesamten im Sediment gebundenen Kohlenstoffs (C_{ges}) wurden weitere Parallelproben nach der Trocknung bei 600°C verascht.

2.2.5 Sedimentprofil-Kamera

Die Grenzschicht Sediment-Wasser wurde mit Hilfe einer Sedimentprofil-Kamera untersucht. Aufbau und Funktion der Kamera gehen aus Abb. 5 hervor. Ähnliche Vorrichtungen wurden von RHOADS u. YOUNG (1971) und RHOADS u. CANDE (1971) verwendet.

Eine 16-mm-Filmkamera wurde für Einzelbildschaltung, Blitzsynchronisation und Unterwassereinsatz umgerüstet. Vor dem Kameragehäuse wurde ein Klarsichtvorsatz (Wasser-Alkohol-Gemisch als Füllung) mit einem Umlenkspiegel befestigt. Mit der Schneidkante in das Sediment gedrückt, nimmt die Kamera Bilder vom Geschehen in der Wasser-Sediment-Grenzschicht und in der oberen Sedimentschicht auf.

Die Kamera wurde an Stationen mit verschiedenen Sedimenten und unterschiedlichen Strömungsverhältnissen eingesetzt. Insgesamt wurden ca. 220 m Farbfilm mit ca. 18 000 Einzelaufnahmen belichtet. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe eines Bildbetrachters und mit einem Filmprojektor, mit dem die Zeitraffereffekte sichtbar gemacht werden konnten.

Ziel der mit der Sedimentprofil-Kamera durchgeführten Fotografie war es, die Tidephasen mit besonderen Aktivitäten der Makrofauna herauszufinden und artspezifische Verhaltensweisen zu erkennen. Zusätzlich sollten Informationen über den Transport von Organismen bei größeren Wind- bzw. Strömungsgeschwindigkeiten gewonnen werden.

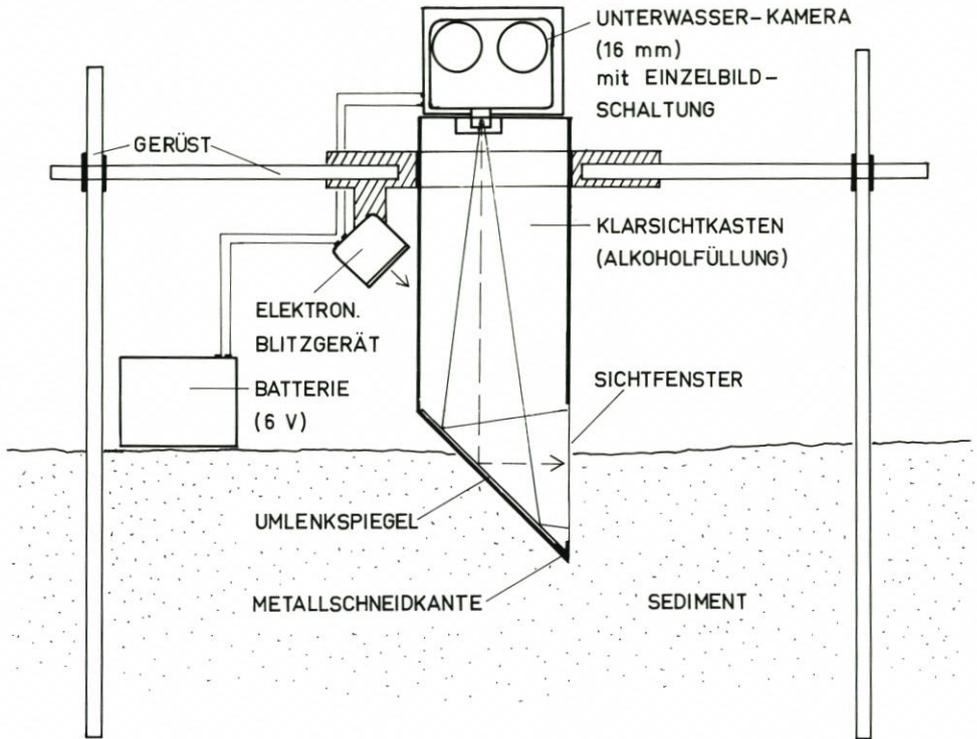


Abb. 5. Sedimentprofil-Kamera im Schema

2.2.6 Fotografie der Sedimentoberfläche

Da die Auswertung biologischer Sedimentproben einen erheblichen Zeitaufwand erfordert, hätte bei regelmäßiger Beprobung entweder auf die engmaschige Erfassung des gesamten Testfeldes verzichtet werden müssen, oder es hätten nur wenige Aufsammlungen gemacht werden können. Zur Erfassung der Sukzessionen einzelner Arten sind aber Untersuchungen in mindestens 1- bis 2monatlichen Abständen erforderlich. Um das Testfeld dennoch ganz erfassen zu können, wurde daher ein neues Verfahren getestet und später erfolgreich eingesetzt: Alle sechs Wochen wurden bei Niedrigwasser an jeder Station zwei Sedimentflächen von jeweils $\frac{1}{3}$ m² auf Farbdiafilm fotografiert.

Die Besiedlungsdichte der wichtigsten für die Sedimentumlagerung und Schwebstoffbindung verantwortlichen Organismen konnten wir auf diese Weise ausreichend genau quantifizieren und anhand von Vergleichsproben mit einem Stechrohr ermitteln, inwieweit die Fotografien den tatsächlichen Sachverhalt widerspiegeln. Mit der Oberflächenfotografie wurden neben der Besiedlungsdichte weitere Parameter erfaßt: Rippelform, -größe und -richtung, Verbreitung höherer Pflanzen und Algen sowie mit eingeschränkter Aussagemöglichkeit Sedimentfarbe und Sedimenttyp. Die Ausdehnung der Diatomeenrasen konnte ebenfalls (in 5 %-Stufen) abgeschätzt werden.

2.2.7 Makrofauna-Stechrohrproben

Um die Grundlagen für die weiteren biologischen Untersuchungen zu erhalten, wurden auf den Profilen I und II und im Testfeld Aufsammlungen der Makrofauna mit Hilfe eines Stechrohres vorgenommen. Das Rohr hatte die lichte Weite von 8 cm und ergab pro Einstich (Tiefe 10 cm) eine Probenmenge von ca. 500 ml Sediment. Die Proben (2 bis 3 Parallelproben pro Station) wurden in einem Sieb der Maschenweite 0,5 mm ausgewaschen. Der Rückstand wurde in 8prozentigem Formol konserviert. Im Labor erfolgten das Zählen und Bestimmen der Arten.

2.2.8 Biomassenbestimmung

Zur Bestimmung der Biomassen wurden jeweils alle Individuen einer Art und Probe benutzt. Die Tiere wurden bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, bei 485 °C im Muffelofen vier Stunden geglüht und erneut gewogen. Aus der Gewichts Differenz wurde das aschefreie Trockengewicht ermittelt.

3. Ergebnisse

3.1 Sedimentverteilung und Wasserbedeckungszeit

Die Kartierung der Sedimentverteilung im Büsser Testfeld wurde im Juli 1978 mit der regelmäßigen Oberflächenfotografie begonnen. Zur Klassifizierung der Sedimente wurden 661 Fotos aus dem Jahr 1978 und 988 Fotos aus dem Jahr 1979 analysiert.

Die in Abb. 6a dargestellten Sedimentverhältnisse zeigen Durchschnittswerte, die an vier Terminen zwischen Mitte Juli und Mitte November 1978 gewonnen worden sind. Sie basieren auf acht Aufnahmen je Station, zwei bei jeder Begehung.

Die Stationen 45, 46, 55 und 56 konnten 1978 an keinem der Termine erreicht werden, da die Schlickmächtigkeit eine Begehung im Zentrum des ehemaligen Baggerlochs nicht zuließ. Vor dem Deich lag ein 200 bis 300 m breiter Sandwattbereich, der seewärts in einen Mischwattstreifen von ca. 100–150 m überging und der das Schlickwattfeld im Zentrum des Testgebietes nahezu vollständig umschloß.

Für das Jahr 1979 ließ sich anhand der Fotografien eine deutliche Veränderung der Sedimentverhältnisse erkennen (Abb. 6b). Von sechs Fototerminen zwischen Mitte April und Mitte Oktober 1979 konnten jeweils 12 Fotografien pro Station für die Beschreibung der Sedimente ausgewertet werden.

Die 1978 wegen der großen Schlickmächtigkeit von uns gemiedenen Stationen waren ab Mai 1979 gefahrlos zu betreten. Im Baggerloch hatten sich die Sedimente offensichtlich konsolidiert. Eine Auswirkung auf die Korngrößenverteilung konnte jedoch nicht festgestellt werden, da die Vergleichsproben aus dem Jahr 1978 nicht genommen werden konnten. Der Sandwattbereich hatte sich im Vergleich zu 1978 unter Zurückdrängung des Mischwatts z. B. um die Stationen 3, 4, 11 und 13 ausgedehnt. Der 1978 in der 600-m-Linie (Abstand vom Deich) noch 700 m breite Schlickbereich war im Jahr 1979 nur noch etwa 400 m breit bzw. in

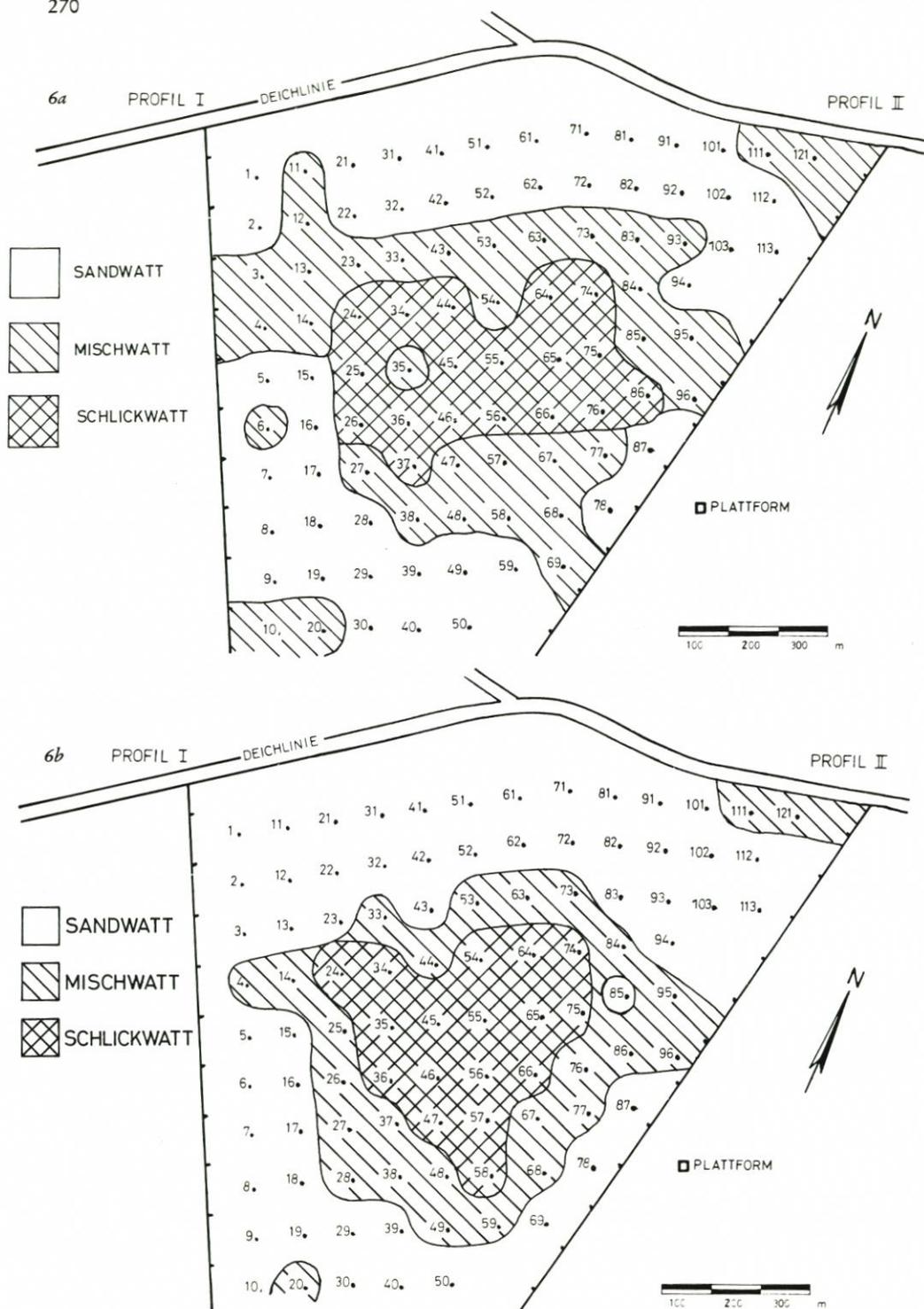


Abb. 6. Die Sedimentverteilung im Testfeld des Büsumer Watts nach der Oberflächenfotografie
 6a = im Sommer und Herbst 1978; 6b = von April bis Oktober 1979

seinen Randzonen zu einem Mischwatt geworden, und seine Schlickmächtigkeit war deutlich zurückgegangen. 1979 war der gesamte Schlick- und Mischwattbereich des Testfeldes von einem Sandwatt umgeben. Außer dem zentralen Gebiet mit hohem Schlickanteil war im Testfeld nur noch um die Stationen 111 und 121 ein kleiner schlickiger Bereich verblieben.

Für die Berechnung der Wasserbedeckungszeiten aller Probenorte und Termine von 1978 und 1979 wurde die Wathöhenaufnahme des Jahres 1979 verwendet. Der Bereich über $NN \pm 0$ m hatte sich von 1976 (Abb. 3a) bis 1979 (Abb. 3b) nur unwesentlich verändert, so daß die Verwendung der Höhendaten von 1979 auch für 1978 zulässig war.

3.2 Seston

Im Oktober 1978 und im Juni 1979 wurden 25 Oberflächen-Schöpfwasserproben auf ihren Sestongehalt untersucht. Die Proben wurden von der im Büsumer Watt in der Nähe des Testfeldes aufgestellten Forschungsplattform aus entnommen und ergaben im Juni bei ruhiger Wetterlage Suspensionswerte von 28 bis 80 mg Trockengewicht pro Liter. Der höchste Wert wurde zwei Stunden vor, der niedrigste bei Hochwasser gemessen. Mit der Sedimentprofil-Kamera waren Trübungsunterschiede im bodennahen Wasser direkt zu erkennen.

Der Mittelwert von 28 Sestonproben des Juni-Termins (41 mg/l) wurde für die Berechnung der Filtrations- und Depositionsleistung von *Cerastoderma edule* im Büsumer Watt verwendet.

3.3 Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wassergehalt des Sediments

Der Gesamtkohlenstoffgehalt des von makroskopisch erkennbarer Fauna gesäuberten Sediments lag in typischen Arealen des Untersuchungsgebiets im Büsumer Watt zwischen 0,5 und 5 % des Trockengewichts (Tab. 2). Die Werte lagen um so höher, je größer der Siltanteil im Sediment war (vgl. hierzu DEGENS u. KEMPE, 1980).

In Abb. 7 wird ein Beispiel für die Kohlenstoffgehalte einer typischen Stationsabfolge im Büsumer Watt während des Sommers 1979 wiedergegeben.

Die Werte für das Verhältnis C/N lagen im Büsumer Watt bei 14 und damit relativ hoch. Jedoch fand KEMPE (1980) identische Werte.

Tabelle 2

Kohlenstoffgehalt verschiedener Wattsedimente im Büsumer Testfeld, nach unterschiedlichen Methoden bestimmt. Kohlenstoff in % des Trockengewichts

	ohne makroskopisch erkennbare Fauna C-N Analyse	mit Fauna geglüht	
		bei 485 °C	bei 600 °C
Sandwatt	0,5-1	3	4,5
Mischwatt	1,5-2,8	3-7	6-9
Schlickwatt	2,5-5	7	9

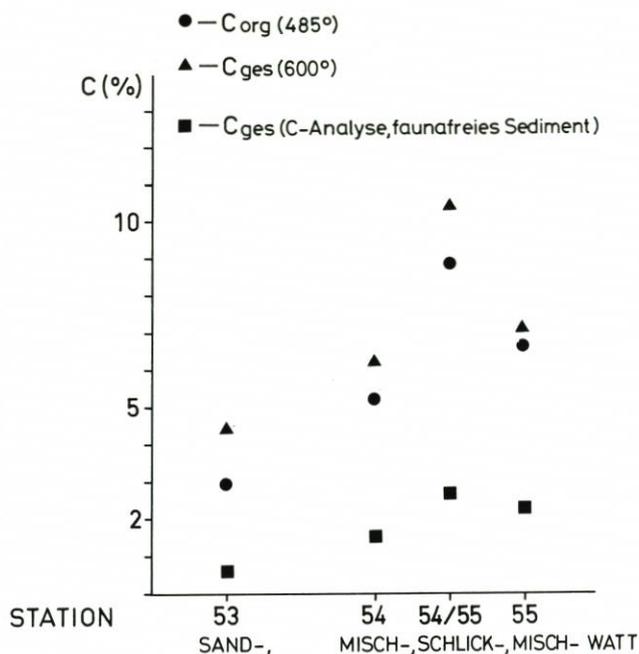


Abb. 7. Kohlenstoffwerte an vier Stationen des Testfeldes mit unterschiedlichen Korngrößenverteilungen (August 1979)

Der Wassergehalt der Sedimente lag im Testgebiet in der Regel zwischen 20 und 30 % (1 Stunde nach Freifallen der Oberfläche in den obersten 2 cm), wobei mit steigendem Siltanteil auch der Wassergehalt stieg. Für reine Schlickgebiete (Siltanteil > 50 %) wird im allgemeinen ein höherer Wassergehalt gefunden (POSTMA, 1967; RAGUTZKI, 1973), doch treten solche Werte im Testgebiet nur vereinzelt auf.

3.4 Makrofauna und Pflanzenbedeckung sowie deren Auswirkungen auf das Sediment

Im Verlauf der Untersuchungen wurden aus 310 ausgewerteten Stechrohrproben aus dem Büsser Watt die in Tab. 3 aufgeführten 29 Tierarten bestimmt. Mit * sind diejenigen Arten gekennzeichnet, die mit Hilfe der Wattoberflächen-Fotografie gezählt werden konnten. Nach Abschluß der Bestimmungsarbeiten und der Auszählungen wurden die Tiere zur Feststellung der Biomassen verwendet.

Wesentliche ökologische Bedeutung haben in marinen Lebensräumen häufig nur wenige Arten, und das gilt auch für das Watt (z. B. BEUKEMA, 1981). In der Darstellung beschränken wir uns daher auf die acht Arten, in Tab. 3 mit + gekennzeichnet, die durch die Auswirkungen ihrer Lebensäußerungen auf den Sedimentverband Bedeutung haben. Die anderen Arten sind für das von uns untersuchte Watt bezüglich der biogenen Sedimentgestaltung weniger wichtig, obwohl sich ähnliche Einflüsse von Tieren mit sich entsprechenden Lebensweisen in der Wirkung addieren können.

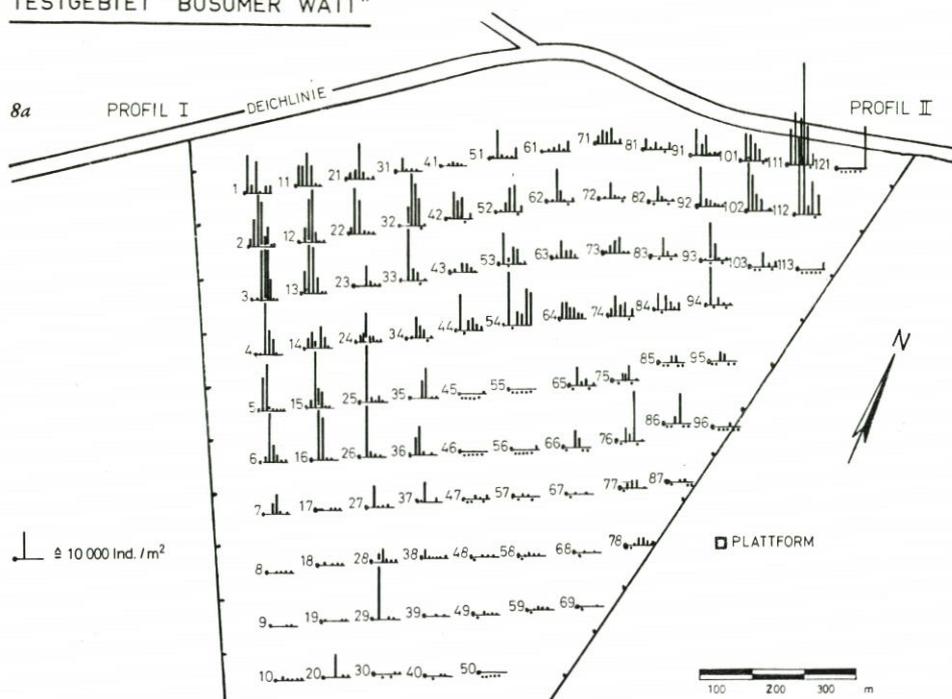
Tabelle 3
Artenliste

GASTROPODA		
<i>Hydrobia ulvae</i>	(PENNANT 1777)	+ *
<i>Littorina littorea</i>	(LINNÉ 1758)	*
<i>Retusa truncatula</i>	(BRUGUIÈRE 1792)	
BIVALVIA		
<i>Mytilus edulis</i>	LINNÉ 1758	*
<i>Cerastoderma edule</i> (<i>Cardium edule</i>)	(LINNÉ 1758)	+ *
<i>Spisula subtruncata</i>	(DA COSTA 1778)	
<i>Macoma balthica</i>	(LINNÉ 1758)	+
<i>Angulus tenuis</i>	(DA COSTA 1778)	
<i>Mya arenaria</i>	LINNÉ 1758	+ *
<i>Mysella bidentata</i>	(MONTAGU 1803)	
POLYCHAETA ERRANTIA		
<i>Eteone longa</i>	(FABRICIUS 1780)	
<i>Anaitides maculata</i>	(LINNÉ 1767)	
<i>Anaitides mucosa</i>	(OERSTEDT 1843)	
<i>Nereis diversicolor</i>	MÜLLER 1776	+
<i>Nephtys hombergii</i>	SAVIGNY 1818	
<i>Nephtys longosetosa</i>	OERSTEDT 1843	
POLYCHAETA SEDENTARIA		
<i>Scoloplos armiger</i>	(MÜLLER 1776)	
<i>Polydora ligni</i>	WEBSTER 1879	
<i>Pygospio elegans</i>	CLAPARÈDE 1863	+ *
<i>Tharix marioni</i>	(SAINT-JOSEPH 1894)	
<i>Heteromastus filiformis</i>	(CLAPARÈDE 1864)	+ *
<i>Scolelepis squamata</i>	(MÜLLER 1798)	
<i>Arenicola marina</i>	(LINNÉ 1758)	+ *
<i>Lanice conchilega</i>	(PALLAS 1766)	*
<i>Capitella capitata</i>	(FABRICIUS 1780)	
OLIGOCHAETA		
<i>Peloscolex benedeni</i>	(UDEKEM 1855)	
CRUSTACEA		
<i>Corophium volutator</i>	(PALLAS 1766)	*
<i>Crangon crangon</i>	(LINNÉ 1758)	
<i>Carcinus maenas</i>	(LINNÉ 1758)	

+ im Text behandelte Arten * fotografisch erfaßte Arten

Unsere Angaben zur Verbreitung der einzelnen Arten beruhen auf den Auswertungen der Stechrohrproben und der fotografischen Aufnahmen. Mit der Fotografie werden allerdings nur diejenigen Arten erfaßt, die an der Sedimentoberfläche vorkommen oder sichtbare Hinweise wie Kriechspuren, Löcher und Kothaufen hinterlassen. Dafür ließen sich aber auch Arten, die in tieferen Sedimentschichten vorkommen, wie z. B. *Arenicola marina* oder *Mya arenaria*, also nicht mit dem Stechrohr erfaßt wurden, gut quantifizieren. Auch die Dichte so empfindlicher Organismen, wie z. B. *Heteromastus filiformis*, die beim Sieben leicht zerstört werden, ließ sich durch Auszählen ihrer Kothaufen besser durch die Fotografie bestimmen. Auch die Algen- und Diatomeenbestände konnten fotografisch in ihrer Ausdehnung erfaßt werden.

TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"



TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"

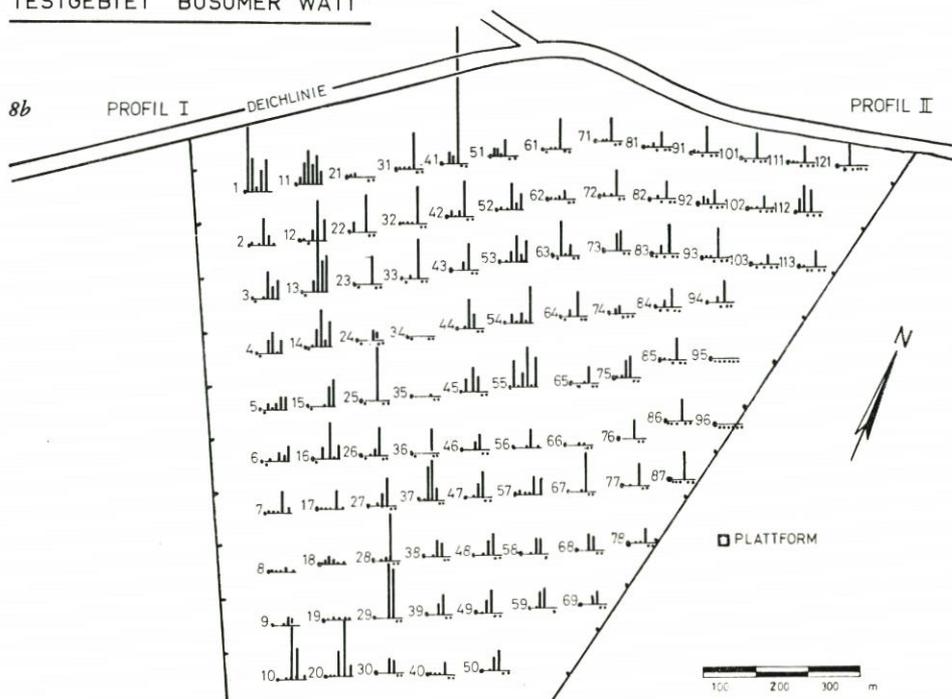


Abb. 8. Besiedlungsdichte von *Hydrobia ulvae* nach der Oberflächenfotografie. Ein Punkt (.) unter der Grundlinie gibt an, daß keine auswertbare Fotografie vorliegt.

8a = 1978: 18. 7., 28. 8., 11. 10., 8. 11.; 1979: 14. 4., 15. 5.

8b = 1979: 14. 6., 3. 7., 16. 8., 10. 10.; 1980: 4. 6., 15. 9.

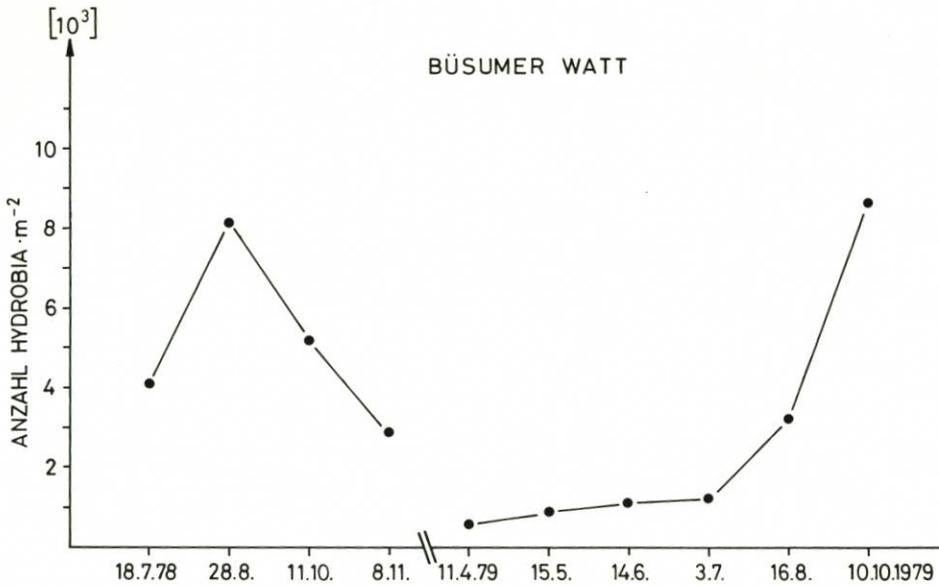


Abb. 9. Durchschnittliche Besiedlungsdichte von *Hydrobia ulvae* im Testfeld des Büsumer Watts von Juli 1978 bis Oktober 1979

3.4.1 *Hydrobia ulvae*

Beobachtungen: Im Büsumer Watt wurde *H. ulvae* das ganze Jahr hindurch auf allen Sedimenttypen mit allerdings unterschiedlichen Besiedlungsdichten gefunden (Abb. 8a und b). Abhängigkeiten in der Verbreitung von der Wasserbedeckungszeit konnten nicht festgestellt werden. Bevorzugt wurden von Pflanzen bedeckte Areale, die auch erhöhte Siltkonzentrationen aufwiesen. Beziehungen zum Diatomeenvorkommen ließen sich nicht feststellen. Hohe Abundanzen im Nordwesten des Testfeldes konnten nicht erklärt werden. Die höchsten Besiedlungsdichten lagen im Zeitraum August bis Oktober, die niedrigsten im April bis Mai (Abb. 9, Tab. 4).

Das erhöhte Individuenaufkommen im Spätsommer läßt sich mit dem vermehrten Auftreten von Jungtieren erklären, da die Reproduktionszeit der Wattschnecke im Frühsommer liegt. Diesen durchschnittlichen Besiedlungsdichten entsprechen die in Tab. 4 wiederge-

Tabelle 4

Mittel und Maximum der Besiedlungsdichte und der Biomasse von *Hydrobia ulvae* im Büsumer Watt

Zeit	Individuen/m ²		Biomasse in g/m ²	
	Mittel	Maximum	Mittel	Maximum
August 1978	8 100	55 000	1,3	9
Oktober 1979	8 600	53 500	1,4	8,7
April/Mai 1979	750	14 500	0,12	2,4

gebenen Biomassenwerte. Die durchschnittliche Abundanz im Untersuchungsgebiet über das Jahr gemittelt betrug 3450 Ind./m² mit einer mittleren Biomasse von 0,6 g/m².

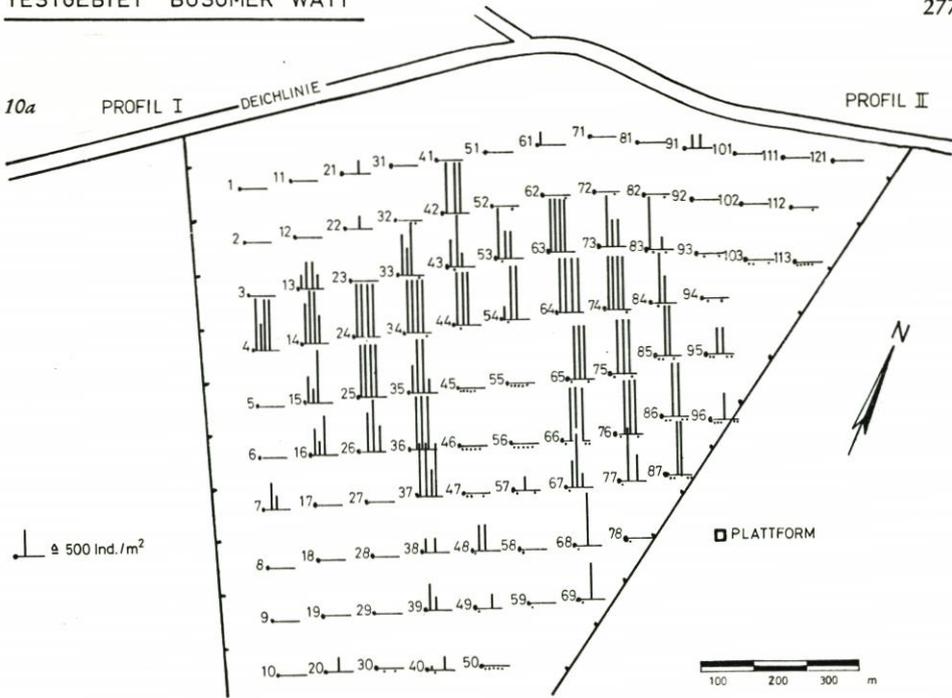
Diesen Werten für die Besiedlungsdichte liegt das aus der Fotoauswertung stammende Zahlenmaterial zugrunde. Da die Fotografie allerdings nicht diejenigen Schnecken erfassen kann, die unterhalb der Sedimentoberfläche leben, handelt es sich um Minimalwerte. So fanden wir z. B. im September 1978 in den Stechrohrproben durchschnittlich 134 200 Ind./m² (max. Dichte 673 000 Ind./m²!). Dies entspräche einem Faktor von 16, verglichen mit der Fotoauswertung vom Ende August 1978. Ein genereller Umrechnungsfaktor ließ sich nicht aufstellen. Eine Abschätzung der Besiedlungsdichte über das gesamte Gebiet aufgrund der Stechrohrproben ist nicht zulässig, da die Wattschnecke ein fleckenhaftes Verteilungsmuster aufweist, das durch die relativ geringe Öffnung des Stechrohrs nicht ausreichend erfaßt werden konnte.

Im Juni 1980 wurden auf dem Teststreifen im Sahlenburger Watt 20 900 Ind./m², im Meldorfer Watt auf dem Kleintestfeld zur gleichen Zeit 53 500 Ind./m² (Stechrohrproben) gefunden. Die gefundenen Durchschnittswerte liegen zwischen denen von BEUKEMA (1976) und MUUS (1967).

Biologie: Im Frühling bis Sommer reproduziert sich die Wattschnecke durch Eier, die häufig an die eigene Schale geheftet werden. Nach etwa 10 Tagen schlüpfen die Larven und machen eine kurze pelagische Phase durch (PILKINGTON, 1971). Eine wirksame Verbreitungsmöglichkeit dieser Schneckenart ist das „floating“, eine Verdriftung durch Anheften an der Unterseite der Wasseroberfläche (ANDERSON, 1971). Untersuchungen von SMIDT (1951) ergaben, daß sie nicht älter als 1,5 Jahre wird.

Die Schnecke ist in der Lage, Material, das an Sedimentkörnern haftet, als Nahrung aufzunehmen, indem sie kleine Partikel schluckt („deposit-feeder“) oder die Partikeloberfläche „abgrast“ („epipsammic-browsing“). Eine sehr wichtige Nahrungsquelle sind benthische Diatomeen (LOPEZ u. KOFOED, 1980). *Hydrobia ulvae* lebt auf und in verschiedenen Sedimenttypen. LOPEZ u. KOFOED beobachteten sie sowohl im Sand als auch im Wattenschlick. Im holländischen Wattenmeer fand BEUKEMA (1976) eine durchschnittliche Besiedlungsdichte von 866 Ind./m² und eine Biomasse von 0,2 g/m². MUUS (1967) stellte Besiedlungsdichten von 20 000 bis 30 000 Ind./m² fest.

Auswirkungen auf das Sediment: Die Auswirkungen dieser kleinen Schnecke auf die Sedimentbeschaffenheit sind bisher nicht untersucht worden. Es sind drei Aktionen, die sich auf den Sedimentverband auswirken dürften. Das Kriechen der Schnecken ist mit Schleimabsonderung und Partikelbindung verbunden, die auch durch die Ausscheidung von Kot bewirkt werden kann. Beim Fressen werden Partikel aus ihrem Verband gelöst, so daß mit einer gewissen Lockerung der Sedimentstruktur zu rechnen ist. Die gleiche Wirkung hat auch das Kriechen in der Sedimentoberfläche, die dabei aufgeraut und von Strömungen dann leichter erodiert wird. Diese Vorgänge sind nicht zu quantifizieren, die hohe Anzahl von Hydrobiden läßt jedoch vermuten, daß ein Einfluß auf die Stabilität der Sedimente vorhanden ist. LOPEZ u. KOFOED (1980) fanden bei Schnecken von 4–4,5 mm eine Freßrate von 0,6 mg Sediment/Tier und Stunde bei einer Korngröße von 40–80 µm, 0,46 mg bei 80–100 µm. Bei Individuendichten von 20 000 Exemplaren werden also etwa 10 g Oberflächensediment/Stunde aufgenommen, im Darmtrakt umgearbeitet und ausgeschieden. Es ist allerdings nicht möglich, diesen Wert zu extrapolieren, da die Tiere nicht dauernd fressen. Das ist einerseits von der Wasserbedeckungszeit am Standort abhängig, andererseits zeigt *Hydrobia* auch Aktivitätsunterschiede zur Flutzeit, wie dieses aus den Aufnahmen mit der Sedimentprofil-Kamera in der Zeitrafferdarstellung deutlich wurde. Die Wanderungs- und wahrscheinlich auch die Freßaktivität waren für 1,5 Stunden vor und nach Hochwasser eingeschränkt.



TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"

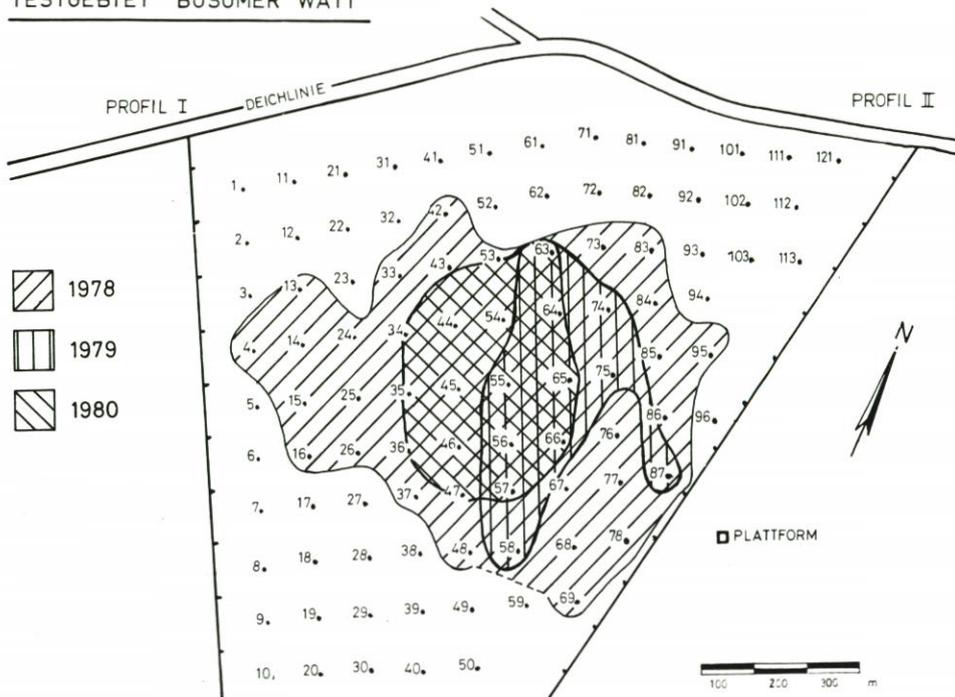


Abb. 10. Besiedlungsdichte von *Cerastoderma edule* (früher *Cardium edule*) nach der Oberflächenfotografie. Ein Punkt (.) unter der Grundlinie gibt an, daß keine auswertbare Fotografie vorliegt.

10a = 1978: 18. 7., 28. 8., 11. 10., 8. 11; 1979: 14. 4., 15. 5.

10b = 1979: 14. 6., 3. 7., 16. 8., 10. 10; 1980: 4. 6., 15. 9.

TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"

Abb. 11. Die Verlagerung des *Cerastoderma edule*-Feldes im Testfeld 1978-19803.4.2 *Cerastoderma edule* (früher: *Cardium edule*)

Beobachtungen: Verbreitung und Häufigkeit von *C. edule* im Büsumer Watt sind in den Abb. 10a und 10b wiedergegeben. Im Büsumer Testfeld sowie im Sahlenburger Watt trat diese Art nach unseren Feststellungen nicht in den höheren Wattbereichen auf. Der Silt-Ton-Gehalt bei 20 % der Stationen lag bei < 15 %, bei weiteren 20 % der Stationen wurde ein Silt-Ton-Gehalt von 15-35 % festgestellt; die übrigen Stationen wiesen größere Anteile dieser Korngrößenfraktionen auf. Nach GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984) kommt *C. edule* in der Meldorfer Bucht stets auf Schlicksandflächen und seltener im Schlickwatt vor. Der bei diesen Autoren definierte Schlicksand 2 enthält 20-30 % Ton-Silt-Anteile.

Die höchsten Besiedlungsdichten traten im Büsumer Watt im Zeitraum Juli 1978 bis November 1978 auch an den Schlickstationen mit durchschnittlichen Dichten von 800 adulten Ind./m² und einer Biomasse von 115 g/m² auf (Abb. 10a und 10b). Die Maximalwerte erreichten 1400 Ind./m² im Sommer. An den schlickigen Sandstationen fanden sich in diesem Zeitraum 300 Ind./m², an den Stationen mit sandigem Sediment nur 100 Ind./m². Im strengen Winter 1978/79 wurden im Büsumer Watt alle Herzmuscheln durch die langanhaltenden niedrigen Temperaturen getötet. Während bis Anfang Juli eine Neubesiedlung noch nicht stattgefunden hatte, fanden sich Ende Juli und Mitte August 8600 bzw. 7700 Exemplare/m² (\bar{x} aus 18 bzw. 21 Proben). Bis zum Frühsommer 1980 war die Population stark dezimiert. Die Veränderungen des *Cerastoderma*-Feldes während der Jahre 1978/1980 sind in Abb. 11 dargestellt.

Die Individuenzahlen in den Stechrohrproben waren etwa doppelt so hoch wie die aus der Fotoauswertung stammenden Werte. Es zeigte sich aber, daß etwa 50 % der in den Stechrohrproben erfaßten Tiere kleiner als 1 cm waren und daß die Werte für die Adulten gut übereinstimmten. Da für die Abschätzung der Filtrier- bzw. Biodepositionsleistung nur Anzahlen der adulten Organismen verwendet wurden, stellten die Daten aus der Fotoauswertung eine gute Berechnungsgrundlage für die Leistung der Herzmuscheln im Büsumer Watt dar.

Biologie: Die Laichperiode von *C. edule* beginnt im späten Frühling und zieht sich bis in den Sommer hinein. Die planktisch lebenden Larven werden während des ganzen Sommers gefunden (JÖRGENSEN, 1946). Nach der Metamorphose können die Juvenilen vier Wochen mit der Strömung transportiert werden, bis sie eine Größe von etwa 2 mm erreicht haben. Diese Phase endet mit der Ablagerung der jungen Muscheln an ruhigen Plätzen mit feinkörnigen Sedimenten (BAGGERMANN, 1953). Die Herzmuschel gräbt sich direkt unter die Sedimentoberfläche ein. Nach KREGER (1940) und nach KRISTENSEN (1957) toleriert diese Art verschiedene Sedimenttypen, besiedelt aber hauptsächlich muddigen Sand. EISMA (1966) beobachtete die Bevorzugung von Sedimenten zwischen Korngrößen von 2,75 und 3,30 Φ und einem Silt-Ton-Gehalt von mindestens 5%. *C. edule* wird nicht so sehr von der Sedimentbeschaffenheit als vielmehr von den begleitenden hydrodynamischen Bedingungen beeinflusst. Die Strömungsgeschwindigkeit darf nicht so hoch sein, daß die Muscheln aus dem Sediment gewaschen werden, sie sollte aber so groß sein, daß genügend Nahrung herantransportiert wird und keine Übersichtung mit Detritus erfolgt.

OHDE (1981) hat Ergebnisse aus Korrelationsanalysen vorgelegt, in denen die Organismenverteilung in ihrer Abhängigkeit von Strömungs- und Transportbedingungen für das Neuwerker Watt analysiert werden. Dabei zeigte sich, daß die Verteilung von *C. edule* in starkem Maße von hydrodynamischen Faktoren bestimmt wird und die ursprünglichen Besiedlungsmuster durch die Larven selten erhalten bleiben. Die stark kugelförmigen Muscheln bieten der Strömung eine relativ große Angriffsfläche, und sie werden daher auch leicht transportiert. Das ist auch auf unseren Aufnahmen mit der Sedimentprofil-Kamera erkennbar. Schon bei relativ geringen Strömungsgeschwindigkeiten wurden große *C. edule* durch das Blickfeld der Kamera rollend oder schwebend gedriftet. Die Muscheln werden frühzeitig aus dem Sediment gespült, wenn sie bei aktiver Ortsveränderung in der Sedimentoberfläche wandern und über diese hinausragen. Die Strömungen wirken sich natürlich auch auf den Sedimenttransport aus, so daß dem Äquivalentdurchmesser entsprechend eine gemeinsame Ablagerung und eine Korrelation zwischen Korngröße und Muschelvorkommen zustande kommen. Es müssen jedoch auch historische Aspekte der Populationen in diese Überlegungen einbezogen werden. Während der Larvenfall zunächst in weiten Bereichen geschehen kann, kommt es für die Verteilung der Muscheln auf die späteren Transportbedingungen an. Die Position unter der Sedimentoberfläche führt zu Freispülungen und zum Transport schon bei schwachen Strömungen; die Muscheln graben sich jedoch später wieder in die obere Sedimentschicht ein. Hat *C. edule* jedoch die Möglichkeit, über einen längeren Zeitraum an einem Standort liegenzubleiben, so kann sie aus dem örtlichen Transportgeschehen „herauswachsen“, also aufgrund ihrer Größe liegenbleiben und folglich in gröberen Sedimenten auftreten. Das geschieht offensichtlich in stärkerem Maße in den tiefer gelegenen Teilen des Wattes, wo bei längerer Wasserbedeckungszeit die Fresszeit länger und damit das Wachstum stärker ist. Andererseits wird das Korngrößenspektrum durch die Filtrierleistungen und die Abgabe von Kotballen, die nach einiger Zeit in feinpartikuläres Material zerfallen, mitbestimmt.

Die Exposition des Standortes und die hydrodynamischen Bedingungen im Ablauf eines

Jahres spielen also eine wesentliche Rolle für die Verteilung von *C. edule*, und lokale Unterschiede, in der Meldorfer Bucht oder im Büsumer Watt, dürften daraus erklärbar, wenn auch im einzelnen nicht nachweisbar sein.

Auswirkungen auf das Sediment: *C. edule* gewinnt ihre Nahrung durch Filtration des Bodenwassers, in dem sie ihren Einströmsiphon kurz über die Sedimentoberfläche streckt. Durch die Abgabe von Kotballen ist sie für die Biodeposition und die damit verbundene Schlickbildung im Watt von großer Bedeutung. WILLEMSEN (1952) beobachtete eine Pumprate von 0,5–2,5 l/h (17–20°C). Die Pumpaktivität betrug mindestens 12 h/Tag. Nach VAHL (1972) liegt die Pumprate noch höher und erreichte 2 l/h bei einer Temperatur von 10°C. Die Diskrepanz wird damit erklärt, daß WILLEMSEN im Gegensatz zu VAHL kleinere geschlossene Systeme ohne Sand zum Eingraben für seine Experimente benutzte. Daher scheinen VAHLs Werte eher den natürlichen Bedingungen zu entsprechen. DAMAS (1935) berechnete eine „fecal pellet“-Produktion von 10 800 fecal pellets/Tier und Tag, entsprechend einem Volumen von 3240 mm³ Faeces/Tier und Tag.

Nach VAHL wurden in Experimenten etwa 0,5 g Kotmaterial von adulten Individuen pro Tag abgegeben. Verwenden wir diesen Wert zur Berechnung für das Büsumer Watt mit maximaler Besiedlungsdichte von 1400 Ind./m², so würden 700 g Schlicksediment/m² und Tag entstehen. Bei einem spezifischen Gewicht von 2 würde eine Aufschlickung von 0,35 mm/Tag oder von 10,5 mm/Monat bewirkt werden. In diesem Maximalwert der Biodeposition sind die Juvenilen nicht mit einbezogen.

Tatsächlich findet man zeitweise im Watt die obere Bodenschicht ausschließlich aus Kotballen zusammengesetzt (siehe auch GAST, KÖSTER u. RUNTE, 1984). Sie besitzen durch Schleimabsonderungen der Muscheln eine gewisse Stabilität. Mechanisch und bakteriell werden sie nach einiger Zeit abgebaut und zerfallen wieder in ihre ursprünglichen, kleinen Bestandteile der Schwebstofffracht. Während die Kotballen wegen ihrer Größe weniger leicht transportiert werden, können die feinen Grundbestandteile resuspendiert und umgelagert werden. Dadurch kommt es zwar regelmäßig zur Biodeposition aus den Schwebstoffen und durch Einarbeitung des Materials in das Sediment auch zur Materialvermehrung, die Aufschlickung am selben Ort bleibt jedoch langfristig nur gering oder kann sogar durch Strömungen ganz verhindert werden. Diese Abhängigkeit vom Wassertransport führt auch zu jahreszeitlichen Unterschieden in der Sedimentzusammensetzung. In den Sommer- und Herbstmonaten sind die Biodepositionsraten höher und die mechanischen Einflüsse geringer als in den Winter- und Frühlingsmonaten.

3.4.3 *Macoma balthica*

Beobachtungen: Sowohl im Büsumer als auch im Sahlenburger Watt wies die Plattmuschel nach den Stechrohrproben vorwiegend eine gleichmäßige Verteilung über die Sedimenttypen auf. Im August 1978 traten im Büsumer Testfeld bis zu 550 Ind./m² (Biomasse: 8,4 g/m²) auf. Im September 1978 wurden Sedimente mit hohem Siltgehalt bevorzugt besiedelt: 360 Ind./m² (< 15 % Silt), 730 Ind./m² (15–35 % Silt) und 2580 Ind./m² (> 35 % Silt). Im Gegensatz zu *C. edule* überlebte diese Art den extremen Winter 1978/79, da sie in einer Sedimenttiefe bis 10 cm vorkommt (BEUKEMA, 1981). Im April 1979 stellten wir eine durchschnittliche Besiedlungsdichte von 160 Ind./m² auf dem Schnitt von Station 51 bis 59 fest, im Juni 1980 waren es 770 Ind./m². Im Sahlenburger Watt betrug die Dichte hingegen 1500 Ind./m². Die Organismen waren wieder gleichmäßig über die Sedimenttypen verteilt. Zu den

Adultbeständen kam im Sommer 1979 eine Neuansiedlung Juveniler mit Durchschnittswerten von 13 000 (Anfang Juli), 14 400 (Ende Juli) und 9000 (Mitte August) Ind./m².

Biologie: Die Plattmuschel laicht in den Monaten April und Mai (LAMMENS, 1967). Sie hat pelagische Larven (JÖRGENSEN, 1946). Die Muschel ernährt sich als selektiver Substratfresser und Filtrierer (BRAFIELD u. NEWELL, 1961) und nimmt Nahrung von der Sedimentoberfläche oder aus dem bodennahen Wasser auf. *M. balthica* kommt auf allen sandigen Sedimenten vor, bevorzugt jedoch feinere Korngrößen (WOLFF, 1973). KÖSTER u. GAST (1984) fanden diese Art in der Meldorfer Bucht hauptsächlich in schlickigen Arealen (z. B. Wöhrdener Hafen). *M. balthica* ist die Charakterart der Wattenbiozösen, obwohl sie oft nur in geringer Anzahl vorkommt. SMIDT (1951) fand im dänischen Wattenmeer Besiedlungsdichten von 100 Ind./m², BEUKEMA (1976) im holländischen Watt Durchschnittszahlen von 113 Ind./m² mit einer Biomasse von 2,2 g/m². Nach MUUS (1967) liegt die geringe Häufigkeit an der Kombination von starken Temperatur- und Salzgehaltsfluktuationen, wie sie im Watt auftreten.

Auswirkungen auf das Sediment: *M. balthica* ist zwar nicht so häufig wie *Cerastoderma edule*, sie ist aber regelmäßig auf groben Flächen anzutreffen und ist deswegen für Bioturbation und Biodeposition von Bedeutung. Auf der Grundlage der von BUBNOVA (1972) bestimmten Depositionswerte errechnet sich für 200 adulte Individuen eine Kotballenabgabe von 8,6 g/m² und Tag, entsprechend etwa 4,3 cm³. Bliebe alles Material auf der Sedimentoberfläche liegen, so ergäbe sich eine Zuwachsschicht von 0,14 mm/Monat bei maximaler Freßaktivität. Bei maximaler Besiedlungsdichte von 2850 Ind./m² errechnet sich eine Tagesrate von 122 g oder 66 cm³/m². Freß- und Biodepositionsleistung der Juvenilen sind nicht bekannt.

3.4.4 *Mya arenaria*

Beobachtungen: Im Büsumer Watt war *M. arenaria* über den gesamten Untersuchungszeitraum anzutreffen. Quantitative Aussagen zu ihrem Vorkommen können wir jedoch nur mit Einschränkungen machen, da bei der Stechrohr-Probenentnahme der große Anteil der adulten Tiere, die tiefer als 10 cm im Sediment leben, nicht erfaßt wurde und auf der Fotografie nur die intakten Sipholöcher auswertbar sind. Diese können je nach Sedimentbeschaffenheit und Größe der Muschel einstürzen, so daß Zählungen der Löcher in den meisten Fällen zu geringe Werte ergeben.

1979 konnte nach dem kalten Winter die Neubesiedlung durch Juvenile dokumentiert werden. Anfang Juli wurden 18 000, Ende Juli 100 000 und Mitte August 78 000 Ind./m² beobachtet. Nach dem Larvenfall findet dann – wie bei allen Arten – eine drastische Verringerung statt. Im Juni 1980 wurden in den oberen 10 cm im Büsumer Watt an den Stationen 51–59 des Teststreifens 130 Ind./m² gefunden, auf dem Sahlenburger Teststreifen 300 Ind./m². Nach stürmischer Witterung konnten jedoch wiederholt freigespülte adulte Klaffmuscheln in Lebendstellung beobachtet werden, die großflächige Felder bildeten, von uns aber nicht erfaßt worden waren (Abb. 12).

Biologie: Die Reproduktionszeit von *M. arenaria* liegt im Sommer (JUTTING, 1943). Sie ernährt sich als „langsamer“ Filtrierer (THAMPDRUP, 1935; MANN, 1952). Die Larven siedeln zunächst auf fast allen Sedimenttypen; sie können dann aber durch Strömungen und Wellen umverteilt werden, ein Vorgang, der auch als sekundärer Larvenfall bezeichnet wird. Die Neuansiedlung der Jungtiere ist dann im starken Maße von der Größe und dem resultierenden Transport abhängig (OHDE, 1981). Erst bei einer Schalenlänge von 6 cm graben



Abb. 12: Bei starker Erosion wird *Mya arenaria* in Lebendstellung im Watt freigespült

sie sich so tief ins Sediment ein, daß ihr Transport durch Strömungen nicht mehr möglich ist (OHDE, 1981). Wegen ihres geringen Grabvermögens bevorzugen sie feine, relativ erosionsfreie Sedimente (WOLFF, 1973). Nach Stürmen sieht man im Watt häufig freigespülte *Mya*, die dann absterben müssen (KÜHL, 1955). Diese Art ist gegenüber kalten Wintern sehr viel resistenter als die näher an der Oberfläche lebende Herzmuschel. BEUKEMA (1976) fand im holländischen Watt durchschnittliche Besiedlungsdichten von 8 Ind./m², entsprechend einer Biomasse von 4,6 g/m².

Auswirkungen auf das Sediment: Im Verhältnis zu ihrer Größe filtert *Mya arenaria* nach ALLEN (1962) nur sehr wenig Material. 100 Exemplare erbringen eine Leistung von 2,5 g/m² und Tag, etwa 1,3 cm³, oder nur 0,04 mm/m² u. Monat. In dichten Ansiedlungen von Jungmuscheln dürfte die Ablagerung von Sediment höher sein.

Kurzzeitig kann das Sediment durch die Juvenilen von *M. arenaria* stabilisiert werden. Die erst wenige Millimeter großen Tiere spinnen Byssus-Fäden, die nach LINKE (1939) bei hoher Siedlungsdichte das Sediment als enges Geflecht durchziehen und so die Erosion mindern.

3.4.5 *Nereis diversicolor*

Beobachtungen: Die Besiedlungsdichte von *N. diversicolor* war im Büsumer Watt fast durchgehend relativ gleichmäßig. Als Durchschnittswert wurden 200 Ind./m² (Biomasse 2 g/m²) ermittelt. Die Besiedlungsdichte lag an den schlickigen Stationen über dem Durchschnitt. Im Frühjahr 1979 wurden nach dem extremen Winter zunächst keine Exemplare gefunden, im Mai aber war die Art wieder im Gebiet vertreten. Auf dem Teststreifen im Sahlenburger Watt betrug die Besiedlungsdichte im Juni 1980 160 Ind./m². Diese Werte

basieren auf den Stechrohrproben, da die Fährten dieses Polychaeten auf den Fotos nicht immer eindeutig zu identifizieren waren.

Biologie: Die Reproduktion von *N. diversicolor* wurde unter anderem von DALES (1950) untersucht. Das Laichen findet meistens im Frühling bei Wassertemperaturen über 5 °C statt. Die Laichzeit kann sich jedoch auch bis in den August erstrecken (HEIP u. HERMAN, 1979). Die Eier werden durch Zerreißen der Körperwand in die Grabgänge der Tiere abgelegt. Die Larven sind nicht pelagisch, aber so leicht, daß sie von der Strömung aufgewirbelt und forttransportiert werden können (WOLFF, 1973). Die jungen Bodenstadien wandern innerhalb der Gezeitenzone (SMIDT, 1951).

N. diversicolor verfügt über verschiedene Ernährungsmethoden (GOERKE, 1966 u. 1971; MUUS, 1967). Er ist ein Substratfresser, der unsortiert oder auch selektiv lebende und tote Nahrung von der Sedimentoberfläche aufnimmt. GOERKE (1966) beobachtete, daß *N. diversicolor* mit Hilfe eines Sekretes zwischen den Borsten der vorderen Parapodien ein trichterförmiges Filternetz zu bauen in der Lage ist. Durch Undulationsbewegungen des Körpers erzeugt er einen Wasserstrom, so daß Partikel im Netz hängen bleiben, die dann zusammen mit dem Netz aufgenommen werden.

N. diversicolor ist eine ausgesprochen euryöke Art. Im lotischen Bereich der Küsten ist sie in gröberen bis feinen Sanden, im lenitischen Bereich vom sandigen Schlick bis zum Faulschlamm anzutreffen. Sie besiedelt auch sandige Sedimente mit *Zostera*- oder *Ulvabewuchs* (HARTMANN-SCHRÖDER, 1971). In der Nordsee findet man die Art sowohl in detritusreichen Sänden, z. B. in der *Corophium*-*Pygospio*- und in der *Arenicola*-*Cerastoderma*-Zone, als auch auf Weichböden mit H₂S-Bildung in der *Peloscoclex*-*Capitella*-Region (LINKE, 1939; REMANE, 1940). Sie besiedelt auch Wattflächen, die nur 1 bis 2 Stunden pro Tag überflutet werden (HARTMANN-SCHRÖDER, 1971).

Trotz dieses hohen ökologischen Potentials fehlt diese Art an einigen Stellen im Bereich der Nordsee. Dies mag an der Instabilität der Sedimente liegen, welche den Bau von Gängen verhindert, kann aber auch durch Räuber oder Konkurrenten bedingt sein. Die Besiedlungsdichten variieren stark, z. B.: im Tees Ästuar 55–300 Ind./m², in dänischen Ästuarien 5000 Ind./m² (MUUS, 1967), im Diviengat 5–17 Ind./m² (HEIP u. HERMAN, 1979), im holländischen Watt 36 Ind./m² (BEUKEMA, 1976). BEUKEMA fand eine durchschnittliche Biomasse von 1,4 g/m² (Trockengewicht).

Auswirkungen auf das Sediment: *N. diversicolor* hat einen relativ hohen Anteil an den bioturbaten Vorgängen im Sediment. Er gräbt Gänge im Sediment, die sich unregelmäßig verzweigen und mehrfach an der Oberfläche ausmünden. Dieses Gangsystem reicht bis in eine Tiefe von 20–40 cm, und der Einzelgang mißt 3–7 mm im Querschnitt. Die relativ stabilen Gänge sind mit einer Schleimschicht ausgekleidet, in der sich häufig Eisenoxidhydrat durch den Transport sauerstoffreichen Wassers innerhalb anoxischer Sedimente abscheidet. Die Mündungen der Gangsysteme sind oft durch sternförmige Kriechspuren auf der Sedimentoberfläche zu erkennen (THAMDRUP, 1935; LINKE, 1939). Wird der Bau von neuen Sedimentschichten überlagert, so muß der Wurm zur neuen Oberfläche durchstoßen. *Nereis* ruft im Sediment zwei verschiedene Spuren hervor: Hohlformen mit verfestigten Wänden und einfache Schichtzerstörung und Flexuren, die den Wühlweg des Wurmes bezeichnen (SCHÄFER, 1956). RENFRO (1973) quantifiziert die Wühlaktivitäten von *Nereis diversicolor* wie folgt: Wühltiefe: bis 30 cm; Wühlgeschwindigkeit: bis 3,2 cm/h; Wühlleistung: 0,1 cm³/h. Da die Tiere sicherlich nicht dauernd aktiv sind, läßt sich der Sedimenttransport durch die Wühltätigkeit jedoch nicht hochrechnen.

3.4.6 *Pygospio elegans*

Beobachtungen: Im Büsumer Watt konnten auf freigespülten Flächen oder abgebrochenen Wattkanten „Pygospiorasen“ beobachtet werden. Die Stechrohrproben ergaben im Spätsommer 1978 eine Durchschnittsbesiedlung von 1500 Ind./m² (max. Dichte 10 900 Ind./m²), im Frühling 1979 wurden 770 Ind./m² (max. Dichte 8400) beobachtet, und im Frühsommer 1980 waren es 800 Ind./m². Die Besiedlungsdichte blieb also über die Jahreszeiten relativ konstant. Auch im Sahlenburger Watt traten ähnliche Werte (1000 Ind./m²) auf, wobei diese Besiedlungsdichte einer Biomasse von 0,13 g/m² entsprach. *P. elegans* stellt keine besonderen Ansprüche an das Sediment, bevorzugt aber diatomeen- und detritusreiche feine Substrate.

Biologie: Die Weibchen von *P. elegans* legen eine zusammenhängende Kette von bis zu 16 Eikapseln in ihren Wohngängen ab. Jede Eikapsel enthält bis zu 80 Eier. Die Larven werden über das ganze Jahr gefunden, jedoch tritt im Frühling/Sommer ein Maximum auf (SMIDT, 1951; GIÈRE, 1968). Neben der sexuellen wurde auch eine asexuelle Fortpflanzung bei *P. elegans* beobachtet: Bei Verletzungen oder unter ungünstigen Bedingungen können die Tiere fragmentieren und 3 bis 4 neue Individuen bilden (MUUS, 1967).

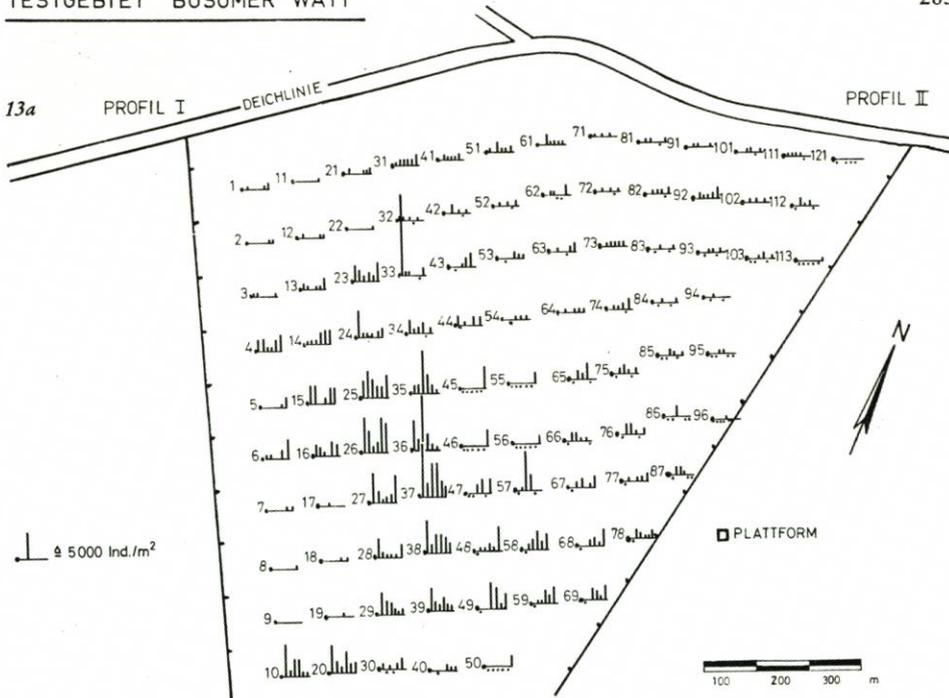
P. elegans ernährt sich als Taster, indem sie mit dem Vorderende aus ihrem Wohnbau herausragend mit den Tentakeln die Umgebung nach abgestorbenem Plankton, Algenresten und Sandkörnern – von denen Diatomeen abgeweidet werden können – absucht (HARTMANN-SCHRÖDER, 1971). *P. elegans* stellt keine besonderen Ansprüche an das Sediment, weist aber deutliche Präferenz für feine Substrate, die diatomeen- oder detritusreich sind, auf. Die Tiere bewohnen verzweigte Wohngänge, die senkrecht im Sediment ausgebildet sind. Innen besteht der Gang aus gehärteter Schleimtapete, außen haften Sandkörner und Detritus an. Die Art siedelt manchmal so dicht, daß bei Freispülung die röhrenartigen Wohngänge einen dichten Rasen bilden (HARTMANN-SCHRÖDER, 1971). THAMDRUP (1935) und auch SMIDT (1951) fanden im dänischen Wattenmeer Besiedlungsdichten von 200–20 000 Ind./m². Bei einem „Rohgewicht“ von 1 mg/Tier (MUUS, 1967) entspräche diese Dichte einer Biomasse von 0,2–20 g/m². In der Wattrinne vor Büsum zählten REINECK et al. (1968) etwa 2000 Ind./m².

Auswirkungen auf das Sediment: Die Bedeutung von *P. elegans* für die Stabilität des Sedimentes ist schwierig zu beurteilen und nicht näher untersucht worden. Einerseits können die Röhren – besonders in dichten Beständen – stabilisierend auf den Sedimentverband wirken, andererseits ist denkbar, daß bei stärkeren Strömungen die Erosion durch Wirbelbildung und Auskolkung gefördert wird.

3.4.7 *Heteromastus filiformis*

Beobachtungen: Im Büsumer Watt (Abb. 13a und 13b) besiedelt *Heteromastus filiformis* bevorzugt schlickhaltige Sedimente mit einem Siltanteil > 15 %. Der Jahresdurchschnittswert für Sand lag bei 555 Ind./m² mit einer Biomasse von 5,2 g/m², und der durchschnittliche Jahreswert für schlickhaltige Sedimente erreichte 1420 Ind./m², entsprechend einer Biomasse von 13,3 g/m² (Tab. 5). Bemerkenswert waren sporadisch auftretende Massenbesiedlungen von *H. filiformis* im Büsumer Watt, die in den meisten Fällen jedoch nur von kurzer Dauer waren.

H. filiformis stellt im Büsumer Watt also einen erheblichen Anteil der vorhandenen Biomasse. Nach dem Extremwinter lag im April 1979 die geringste Besiedlung mit durchschnittlich 640 Ind./m², gleichmäßig auf alle Sedimenttypen verteilt, vor. Im Sahlenburger



TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"

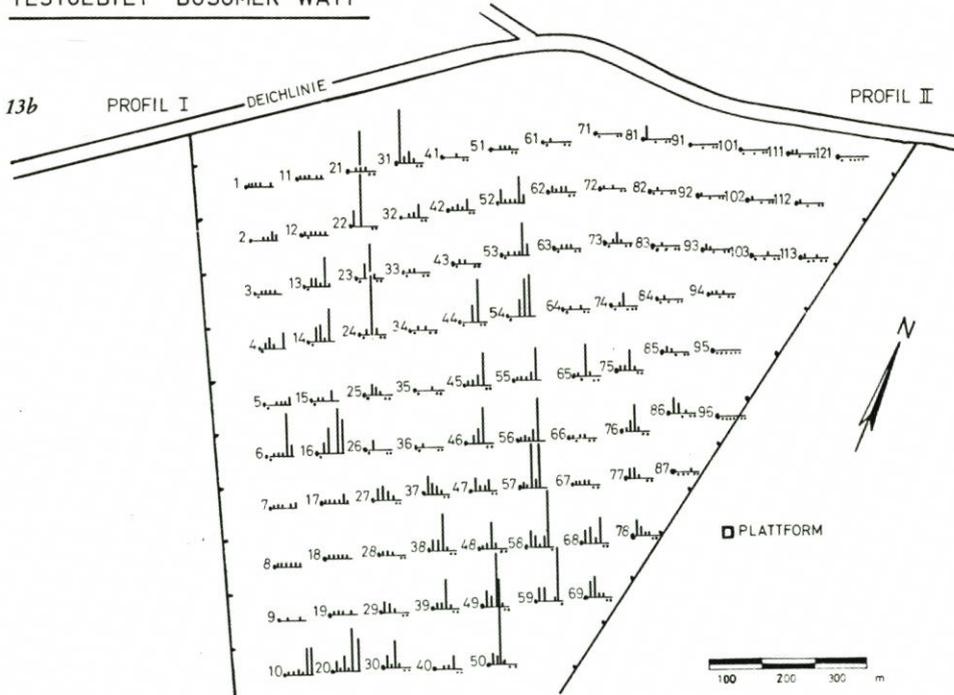


Abb. 13. Besiedlungsdichte von *Heteromastus filiformis* nach der Oberflächenfotografie. Ein Punkt (.) unter der Grundlinie gibt an, daß keine auswertbare Fotografie vorliegt.

13a = 1978: 18. 7., 28. 8., 11. 10., 8. 11; 1979: 14. 4., 15. 5.

13b = 1979: 14. 6., 3. 7., 16. 8., 10. 10.; 1980: 4. 6., 15. 9.

Tabelle 5
Besiedlungsdichten von *Heteromastus filiformis* im Büsumer Watt von Juli 1978 bis Juni 1979 auf verschiedenen Sedimenttypen (Ind./m²)

Siltgehalt	< 15 %	15-35 %	> 35 %
Datum			
18. 07. 78	106	2200	3600
28. 08. 78	640	780	1180
11. 10. 78	240	1212	1835
08. 11. 78	540	920	1160
11. 04. 79	700	590	783
15. 05. 79	1060	1700	1110
14. 06. 79	600	2250	560
\bar{x}	555	1380	1460

Watt fanden wir im Juni 1980 eine Durchschnittsbesiedlung von 2250 Ind./m² (entsprechend einer Biomasse von 21 g/m²) für alle Sedimenttypen. Die in den Untersuchungsgebieten gefundenen Werte lagen erheblich höher als die von BEUKEMA (1976) im holländischen Watt beobachteten Zahlen. Zum Teil könnte die Differenz an der unterschiedlich angewandten Methodik liegen. Unsere Werte beruhen auf den Ergebnissen der Fotoauswertung, da die Kothaufen sehr gut zu identifizieren sind. CADÉES (1977) Beobachtung, daß das Auszählen der Kothaufen sicherer wäre als das Aussieben der Tiere, traf auch für das Büsumer Watt zu. Die Stechproben lieferten zum größten Teil unvollständige Individuen, so daß auch eine genaue Biomassenbestimmung nicht möglich war. Die angegebenen Biomassen wurden nach den Werten von BEUKEMA berechnet.

Biologie: In der Nordsee liegt die Laichperiode von *H. filiformis* im Frühling, selten auch im Herbst (RASMUSSEN, 1956). Die Eier werden in gelben, gallertigen Kugeln auf dem Substrat abgelaicht. In einem Konglomerat liegen mehrere 100 Eier. Die Larven durchleben ein planktisches Stadium. *H. filiformis* ist ein nicht-selektiver Substratfresser. Er besiedelt hauptsächlich Weichböden. Im Schlickwatt kann es zu hohen Besiedlungsdichten kommen. LINKE (1939) fand 7000 Ind./m², BEUKEMA (1976) zählte Durchschnittswerte von 32 Ind./m².

H. filiformis lebt in schlickigen Sedimenten, wo er feine, unregelmäßig verzweigte Gänge anlegt. Die Freßgänge liegen in dem schwarzen Sediment der Reduktionszone, was auch an der dunklen Färbung der Kothaufen an der Sedimentoberfläche zu erkennen ist. Die Tiere sind gut an dysaerobe Bedingungen adaptiert, da ihr Hämoglobin eine besonders hohe Affinität zum Sauerstoff hat (PALS u. PAUPTIT, 1979).

Auswirkungen auf das Sediment: Während das durch Schleim verfestigte Gangsystem eine gewisse stabilisierende Wirkung hat, besitzt dieser Polychaet durch seine Wühl- und Freßaktivität auch einen wichtigen Anteil an der Bioturbation im Watt. Die „sediment-reworking-rate“ hängt von der Besiedlungsdichte ab, die sowohl von Jahr zu Jahr als auch jahreszeitlich stark schwanken kann. Bei einer Besiedlungsdichte von 500 Ind./m² beträgt die Sedimentumsatzrate 100 ml/Tag, entsprechend einer Sedimentschicht von 4 cm/Jahr. 9000 Ind./m² lagerten 2500 ml/Tag um, entsprechend einer Sedimentschicht von 30 cm in den vier Monaten der hohen Individuendichte (CADÉE, 1979). Das an der Sedimentoberfläche ausgeschiedene Sediment wird vom auflaufenden Wasser eingebnet bzw. resuspendiert und oxidiert, so daß *H. filiformis* dazu beiträgt, die oxidierte Sedimentschicht aufrechtzuerhalten (conveyer belt species; RHOADS, 1974).

3.4.8 *Arenicola marina*

Beobachtungen: Im Büsumer Watt fanden wir *A. marina* zu allen Jahreszeiten und in unterschiedlicher Dichte in allen Sedimenttypen. Die Abbildungen 14a und 14b lassen jedoch die vorwiegend starke Besiedlung sandiger Sedimente erkennen. Die höchsten Abundanz der Art waren im Testgebiet regelmäßig auf der ca. 300×500 m großen Sandfläche im Südwesten und auf dem Sandstreifen vor dem Deich festzustellen. Auch nach dem Eiswinter 1978/79 war *A. marina* etwa in der im Vorjahr ermittelten Verteilung vorhanden. An den Stationen mit Siltgehalten unter 15 % zählten wir die durchschnittlich höchsten Besiedlungsdichten von 22 Ind./m², entsprechend einer Biomasse von 6,5 g/m² (Umrechnung nach BEUKEMA, 1976), und auf Sedimenten mit hohem Siltanteil (> 35 %) die geringsten Dichten mit 8 Ind./m², entsprechend einer Biomasse von 2,4 g/m² (Tab. 6).

Aus Tab. 6 wird deutlich, daß die geringste Abundanz im November auftrat, die höchste im Juli und August. Die hohen Werte im August waren auf die Jungtiere zurückzuführen. Sie zeigten noch keine Präferenz für Sedimenttypen. Unsere Werte für die Besiedlungsdichte basieren auf der fotografischen Erfassung der gut zu erkennenden Kothaufen von *A. marina*. Da der Sandpfer häufig sehr tief im Sediment vorkommt, konnten wir ihn nur vereinzelt mit dem Stechrohr erfassen.

Biologie: Im holländischen Watt hat *A. marina* zwei Laichperioden: Die Hauptperiode liegt im August und September, die Nebenperiode im November (DE WILDE u. BERGHUIS, 1979). Die Eier entwickeln sich im Wohngang des Weibchens. Die Larven von *A. marina* sind in der Lage zu schwimmen (FARKE et al., 1979). *A. marina* ernährt sich als Substratfresser von der nährstoffreichen Oberflächenschicht des Sediments. Sie lebt in J-förmigen Röhren, deren blindes Ende durch eine dünne Sedimentsäule mit dem Freßtrichter an der Sedimentoberfläche verbunden ist. Das Sediment sinkt je nach Zähigkeit im Trichter ab, wenn der Wurm am unteren Ende der Säule Sediment aufnimmt. Wegen des geringen Säulendurchmessers (5 mm) erreicht das Oberflächensediment den Wurm erst nach einigen Stunden. Fütterungsexperimente zeigten ein gutes Wachstum bei Zugabe von Diatomeen und Bakterien zum Sediment (RIJKEN, 1979). Nach KRÜGER (1959) dient Plankton als Nahrung,

Tabelle 6

Besiedlungsdichten von *Arenicola marina* im Büsumer Watt von Juli 1978 bis Juni 1979 auf den verschiedenen Sedimenttypen (Ind./m²)

Siltgehalt	< 15 %	15-35 %	> 35 %
Datum			
18. 07. 78	22	26	16
28. 08. 78	25 (80)	22 (105)	27 (73)
11. 10. 78	22	15	3
08. 11. 78	15	13	1
11. 04. 79	22	10	5
15. 05. 79	23	14	3
14. 06. 79	24	16	4
\bar{x}	22	16	8
\bar{x} = Mittelwerte ohne die maximalen Augustwerte; () = Maximalbesiedlung			

TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"

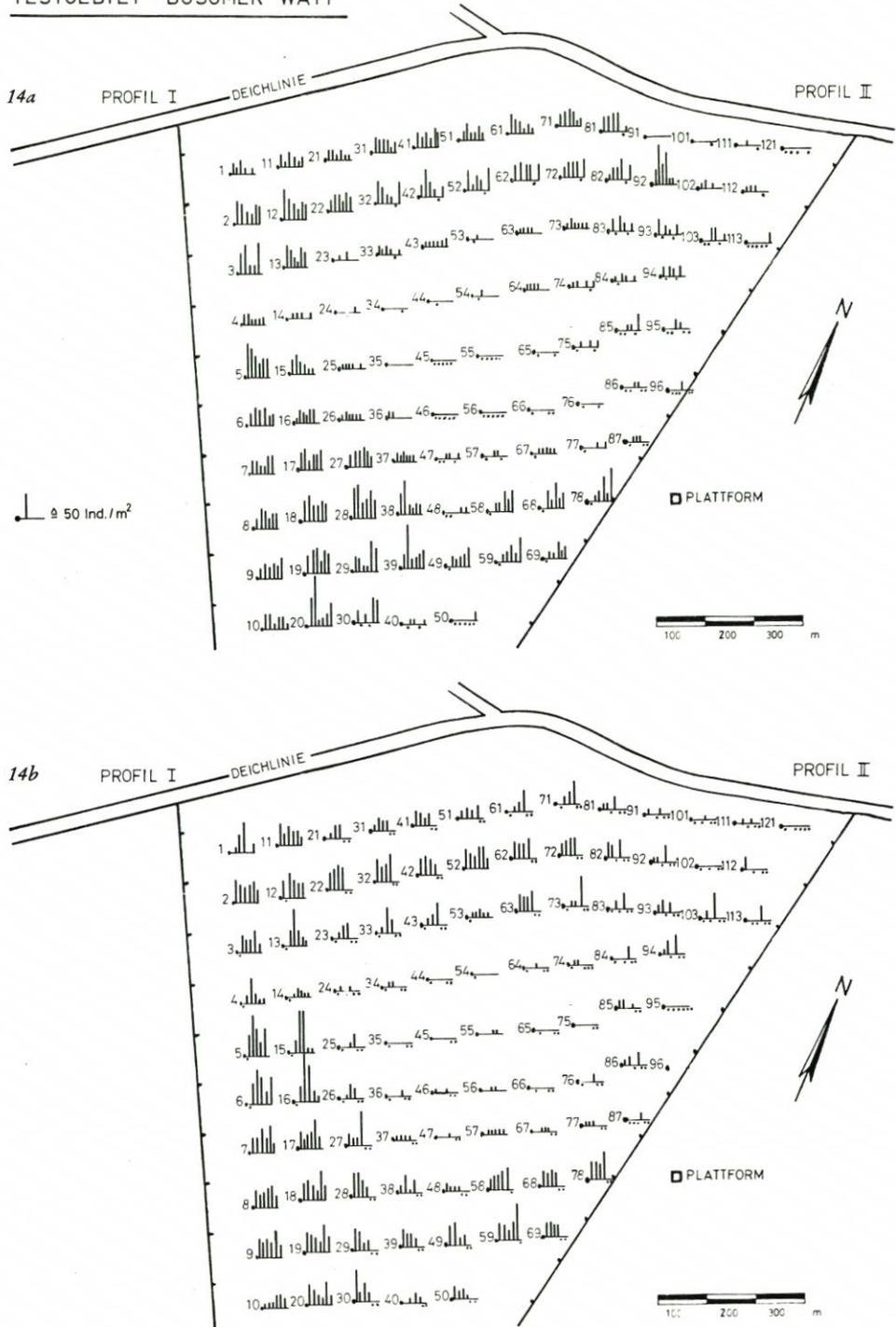


Abb. 14. Besiedlungsdichte von *Arenicola marina* nach der Oberflächenfotografie. Ein Punkt (.) unter der Grundlinie gibt an, daß keine auswertbare Fotografie vorliegt.

14a = 1978: 18. 7., 28. 8., 11. 10., 8. 11.; 1979: 14. 4., 15. 5.
 14b = 1979: 14. 6., 3. 7., 16. 8., 10. 10.; 1980 = 4. 6., 15. 9.

das mit dem Atemwasser in die Röhre gelangt. Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß beide Ernährungsweisen nebeneinander bestehen.

A. marina kommt weder in reinem Grobsand noch in zähem oder weichem Schlick vor. Dies läßt sich damit erklären, daß in der Regel keine Sandkörner größer als 2 mm aufgenommen werden können (KRÜGER, 1971) und daß zäher Ton nicht gut in der Sedimentsäule nachsackt. Zu weicher Schlick verhindert den Röhrenbau. GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984) beobachteten *A. marina* in der Meldorfer Bucht nur bis zu einer Watthöhe von 1,40 m über NN. Sie fanden die Art nicht im trittfesten, dichtgelagerten Schlicksand (Siltanteil 20–30 %).

Diese Art bildet im Wattenmeer einen großen Prozentsatz der benthischen Biomasse. So fand BEUKEMA (1976) eine durchschnittliche Besiedlungsdichte von 17 Ind./m² (Biomasse 5 g/m²) und im Gezeitenbereich mit wenig Schlick 100 Ind./m².

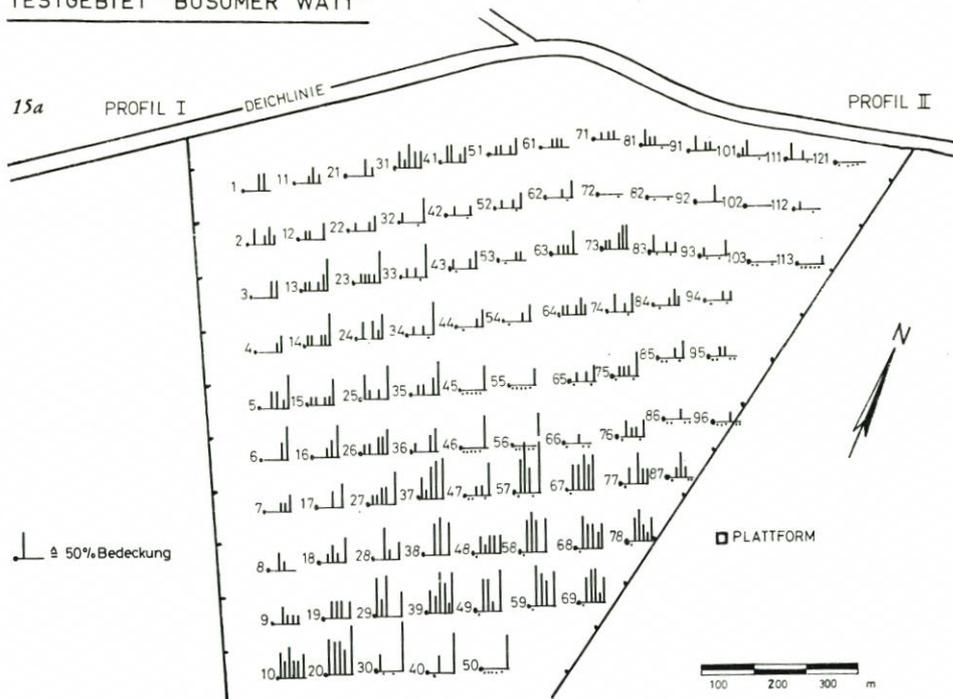
Auswirkungen auf das Sediment: Für die Bioturbation ist *A. marina* ein wichtiger Organismus. Bei der Sedimentaufnahme wählt der Wurm nur die feinen Partikel aus, so daß gröberes Material in seinem Fraßhorizont eine deutliche Anreicherung erfährt, die als Schicht, z. B. die „Hydrobia-layer“, erkennbar ist. Dieser Vorgang wird als „biogenic graded bedding“ bezeichnet (VAN STRATEN, 1956; SCHÄFER, 1962). BAUMFALK (1979) fand, daß die Zunahme der heterogenen Verteilungen der verschiedenen Korngrößenfraktionen an der Sedimentoberfläche durch die ausgeschiedenen Faeces bedingt wird, die durch Strömung eingeebnet und deren Partikel dabei sortiert werden. Nach Beobachtungen mit der Sedimentprofil-Kamera können die Kothaufen innerhalb weniger Sekunden zerfallen, wenn leichte Strömungen herrschen. Das „durchgearbeitete“ Sediment weist einen relativ geringen Prozentsatz an groben Partikeln auf. Der Wassergehalt des Sediments wird nicht von *A. marina* beeinflusst (CADÉE, 1976).

Nach ALLER (1977) werden im Sommerhalbjahr von jedem Individuum 13–15 g Sediment täglich umgelagert. Bei einer Maximalbesiedlung von 100 *A. marina*/m² ergibt sich eine Umsatzleistung von 1,3–1,5 kg/m² u. Tag. Im Ablauf des Jahres, mit verringerter Aktivität im Winter, dürfte eine Sedimentschicht von 15–20 cm Tiefe einmal umgelagert werden. Dabei ist zu bedenken, daß die Wirkung nicht so tiefgreifend ist und entsprechend die obere Sedimentschicht mehrfach durch *A. marina* geschleust wird.

3.4.9 Diatomeen

Beobachtungen: Die fotografische Erfassung der Sedimentoberfläche gestattete es, die Bedeckung mit Diatomeen im Jahresablauf abzuschätzen. Der Grad der Bedeckung des Sediments mit Diatomeenrasen ist auf den Stationen in der Nähe des Hauptpriels höher als auf den landwärts gelegenen sandigen Bereichen (Abb. 15a und 15b). Es gab Stationen, die Diatomeenrasen an den Untersuchungstagen regelmäßig aufwiesen (10, 20, 58, 59) und an denen der Bedeckungsgrad mit nur geringen Abweichungen im Verlauf der Untersuchungen annähernd gleich stark war. Der Jahresgang der Bedeckung des Sediments durch Diatomeenrasen für die verschiedenen Sedimenttypen wird in Tab. 7 und in Abb. 15 wiedergegeben. Die Bedeckungsgrade sind für die verschiedenen Sedimenttypen des Untersuchungsgebietes gemittelt worden. Sedimente mit höherem Schlickgehalt (Schlickwatt, Mischwatt) weisen dichteren Diatomeenbewuchs auf als die sandigen Sedimente. Dieser Zusammenhang geht auch aus Abb. 16 hervor. Die höchste Bedeckung wurde mit durchschnittlich 54 % auf Schlickstationen im Juni 1979 gefunden. Der darauffolgende Fotografie-Termin im Juli 1979 wies für dieselben Stationen dagegen nur durchschnittlich 5 %, den Minimalwert, auf. Vermutlich waren die (nach einer Massenentwicklung) abgestorbenen Diatomeenauflagerun-

TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"



TESTGEBIET "BÜSUMER WATT"

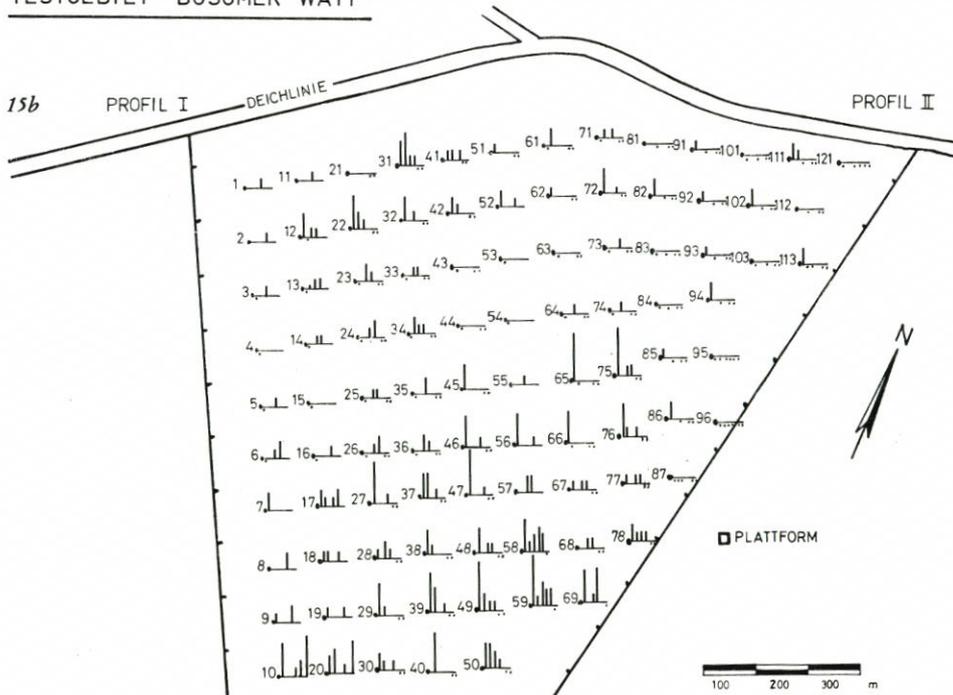


Abb. 15. Flächenbedeckung des Sedimentes (in Prozent) durch Diatomeen im Büsumer Watt. Ein Punkt (.) unter der Grundlinie gibt an, daß keine auswertbare Fotografie vorliegt.

15a = 1978: 18. 7., 28. 8., 11. 10., 8. 11.; 1979: 14. 4., 15. 5.

15b = 1979: 14. 6., 3. 7., 16. 8., 10. 10.; 1980: 4. 6., 15. 9.

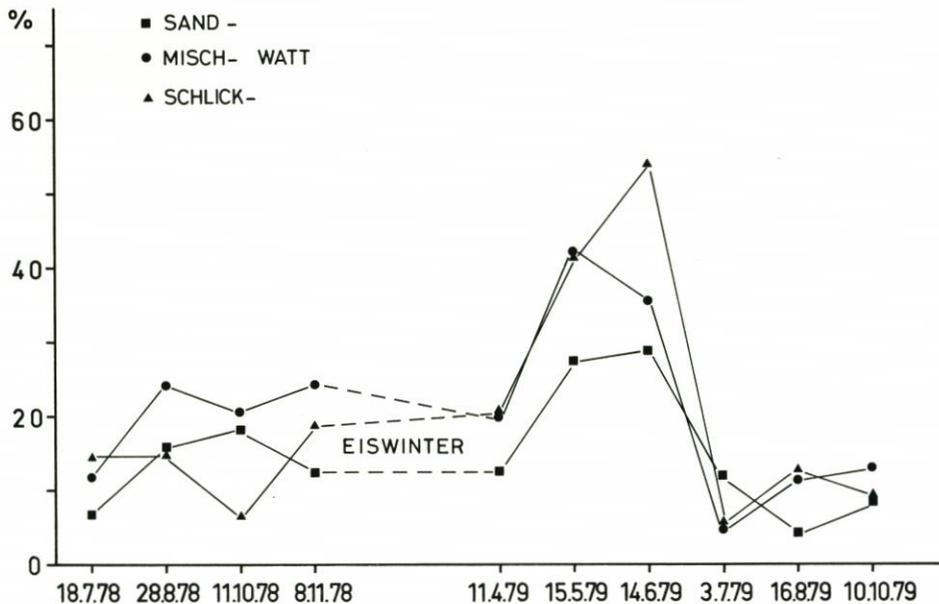


Abb. 16. Prozentuale Flächenbedeckung durch Diatomeen im Sand-, Misch- und Schlickwatt des Testfeldes

gen durch Strömung abgehoben und verfrachtet oder in das Sediment eingearbeitet worden.

Auswirkungen auf das Sediment: Diatomeen sind in den Oberflächenschichten der Sedimente stets vorhanden. Sie bilden zeit- und stellenweise dichte Auflagen auf dem Sediment, die durch Schleimabsonderung einen geschlossenen Verband darstellen, so daß bei schwachen Intensitäten die Strömung nahezu laminar über die glatte Oberfläche läuft und der Sedimenttransport verhindert werden kann. Wie aus Tab. 7 und Abb. 16 hervorgeht, ist

Tabelle 7
Diatomeenrasen (prozentuale Sedimentbedeckung) im Testgebiet Büsumer Watt
von Juli 1978 bis Oktober 1979.

(In der Regel 2 Aufnahmen pro Station und Termin)

+ = Maximum; - = Minimum

Aufnahmedatum	Sandwatt (44 Stationen)	Mischwatt (37 Stationen)	Schlickwatt (18 Stationen)
18. 07. 78	7	12	14
28. 08. 78	15	24	15
11. 10. 78	18	21	6
08. 11. 78	12	24	19
11. 04. 79	12	20	21
15. 05. 79	27	42+	42
14. 06. 79	28+	36	54+
03. 07. 79	12	4-	5-
16. 08. 79	4-	11	8
10. 10. 79	8	13	9

diese Wirkung der Diatomeen besonders bei feinkörnigen Sedimenten ausgeprägt. Erst nach Überschreiten der Erosionsgrenzgeschwindigkeit wird der Diatomeenrasen aufgerissen. Das geschieht besonders vom Rande her, wo es dann zu flachen Auskolkungen und zu verstärktem Sedimentabtransport kommen kann.

3.4.10 Pflanzenbedeckung

Beobachtungen: Der Teststreifen im Sahlenburger Watt war ganz und das Testgebiet im Büsumer Watt überwiegend frei von größeren Pflanzenbeständen. Lediglich im nordöstlichen Teil dieses Gebietes war ein andauernder, fleckenhafter Pflanzenbewuchs als Ufergürtel zu erkennen. Dieser wurde annähernd von der 1-m-Höhenlinie umgrenzt und bestand in der Hauptsache aus den Arten *Spartina townsendii* und *Zostera nana*. Im nordwestlichen Teil des Gebietes (Stationen 1, 11, 21) gab es ebenfalls einen kleinräumigen Zosterabestand. *Salicornia europaea* kam nur in einzelnen Exemplaren vor. Vereinzelt wurden im Testgebiet Algen gefunden (*Ulva lactuca*, *Enteromorpha spec.*, *Cladophora spec.*), die sich jedoch nur einige Wochen halten konnten.

Auswirkungen auf das Sediment: Die Bedeutung dichter Pflanzenbestände für die Sedimentation und Aufschlickung sind bekannt (WOHLENBERG, 1937), jedoch blieben im Büsumer Watt die Wirkungen wegen der geringen Bestandsdichten unbedeutend. Einen geringen, die Sedimentation fördernden Einfluß mag der Bestand von *Z. nana* im Nordosten des Testfeldes gehabt haben. Von lokaler Bedeutung waren die Aufsandungen, die sich unter den bei Ebbe flach auf dem Sediment liegenden Thalli von *Cladophora* bildeten (Abb. 17).



Abb. 17. Erhöhung des Wattniveaus unter *Cladophora*

3.4.11 Verteilung der Biomasse

Anhand der Stechrohrproben von August/September 1978 und Juni 1980 wurden die Biomassenwerte für die Makrofauna der Untersuchungsgebiete ermittelt. Zusätzlich wurden die durch die Oberflächenfotografie und aus Literaturdaten bekannten Besiedlungsdichten von *Arenicola marina* und *Mya arenaria* dazu verwandt, Gesamtbiomassen hochzurechnen.

Tabelle 8
Biomassen-Mittelwerte, Büsumer Watt, für August/September 1978

Sediment	Biomasse (aschefreies Trockengewicht) g/m ²	
	Stechproben (10 cm tief)	einschließlich <i>A. marina</i> und <i>M. arenaria</i>
Sandwatt (44 Stationen)	44,88 ± 11,17	ca. 50
Mischwatt (37 Stationen)	26,08 ± 6,08	ca. 30
Schlickwatt (18 Stationen)	74,88 ± 21,98	ca. 75
Gesamt 99 Stationen		ca. 47

In Tab. 8 werden die Biomassen-Mittelwerte der Makrofauna in den oberen 10 cm des Sediments, ermittelt als Glühverlust, angegeben. Für die Berechnung der mit den Stechrohrproben nicht erfaßten Arten *A. marina* und *M. arenaria* wurden die von BEUKEMA (1976) und von BEUKEMA u. VLAS (1979) gemachten Angaben über die Biomassen dieser Arten verwendet. Es wird deutlich, daß diese beiden großen Arten nur im Sandwatt wesentlich zur Biomasse beitragen. Berücksichtigt werden muß hierbei noch, daß die Biomasse der übrigen Fauna unterhalb der 10-cm-Oberschicht (z. B. *Heteromastus filiformis*) nicht in die Berechnungen eingeht. Die Biomassenwerte sind daher einerseits unterschätzt, andererseits finden sich im Watt während des Sommers allgemein die Jahres-Höchstwerte.

Für die Stationen 1-39, die das Testfeld begrenzenden Profile I und II (Büsumer Watt) sowie das Profil III (Sahlenburger Watt) wurden die Gesamtbiomassen bestimmt bzw. hochgerechnet und in den Graphiken mit den entsprechenden Watthöhen wiedergegeben (Abb. 18-25). Die Werte sind aus je zwei Parallelproben gemittelt. Zu berücksichtigen ist, daß die Höhe der Biomasse durch Besiedlung mit verschiedenen Arten zustande kommt, so daß der Gesamtbiomassenwert nur als pauschale Information zu werten ist.

Auf dem Profil I mit den Stationen 1001-1011 (Abb. 18) läßt sich eine Tendenz zur Verringerung der Biomassenwerte in Richtung auf den Hauptpriel erkennen, der außerhalb des Testfeldes an die Stationen 10-50 anschließt. Auf diesem hauptsächlich sandige Sedimente aufweisenden Profil stellt *A. marina* den größten Anteil an der Biomasse. Auf dem Schnitt mit den Stationen 1-10 (Abb. 19) steigt die Biomasse bis zur Station 6 an und fällt dann bei Annäherung an den Hauptpriel deutlich ab. Der Nebenpriel, der sich ca. 400-500 m vom Deich im Testgebiet befindet (s. Watthöhenkarte 2a und 2b), scheint einen Einfluß auf die Biomasse zu haben: Die Schwankungen der Biomassenwerte auf dem Profil I sind bei noch flachem Nebenpriel geringer als auf den Stationen 1-10 (Abb. 19), 11-20 (Abb. 20), 21-30 (Abb. 21) und 31-39 (Abb. 22). Dort wird der Nebenpriel breiter und tiefer. Auf diesem Schnitt konnten einerseits wegen des Priels, andererseits wegen der Schlickmächtigkeit nicht alle Stationen beprobt werden.

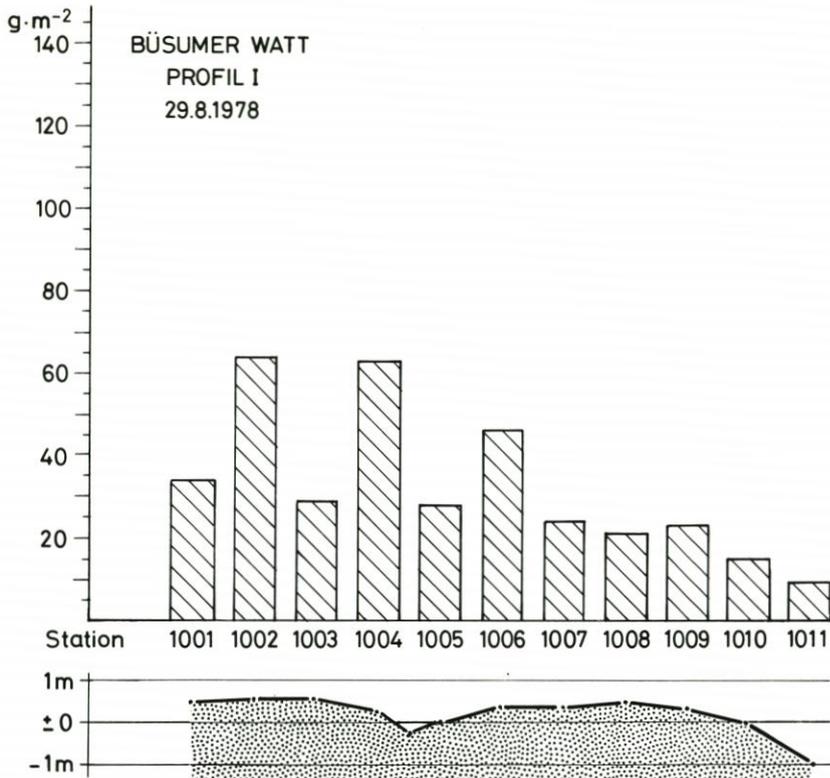


Abb. 18. Biomasse (aschefreies Trockengewicht) und Wathöhe auf Profil I, Stationen 1001–1011

Profil II weist bis zur Station 2006 eine annähernd gleich geringe Biomasse auf. Die hohen Werte der Stationen 2007 und 2008 resultieren aus der hohen *Arenicola*-Dichte. *A. marina* benötigt eine Mindestwasserbedeckungszeit, die sie erst ab Station 2007 findet (Abb. 23).

Abb. 24 zeigt, daß auf dem Profil I im Juni 1980 im Vergleich mit August 1978 die Biomassenwerte nahezu aller Stationen höher lagen. Das gilt auch für die meisten anderen Stationen des Testfeldes und ist durch den Brutfall nach dem strengen Eiswinter zu erklären.

Auf dem Profil III (Sahlenburger Watt) liegen die Biomassenwerte ähnlich wie auf dem Profil I im Büsumer Watt, das ihm in seiner Charakteristik sehr ähnlich ist. Herausragend ist lediglich die Station 3010, auf der eine starke Besiedlung durch juvenile *M. arenaria* die Biomassenwerte erheblich beeinflusste (Abb. 25).

3.4.12 Beziehungen zwischen dem Vorkommen der wichtigsten Tierarten und den Korngrößenklassen der Sedimente

Eine früher angenommene, direkte Abhängigkeit der Besiedlung des Sediments durch die verschiedenen Arten vom prozentualen Siltanteil (Fraktion $< 63 \mu\text{m}$) konnte im Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden. Auch von anderen Autoren (z. B. BEUKEMA, 1976) wird dieses für andere Wattgebiete bestätigt.

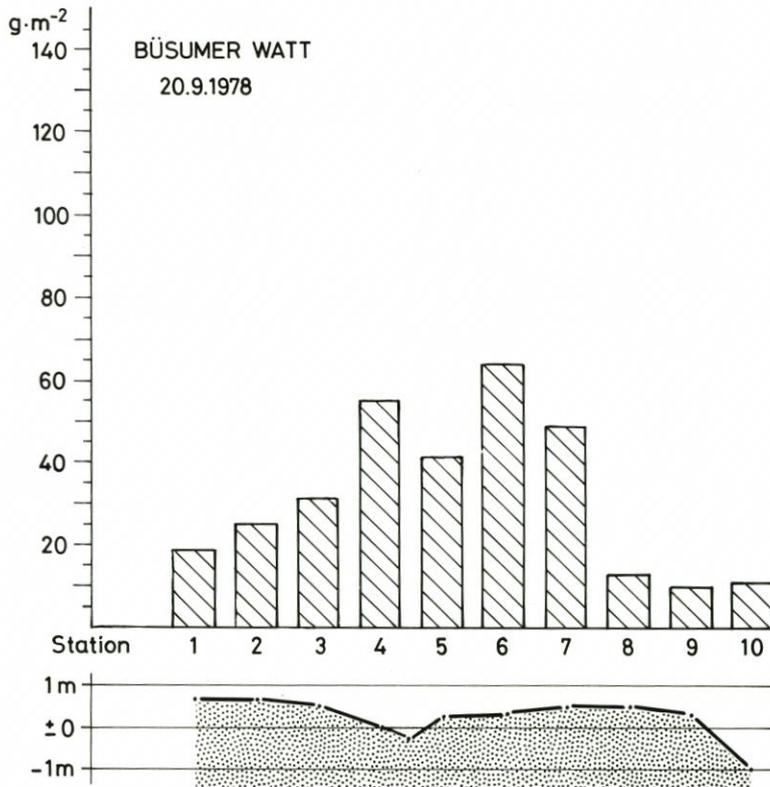


Abb. 19. Biomasse und Wathöhe, Stationen 1–10

Die am 20. 9. 1978 genommenen Stechrohrproben wurden als Grundlage für eine eingehende Betrachtung der einzelnen Arten und ihrer Beziehung zur Sedimentbeschaffenheit benutzt. In Tab. 9 wird diese Beziehung wichtiger Arten zum Sediment wiedergegeben. Die genannten Beziehungen stellen allerdings nur Tendenzen dar. Eine deutliche oder ausschließliche Bevorzugung eines bestimmten Sedimentes ist bei keiner der Arten zu konstatieren. Die Zu- bzw. Abnahmen der Arten bei wechselndem Siltanteil des Sediments sind nur gering, und die überwiegende Zahl der Arten scheint Sedimente mit mittlerem Siltanteil tolerieren zu können. Der für die einzelnen Arten bestimmende Faktorenkomplex aus biotischen und abiotischen Parametern ist so umfangreich, daß sich zwischen den Faktoren Korngröße und Besiedlungsdichte keine signifikante Korrelation nachweisen läßt. Besonders die biotischen Parameter sind stark variabel und verändern das Besiedlungssystem kleinräumig. OHDE (1981) weist auf die Bedeutung von Strömung und Transport für die Verbreitung einiger Arten hin, die sich nicht nur auf die Larvensiedlung auswirken, sondern auch auf die Adulten verschiedener Arten. Die Verteilung der Arten ist daher auch vom Wettergeschehen abhängig, und dieses wirkt sich in unterschiedlicher Weise auf die verschiedenen Altersstadien bzw. Größen der Individuen aus.

In Abb. 26 werden, nach den Sedimenttypen untergliedert, die durchschnittliche Besiedlungsdichte, die Maximaldichte, das Trockengewicht und das aschefreie Trockengewicht der Makrofauna aus den oberen 10 cm des Sediments für August/September 1978 im Testgebiet Büsumer Watt wiedergegeben.

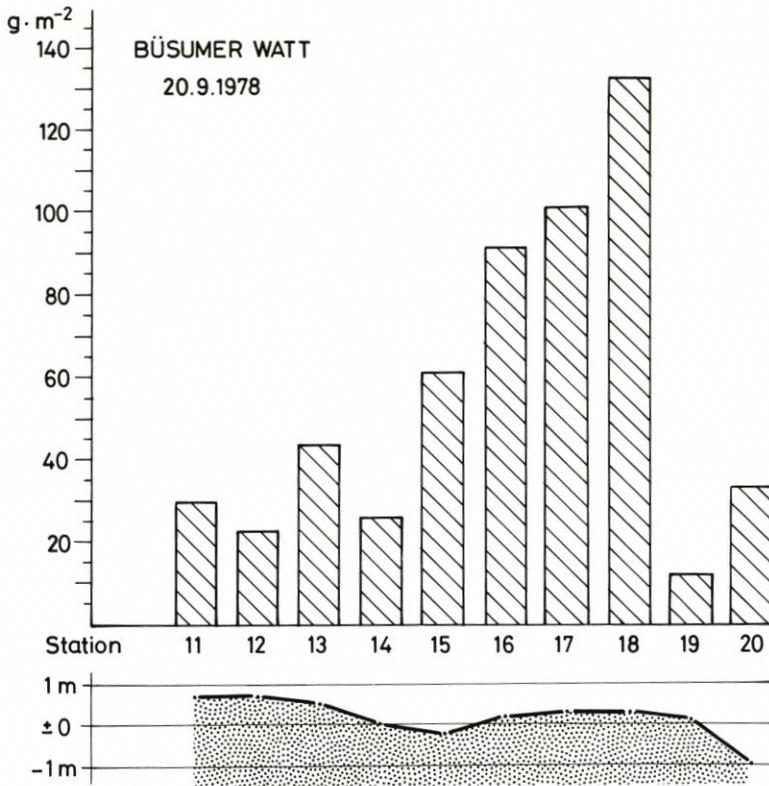


Abb. 20. Biomasse und Watthöhe, Stationen 11–20

Tabelle 9
Beziehung einiger Arten zum Sediment

Bezug zum Sediment	Art
Keine erkennbare Abhängigkeit vom Siltgehalt des Sediments	<i>Cerastoderma edule</i> <i>Hydrobia spec.</i> <i>Eteone longa</i>
Maximum bei mittlerem Siltanteil	<i>Littorina littorea</i> <i>Anaitides maculata</i> <i>Anaitides mucosa</i> <i>Tharyx marioni</i> <i>Capitella capitata</i> <i>Pelosclex benedeni</i>
Zunahme bei steigendem Siltanteil	<i>Macoma balthica</i> <i>Mya arenaria</i> <i>Heteromastus filiformis</i>
Rückgang bei steigendem Siltanteil	<i>Nereis virens</i> <i>Pygospio elegans</i>

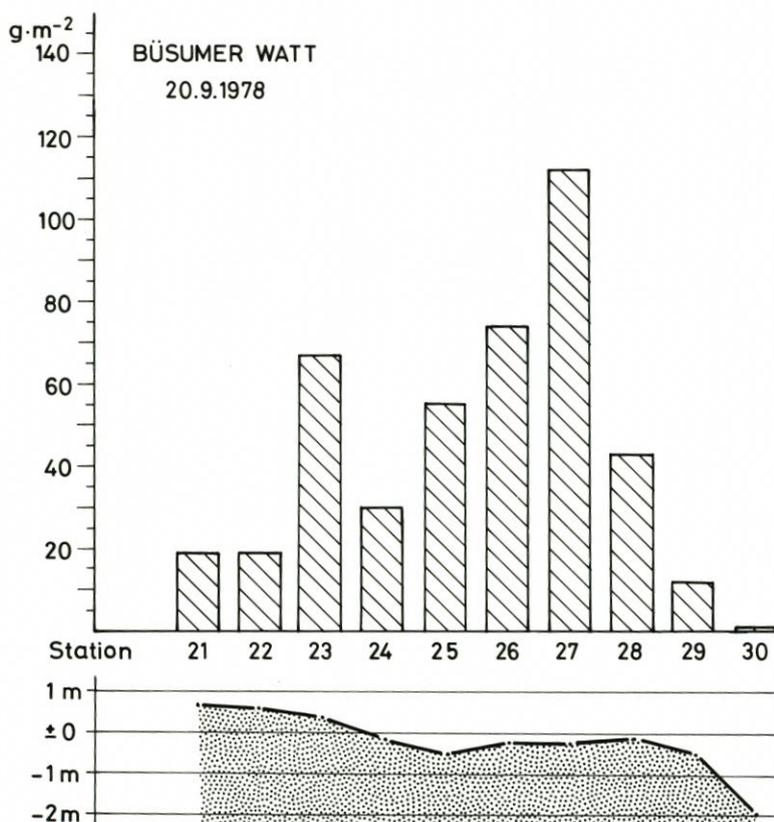


Abb. 21. Biomasse und Wathöhe, Stationen 21-30

4. Diskussion

4.1 Probleme der Quantifizierung biogener Sedimentbeeinflussung

Die Leistungen des Benthos, der auf und im Sediment lebenden Organismen, können unter den Gesichtspunkten verschiedener Fachrichtungen klassifiziert werden. Unter biologischen Aspekten interessiert die Produktion, der Aufbau organischer Substanz durch die Organismen; unter geologischen und hydrologischen Gesichtspunkten stehen die Auswirkungen der Organismen auf das Sediment im Vordergrund des Interesses. Im Zusammenhang mit der vorgegebenen Fragestellung sollen diejenigen Leistungen der Organismen besprochen werden, die unter Biodeposition und Bioresuspension, Bioturbation und Biostabilisation zusammengefaßt werden können. Einzelne Aspekte sind in früheren Arbeiten beschrieben worden (z. B. THAMDRUP, 1935; WOHLLENBERG, 1937; MÜLLER, 1960 und SCHÄFER, 1962). RAGUTZKI (1973) erwähnt den Mangel an quantitativen Daten über das Zusammenwirken und die Wechselbeziehungen zwischen Bodenfauna und hydrologischen Bedingungen. Wichtige, teils zusammenfassende Arbeiten aus den letzten Jahren sind diejenigen von GRAY (1974), RHOADS (1974), ALLER (1977) und FÜHRBÖTER (1983).

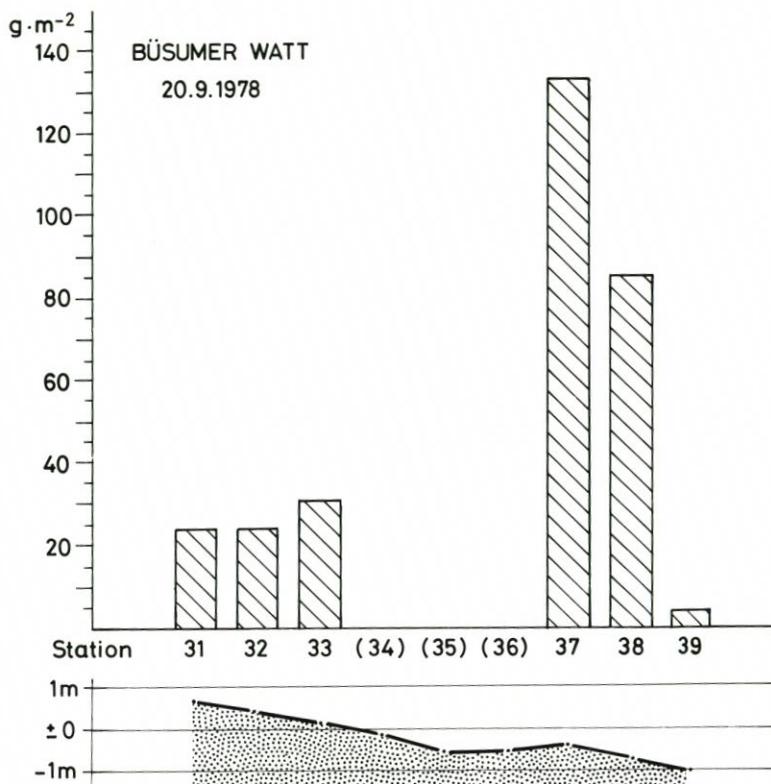


Abb. 22. Biomasse und Watthöhe, Stationen 31-39

Produktionsleistung und Biodeposition stehen in enger Beziehung zueinander, sind doch Faeces und Pseudofaeces Ablagerungsprodukte, die aus dem als Nahrung aufgenommenen Material ihre Energie gewinnen und diese teils zur Produktion verwenden. Erst die Quantifizierung der einzelnen Prozesse dieser biogenen Sedimentdynamik läßt ihre Bedeutung für den Schichtenverband erkennen. Die mengenmäßige Erfassung des Sedimenttransportes basiert allerdings auf der Summe von Einzelleistungen und kann aufgrund unseres Kenntnisstandes lediglich eine Abschätzung sein. Das liegt in der Lebensweise der Organismen begründet: Verschiedene Altersstadien erbringen unterschiedliche Leistungen; diese ändern sich mit den Jahreszeiten bzw. der Temperatur im Lebensraum. Die Filtrations- bzw. Biodepositionsraten sind vom nutzbaren Energiegehalt der partikulären Fracht abhängig, und schließlich kommt eine allgemeine Variabilität von Lebensprozessen hinzu, die nicht gedeutet werden kann. CADÉE (1976) gibt ein Beispiel für einige Individuen von *Arenicola marina*, die unter weitgehend natürlichen Bedingungen gehalten wurden. Die Menge täglich abgegebener Faeces schwankte beim Vergleich der Individuen zwischen 1 : 1 und 1 : 5, und für die einzelnen Individuen lagen die Schwankungen innerhalb weniger Wochen ähnlich hoch. CADÉE hat auch gezeigt, daß *A. marina* mehrtägige Ruhephasen einlegen kann, in denen wenige oder sogar keine Kotstränge produziert werden, also offensichtlich keine Nahrung aufgenommen wird.

Auch der Vergleich von Wattgebieten untereinander stößt auf Schwierigkeiten, da einerseits die methodischen Ansätze der verschiedenen Autoren nicht immer ausreichend

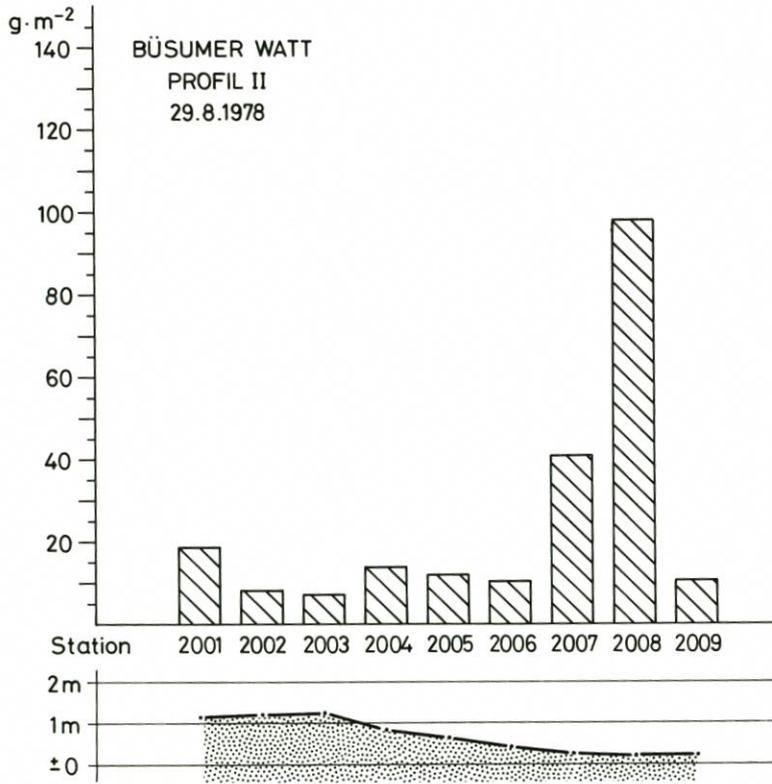


Abb. 23. Biomasse und Wattthöhe, Profil II, Stationen 2001–2009

übereinstimmen, andererseits die Artenzusammensetzungen unterschiedlich sind, wie aus den Notizen zur Biologie der wichtigsten Arten in Kapitel 3 hervorgeht.

Mit der Artenzusammensetzung verändern sich auch das Leistungsspektrum bezüglich der Sedimentbeeinflussung und die Gesamtleistung der Lebensgemeinschaft. In diesem Sinne sind auch die Gesamtbiosmassen für die verschiedenen Wattgebiete nur eingeschränkt vergleichbar. Während wir im Testfeld des Büsumer Watts eine Biomasse von durchschnittlich 47 g/m² fanden, gibt BEUKEMA (1976) für das gesamte holländische Watt 26,2 g/m² an, in einem Streifen von 1–3 km vor der Küste jedoch 41,6 g/m², und im südwestlichen Teil wurden nach WOLFF (in BEUKEMA, 1976) 45 g/m² erreicht. In der Leybucht liegen die Werte bei nur 21 g/m² (HÜPPOP, 1983). Die Angaben von REISE (1981) für die Nordstrander Bucht liegen in ähnlicher Größenordnung und zeigen gleichzeitig die starke lokale Veränderlichkeit mit 18,2 g/m² ± 61 % im Frühjahr und 67,0 g/m² ± 31 % im Sommer in den Bestandsdichten an. Diese komplexen Verhältnisse lassen nur eine größenordnungsmäßige Abschätzung über die Auswirkungen der Organismen auf die Sedimente zu. Im Vergleich zu den physikalischen Vorgängen von Sedimentation und Resuspension kann deren potentielle Bedeutung jedoch erkannt werden.

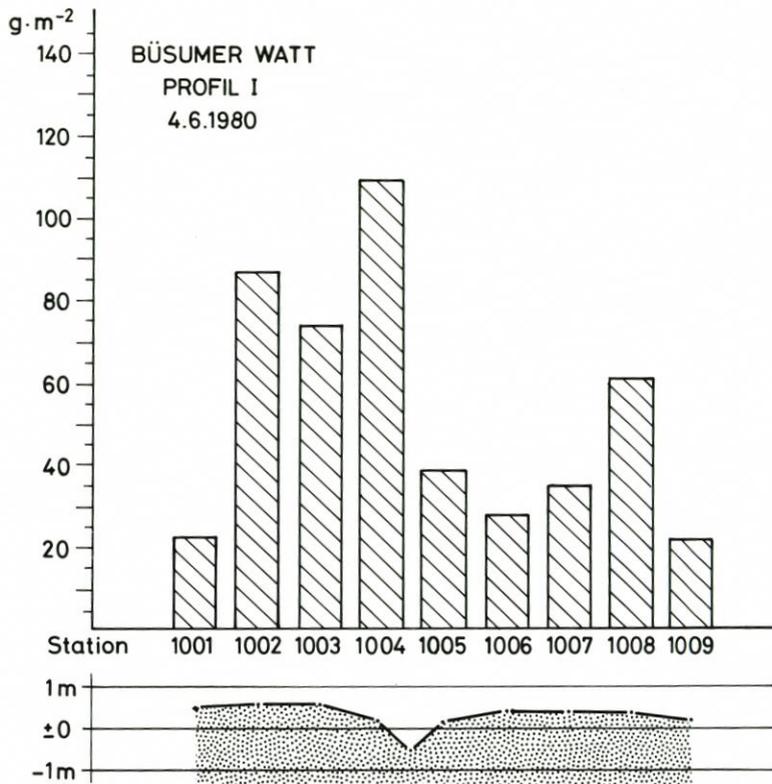


Abb. 24. Biomasse und Watthöhe, Profil I, Stationen 1001-1009

4.2 Biodeposition

Mengenbestimmungen des Seston zeigen im allgemeinen ein Defizit des Ebbstromes im Watt gegenüber dem vorhergegangenen Flutstrom. Diese Erscheinung hängt sowohl mit den physikalischen Transportbedingungen zusammen als auch mit den Auswirkungen der Lebensweisen einiger in dem Gebiet vorkommender Organismen.

Die Auswirkungen von Pflanzenbeständen auf die Sedimentation sind bekannt, und sie sollen an dieser Stelle mit erwähnt werden, obwohl sie die Ablagerung der Partikel nur passiv physikalisch beeinflussen. Enge Pflanzenbestände verringern die Strömungen, und das bedeutet: Sedimentation und Bodenerhöhung. In früheren Jahren wurden in großen Wattbereichen Anpflanzungen im Küstenvorfeld zur Erhöhung des Wattniveaus vorgenommen (z. B. WOHLENBERG, 1937). Im untersuchten Testgebiet des Büsumer Watts ist dieser Einfluß aufgrund der geringen Pflanzenbestände jedoch nicht von Bedeutung. Auf den Wattflächen siedeln im Frühjahr *Cladophora spec.*, die im Sommer und Herbst in kleinen Beständen das Watt fleckig bedecken. Zur Ebbezeit liegen sie auf dem Sediment, und zwar regelmäßig auf einer flachen Sedimentenerhöhung, die sich unter dem Algenflecken abgelagert hat (Abb. 17).

Passive Förderung der Sedimentation ist auch durch Tiere denkbar, die über die Sedimentoberfläche hinausragen, jedoch kommt es zu einer wesentlichen Ablagerung partiku-

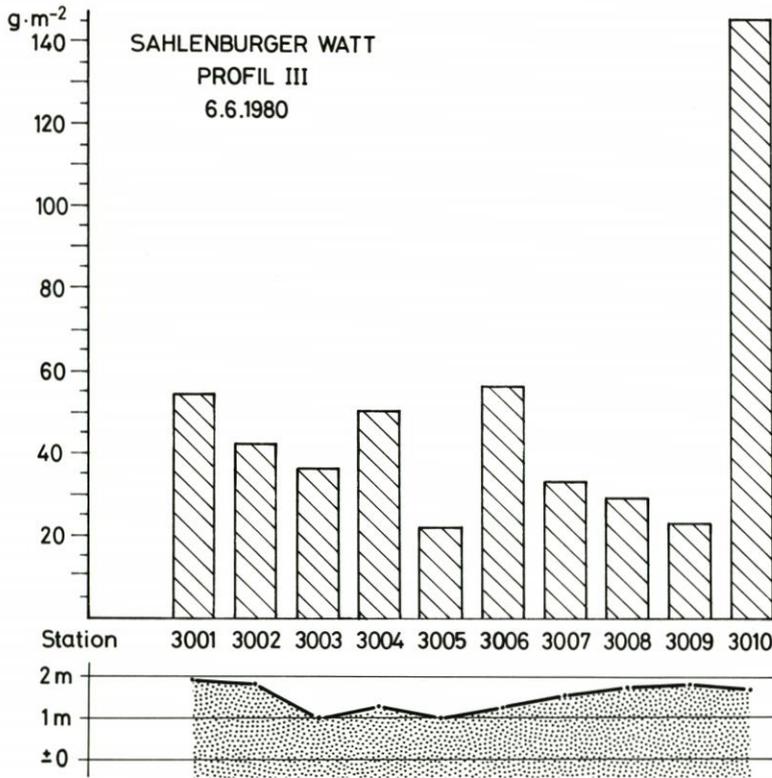


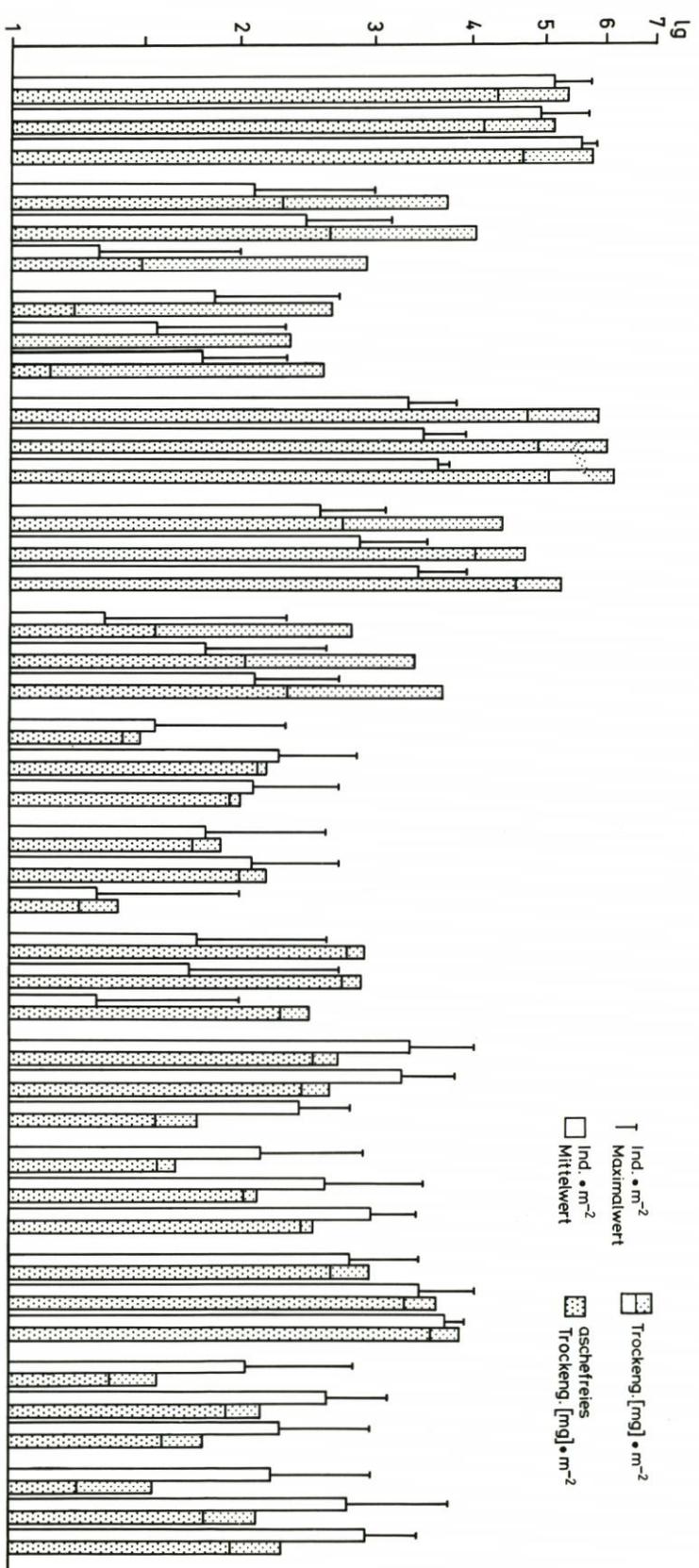
Abb. 25. Biomasse und Wathöhe, Profil III (Sahlener Watt), Stationen 3001-3010

lärer Substanz wohl nur bei hoher Individuendichte, wie beispielsweise im Bereich von Muschelbänken.

In größeren Beständen bestimmter Tierarten tritt die aktive Biodeposition in den Vordergrund. Insbesondere verschiedene Arten der Bivalvia filtrieren partikuläres Material aus dem Wasser (*Cerastoderma edule*, *Mya arenaria*) oder pipettieren es von der Sedimentoberfläche (*Macoma balthica*). Ein Teil dieses Materials wandert durch den Magen-Darm-Trakt, wird mit Schleim versetzt zu Kotballen geformt, bei einigen Arten mit einer Schleimhülle umgeben und ausgestoßen (HAVEN u. MORALES-ALAMO, 1966). Dieses stabile Konglomerat hat einen sehr viel höheren hydrodynamisch wirksamen Äquivalentdurchmesser und bedarf sehr viel höherer Resuspensionskraft als die ursprünglichen Partikel. Während die Schwebfracht aus Partikeln von vorwiegend 1-5 µm besteht, fallen die Kotballen in einen Korngrößenbereich von etwa 0,05-0,4 mm (GAST, KÖSTER u. RUNTE, 1984). Die Pseudofaeces sind meist weniger stabil als die Faeces, da sie bereits ausgestoßen werden, ehe sie in den Darmtrakt aufgenommen werden. Die stärkere Ablagerungstendenz dieser Großpartikel geht nach einiger Zeit wieder verloren, da die Konglomerate bakteriell angegriffen oder mechanisch, z. B. durch Welleneinwirkung, zerlegt werden. Zunächst einmal ist dieses Material jedoch dem Transportgeschehen entzogen. Dadurch steht es für eine gewisse Zeit am Entstehungsort zur Verfügung und kann durch andere Organismen in das Sediment eingearbeitet werden.

Abb. 26. Die Beziehungen einiger Arten zum Sediment nach Stechrohrproben aus den Monaten August und September 1978. Für jede der aufgeführten Arten sind zwei Säulen über jeweils <10%, 10-35% und >35% Siltanteil im Sediment gezeichnet.

Weißer Säule: Individuen/m² (Mittelwert mit aufgesetztem Maximalwert (T); gepunktete Säule: ganze Länge = Trockengewicht (mg/m²), unterer Teil = aschefreies Trockengewicht (mg/m²))



Die Intensität der Biodeposition wird aus den Massenansammlungen von Kotballen deutlich, die im Watt beobachtet werden können. Quantitative Abschätzungen für die einzelnen für das Testfeld wichtigen Arten sind im Kapitel 3 gegeben. Tab. 10 stellt eine Zusammenfassung für das Büsumer Watt dar.

Zu diesen Leistungen addieren sich die Biodepositionsraten anderer Organismen, die das Seston ebenfalls als Nahrungsgrundlage nutzen. Wegen der geringen Filtrationsraten oder Bestandsdichten der Arten besitzen sie jedoch kaum eine Bedeutung für das Sedimentationsgeschehen.

Tabelle 10

Maximale Biodepositionsleistungen filtrierender Organismen im Testfeld des Büsumer Watts (Abundanzen nach eigenen Untersuchungen, Leistungsberechnungen nach verschiedenen Autoren)

Art	Maximale Dichte Ind./m ²	Deposition pro Tag in g/m ² (Autor)	Volumen (cm ³) bei spez. Gew. = 2	Schichtzunahme mm/Monat
<i>Cerastoderma edule</i>	1400	700 (VAHL, 1972)	350	10,5
<i>Macoma balthica</i>	1000	43 (BUBNOVA, 1972)	21,5	0,1
<i>Mya arenaria</i>	100	2,5 (ALLEN, 1962)	1,3	0,04

In der Summe ist die in Tab. 10 angegebene maximale Biodeposition aller Arten zusammen höher anzusetzen. Allerdings handelt es sich bei diesen Raten um Sommer- und Maximalwerte, die dazu dienen, das Leistungspotential aufzuzeigen. Biologische Umsatzrate, Filtrationsrate und Biodepositionsrate folgen dem Jahresgang von Temperatur und Nahrungsangebot. In der kalten Jahreszeit sind die Leistungen nur gering. Andererseits beziehen sich die Biodepositionswerte auf adulte Tiere, während die großen Massen der Juvenilen unberücksichtigt bleiben mußten, da ihre Leistungen kaum bekannt und nicht abschätzbar sind. Nahrungsaufnahme und damit Filtrationsleistung sind in bezug auf die Biomasse bei den Juvenilen höher als bei den Adulten, so daß die artspezifische Biodeposition im Sommer und Herbst wesentlich höher sein kann, als sie in Tab. 10 angegeben ist.

Die Biodeposition in ihrer Auswirkung auf den Lebensraum einer Art darf das Sediment allerdings nicht in zu starkem Maße verändern. *Cerastoderma edule* könnte sich beispielsweise in weichem Schlick nicht in ausreichender Nähe der Sedimentoberfläche halten, ihre kurzen Siphonen nicht in das Wasser ausstrecken und folglich keine Nahrung einstrudeln. Bei hoher Biodeposition muß also aus biologischen Gründen durch Abtransport des feinputikulären Materials eine zu starke Veränderung der Sedimenteigenschaften verhindert werden. Das geschieht durch die physikalischen Bedingungen, die ihrerseits am Standort von *C. edule* herrschen.

Für Biodeposition in anderen deutschen, holländischen und dänischen Watten können andere Arten von Bedeutung sein, die im Büsumer Watt nicht auftreten. In diesem Zusammenhang ist insbesondere *Mytilus edulis* zu nennen, die einerseits umfangreiche Muschelbänke bilden kann, in denen sich Schlick ansammelt, die andererseits in fischereilichen Kulturen zu lockeren Verbänden ausgesät wird und dann großflächig zur Biodeposition beiträgt.

4.3 Bioresuspension

Die Bioresuspension ist die Rückführung von Partikeln in das Wasser; sie wirkt der Biodeposition entgegen, indem bereits sedimentierte Partikel durch Organismen erneut in die Wassersäule gebracht werden. Meist werden diese nicht hoch über den Boden geführt und sinken deshalb auch schnell und im Nahbereich wieder ab, aber in Abhängigkeit von der herrschenden Strömung können feine Partikel auch weit fortgetragen werden.

Als Beispiel für resuspendierende Organismen können die Arten der Gattung *Corophium* angeführt werden. Diese Tiere liegen in einer wenig stabil gebauten Röhre in der Sedimentoberfläche. Atem- und Nahrungsstrom werden durch die Extremitäten erzeugt. Und dabei werden ständig Partikel aufgewirbelt. Besonders in den Schlickwatten können diese Schlickkrebse in großen Massen auftreten und Sediment bewegen.

Zu den resuspendierenden Tieren gehören auch die größeren Krebse wie *Carcinus maenas* (Strandkrabbe), die beim Umherlaufen und Graben Sediment aufwirbeln und auch *Crangon crangon* (Garnele), die in großer Zahl zur Flutzeit das Watt aufsuchen können. Sowohl die im Boden wühlenden und grabenden Fische als auch die tauchenden und gründelnden Enten, Gänse, Schwäne und Watvögel können zur Resuspension beitragen. Die Plattfische wühlen sich mit undulierendem Flossensaum in das Sediment und erzeugen dabei eine Wolke feiner Partikel, die mit der Strömung fortgetragen werden kann. Quantifiziert sind diese Vorgänge wohl in keinem Falle, und da sie meist unregelmäßig stattfinden, erscheint eine Berechnung der Gesamtleistung auch kaum möglich.

Zur Herabsetzung der kritischen Geschwindigkeit für den Erosionsbeginn und damit zu früher Resuspension führen Aktionen von Organismen in der Sedimentoberfläche, die in die Bereiche von Biodeposition und Bioturbation fallen. NOWELL, JUMARS u. ECKMAN (1981) beobachteten den Erosionsbeginn im Strömungskanal bei ebener Sedimentoberfläche und nach deren Aufrauung durch Organismen. Durch die Kriechspuren einer kleinen Muschel (4 mm), *Tranzenella tantilla*, wurde die Sedimentoberfläche durch Furchen und flache Seitenwälle (1 mm hoch) aufgeraut. Die kritische Strömungsgeschwindigkeit wurde dadurch von 1,74 cm/sec auf 1,39 cm/sec herabgesetzt. Ähnliche Auswirkungen werden junge Muscheln, kleine Schnecken und andere Tiere im Watt haben, die die Sedimentoberfläche strukturieren. Die stabilisierende Wirkung durch Schleimabsonderung beim Kriechen von *Hydrobia ulvae* wirkt zwar entgegengesetzt, aber die Seitenwälle der Kriechspuren werden rein mechanisch aufgeworfen, und die Partikel werden leichter transportiert und resuspendiert.

Bei vielen Arten dürfte die Bioresuspension mit der Bioturbation in den Oberflächenschichten des Sedimentes eng verbunden sein. Beide Vorgänge werden durch dieselben Aktionen der Organismen ausgelöst.

4.4 Bioturbation

Unter Bioturbation ist die Verwühlung der Sedimente durch Organismen zu verstehen und in dem in dieser Arbeit betrachteten Zusammenhang insbesondere die Lockerung und Umlagerung des Substrates, die zu verstärkter Erosion und Resuspension von Partikeln und damit zum Sedimenttransport führen. Bioturbation wird von allen Organismen bewirkt, die sich auf und im Sediment bewegen und dabei Sedimentpartikel umlagern. Kenntnisse über Umsatzvolumina besitzen wir nur von wenigen Arten, die aber bedeutsam für die Gesamtbilanz der Bioturbation sind. Wie auch schon in den vorhergehenden Abschnitten müßte aber auch die Summe der übrigen Wühler miteinbezogen werden. In diesem Zusammenhang ist die

Meiofauna (Evertebraten kleiner als 1 mm) von Bedeutung, jedoch ist sie bisher nur von CULLEN (1973) unter dem Gesichtspunkt der Bioturbation berücksichtigt worden. Diese Größenklasse, vorwiegend *Nematoda* (Fadenwürmer) und *Harpacticoidea*, kommt in Bestandsdichten von 2×10^6 Individuen je m^2 vor, und ihre Lebensaktivität, insbesondere in der Sedimentoberfläche, lockert und raut den Boden auf, so daß Erosion und Resuspension insbesondere in siltreichen Ablagerungen schon bei geringen Strömungsaktivitäten einsetzen können.

Quantitative Abschätzungen für das Büsumer Watt lassen sich nur für *Arenicola marina* und *Heteromastus filiformis* vornehmen (Tab. 11), deren Umsatz an Sediment durch die Kotabgabe gemessen werden kann und als im Jahresablauf umgelagerte Sedimentschicht angegeben worden ist.

Tabelle 11
Besiedlungsdichte und Umlagerungsleistungen von *Arenicola marina* und *Heteromastus filiformis*

Gebiet	maximale Besiedlungsdichte Ind./m ²	theoretisch im Jahr umgelagerte Sed.-Schicht (cm)	Autor
<i>Arenicola marina</i>			
Jadebusen	40	27	LINKE, 1939
Watt vor Holland	15	15	VAN STRAATEN, 1956
Watt vor Holland	17	6-7	CADÉE, 1976
Barnstable Harbor, Cape Cod	85	60	ALLER, 1977
Büsumer Testfeld	26	10-25	diese Arbeit
<i>Heteromastus filiformis</i>			
Watt vor Holland	1000	2	CADÉE, 1979
Büsumer Testfeld	600	1,5	diese Arbeit

Die „theoretische umgelagerte Sedimentschicht“ soll die Vorstellung vermitteln, welche Massen von Sedimenten durch diese Polychaeten bewegt werden können. Für das Büsumer Testfeld sind bei *A. marina* die Werte der drei zuerst genannten Arbeiten für die Abschätzung zugrunde gelegt worden. Tatsächlich stammt das von *A. marina* transportierte Material jedoch aus der Sedimentoberfläche. Unter der Annahme, daß es sich dabei um eine nur 1 cm starke Herkunftsschicht handelt, würde diese 10- bis 25mal durch den Darm der Polychaeten geschleust und wieder ausgestoßen werden.

Anders als bei *A. marina* entnimmt *H. filiformis* sein Fraßsediment aus der reduzierten Sedimentschicht, lagert dieses aber auf der Sedimentoberfläche ab, so daß eine Vertikalbewegung der Sedimentschichten erfolgt. Da Fraß- und Ausscheidungshorizont unterschiedlich sind, dürfte die Rate des wiederholten Transportes derselben Sedimentpartikel durch *H. filiformis* gering sein.

In dieser Arbeit wird das Hauptgewicht auf das Aktionspotential gelegt, auf die Auswirkungen, die die Organismen durch ihre Lebensweise maximal haben können, und dieses Potential wird auf das Testfeld des Büsumer Watts angewandt (Tab. 11). Deswegen soll nochmals auf Unterschiede hingewiesen werden, die in den Bestandsdichten und in den Leistungen auftreten können. Die jahreszeitlichen und die langfristigen Veränderungen sind insbesondere von CADÉE (1976) für *Arenicola marina* und von CADÉE (1979) für *Heteromastus filiformis* dargestellt worden. In Abschn. 4.1 ist bereits die Faeces-Produktion von *A. marina*

in ihrer Unterschiedlichkeit für einzelne Individuen und zwischen den Individuen beschrieben worden. An dieser Stelle muß zusätzlich auf den Jahresgang dieser Leistung hingewiesen werden. Während die Faeces-Produktion von zwei Beständen im Winter (Dezember-Februar) bei 20 ml/m² und Tag oder darunter lag, erreichte sie im Juli maximale Werte von 1000 bzw. 2500 ml/m² und Tag. Winter- und Sommerleistungen der untersuchten Populationen von *H. filiformis* stehen etwa im Verhältnis 1 : 20, die Individuelleistungen erreichen jedoch nur eine Relation von 1 : 2. Während in den Jahren 1975 und 1976 die Jahreskurven der Faeces-Produktion zwar unterschiedlich verliefen – die Maxima von Besiedlungsdichte und Sediment-Umsatzrate fallen in den Herbst bzw. in den Sommer –, blieben die Größenordnungen jedoch gleich. Im Gegensatz dazu lagen 1978 die Werte für die Besiedlungsdichte und die Umsatzrate bei gleicher Individuelleistung aber um den Faktor 10 über denen der früheren Jahre.

Die biologischen Erscheinungen und ihre Variabilität lassen sich häufig nicht auf bestimmte Ursachen zurückführen, da die erforderlichen Beobachtungen und multivariate Faktorenanalysen für Einzelfälle fehlen. Diese sind wegen der hohen Komplexität auch kaum zu erstellen, und damit sind auch Vorhersagen über den Umfang der Bioturbation an einem bestimmten Ort und unter gegebenen Umständen kaum möglich.

Um die Auswirkungen der Bioturbation ergänzend zu erläutern, sei ein Beispiel aus der Literatur angefügt, für das aus dem Testfeld allerdings keine entsprechenden Beobachtungen vorliegen. RHOADS u. YOUNG (1970) stellten fest, daß die Muschel *Nucula proxima* durch ihre Wühltätigkeit den Wassergehalt in der Sedimentoberfläche (0–5 cm) von 45–53 % auf 53–60 % und damit gleichzeitig die Erodierbarkeit des Sedimentes erhöhen kann.

4.5 Biostabilisation

Wie „Bioresuspension“ ist „Biostabilisation“ als Begriff bisher nicht verwendet worden; allerdings sprechen FÜHRBÖTER (1983) und seine Mitarbeiter von der Stabilisation der Sedimente durch Organismen. In Anlehnung an Biodeposition und Bioturbation soll die Wortbildung mit „Bio“ auch für diese biogene Wirkung die Bedeutung der Organismen herausstellen.

So wie der Pflanzenbewuchs zur Biodeposition beiträgt, so wird ebenfalls passiv die Biostabilisation durch Pflanzen bzw. die kritische Geschwindigkeit für den Beginn der Erosion erhöht. Bei den Seegräsern ergibt sich eine zusätzliche Stabilisation durch das Wurzelwerk im Sediment.

Auch die dichten Diatomeenüberzüge wirken bei geringen Strömungsintensitäten besonders durch den Schleimverbund der Partikel, durch die Glättung der Sedimentoberfläche und die dadurch bedingte bodennahe laminare Strömung zunächst stabilisierend. Erst wenn an einer Stelle der Diatomeenrasen aufgebrochen wird, kommt es zum Abheben des Rasens in kleinen Flächen und zu randständigen Auskolkungen.

In ähnlicher Weise können Bakterien und blaugrüne Algen (Cyanophyceen, Cyanobakterien) durch ausgeschiedene Substanzen und durch fädige Strukturen die Bindigkeit der Sedimente erhöhen. Erhebliche Sedimentstabilisation durch Cyanobakterien ist in neuen Forschungsarbeiten für Sandwatten und für die Zone des Farbstreifen-Sandwatts festgestellt worden (FÜHRBÖTER, 1983; FÜHRBÖTER, DETTE, MANZENRIEDER u. NIESEL 1983; STAL, KRUMBEIN u. GEMERDEN, im Druck). Diese Autoren geben erste quantitative Werte. Der biologische Stabilisierungsfaktor ist das Verhältnis der kritischen Geschwindigkeit für den Erosionsbeginn bei besiedelten Sedimenten zur kritischen Geschwindigkeit ohne Organismen

(steril) in den Sedimenten. Nach FÜHRBÖTER et al. (1983) würde der Feststofftransport im Watt nach ingenieurmäßigen Ansätzen bei einer Strömungsgeschwindigkeit von rund 0,2 m/sec beginnen; durch biogene Einflüsse steigt die kritische Geschwindigkeit auf 0,5–1,5 m/sec an. An diesem Beispiel wird nicht nur deutlich, was gemessen werden kann und wie sich die Biostabilisation auswirkt, sondern es wird auch demonstriert, daß einer physikalischen Meßgröße – dem Wert für das sterile Sediment – ein breites Spektrum an Werten für das „lebende Sediment“ gegenübersteht. Unter dem Einfluß abiotischer und biotischer Faktoren kann die Biostabilisation außerordentlich stark schwanken. In der Bodenstabilität dürfte dadurch eine kleinräumige starke Variabilität vorhanden sein, wie sie in allen Besiedlungsmustern zu finden ist, die sicherlich zu starker Streuung der für den Erosionsbeginn kritischen Geschwindigkeiten führen dürfte.

Ebenso können sich auch Foraminiferen auf den Sedimentverband auswirken. Sie verkleben mit ihren Pseudopodien Sedimentpartikel, deren Erosion dann erst bei stärkerer Strömungsintensität möglich wird. LAMADE (1978) fand im Watt bei Büsum maximal 75 Foraminiferen unter 1 cm² Oberfläche und bis 2 cm Sedimenttiefe.

Schleimabsonderungen binden und stabilisieren Sedimente durch die Bildung von Aggregaten. *Hydrobia spec.* kommt in großen Zahlen in bestimmten Bereichen des Watts vor. Im Büsumer Watt wurden bis zu 55 000/m² gefunden (etwa 3450/m² im Mittel), deren Auswirkungen durch Schleimproduktion beträchtlich sein dürften. Hinzu kommen die Absonderungen von bis zu 7600 *Littorina littorea*/m² und einigen *Retusa truncatula*. Auch Muscheln können sich kurz nach dem Brutfall stabilisierend auf die Sedimente auswirken. Im Büsumer Watt kamen sie nach eigenen Beobachtungen 1979 in Dichten bis zu 100 000/m² (*Cerastoderma edule*), 15 000/m² (*Macoma balthica*) und 100 000/m² (*Mya arenaria*) vor. Durch Byssusfäden heften sie sich am Sediment fest und bilden dabei Aggregate, die weniger leicht transportiert werden, als dies mit Sediment und Muscheln in nicht verbundenem Zustand möglich wäre.

Weitere Stabilisation ist durch Röhrenbau möglich. Während die Röhrenwände von *Heteromastus filiformis* dünn und häutig sind, werden in diejenigen von *Pygospio elegans* und *Lanice conchilega* gröbere Partikel eingelagert. Die Wirkung solcher Röhren bezüglich der Sedimentstabilität wird von FÜHRBÖTER et al. (1983) beschrieben, die in Experimenten mit künstlichen Röhren feststellten, daß zwar die Stabilität der Sedimente erhöht wurde, aber bei einer bestimmten mittleren Besatzdichte Turbulenzen und lokale Erosionen hinter den Röhren auftraten.

Als stabilisierend dürften sich auch die Röhrenbildungen und die Flächenüberzüge auswirken, die die Polychaeten *Capitella capitata* und *Polydora ciliata* erzeugen. Insbesondere bei dichtem Besatz bilden sie eine schützende Haut aus verklebten Partikeln über dem Sediment, und ihre Röhren vermindern zusätzlich die Strömungsgeschwindigkeit in der Boden-Wasser-Grenzschicht.

FÜHRBÖTER et al. (1983) erwähnen auch die Lockerung der Sedimente durch biogene Gasblasenbildung und die Resuspension durch Muscheln, kommen aber insgesamt zu dem Ergebnis, daß eine Zunahme der Festigkeit des Sedimentes durch Biostabilisation erfolgt, und zwar im Mittel um 300 % und max. um 770 % gegenüber reinem Sand. Diese Wirkung der Organismen zusammen mit der Biodeposition könnte zu einer langsamen Aufhöhung der Watten führen.

4.6 Zur Sedimentdynamik im Büsumer Watt

Die Sedimentdynamik eines Wattenbereiches ist abhängig von einem Komplex biogener und hydrodynamischer Faktoren. Da für den biogenen Teilkomplex keine Gesamtanalysen der das Sediment stabilisierenden und lockernden Einflüsse möglich ist, wurden bei den Betrachtungen in den vorhergehenden Kapiteln maximale Besiedlungsdichten und Sedimenttransportraten berücksichtigt.

Aus den Untersuchungen von WIELAND (1984) im Bereich der Meldorfer Bucht und speziell im Büsumer Watt geht hervor, daß das Testfeld während der Jahre 1974 bis 1980 erwartungsgemäß einer wechselnden Dynamik unterworfen war. Die Watthöhen und die Korngrößenanteile $< 63 \mu\text{m}$ sind in den Abb. 27a und 27b für die – auch von uns in die Untersuchungen einbezogenen – Profile I und II mit den jeweils 100 m auseinanderliegenden Stationen dargestellt. Die Abbildungen zeigen Veränderungen für die einzelnen Stationen auf, aus denen zwar die langfristigen Aspekte deutlich werden, die jedoch die wahre, kurz- und mittelfristige Dynamik pro Jahr nicht wiederzugeben vermögen. Eine jährlich durchgeführte Watthöhenbestimmung kann kurz- und langzeitige Schwankungen nicht ausreichend erfassen, zumal die zu- und abnehmenden Tendenzen in der Watthöhe von Station zu Station unterschiedlich sind. Für den Zeitraum von 1942–1976 lag die Gesamtzunahme um 3,9 cm pro Jahrzehnt für den Bereich zwischen Normal Null und + 0,5 m; oberhalb dieses Niveaus ergab sich ein Wert von 4,9 cm pro Jahrzehnt. Die Änderungen können jedoch sehr viel stärker sein, wie Abb. 27a für die Stationen + 600, + 700 und + 800 (m vom Deich entfernt, unsere Stationen 1006–1008 auf Profil I) zeigt. Von 1974 bis 1976 waren Abnahmen in der Watthöhe von 32, 38 resp. 45 cm festzustellen, von 1976 bis 1980 hingegen Wattaufhöhungen von 27, 25 resp. 32 cm.

Besonders stark waren kurzfristige und kurzzeitige Aufschlickungen im Frühjahr 1979, als nach eigenen Beobachtungen eine Schlickauflage bis 20 cm Stärke nach dem Abschmelzen des Eises auf dem Watt verblieb und nach etwa 2 Wochen durch die Strömungen wieder abgetragen war (vgl. auch GAST, KÖSTER u. RUNTE, 1984). Dieses Beispiel zeigt die kurzfristigen Ereignisse besonders gut, die bei der Darstellung langfristiger Aspekte nicht in Erscheinung treten.

In ähnlicher Weise lassen sich für die einzelnen Stationen Veränderungen in den Korngrößenverteilungen feststellen. Bezogen auf die Siltfraktion $< 63 \mu\text{m}$ lassen die Abb. 27a und 27b Häufigkeitsveränderungen bis zu 20 % innerhalb von zwei Jahren erkennen. Auch dieses Merkmal variiert kurzfristig unter dem Einfluß von Biodeposition und hydrographischen Bedingungen. Bei ruhiger Wetterlage und starker Biodepositionsleistung ergibt sich eine Verschiebung im Korngrößenspektrum zu feineren Komponenten. KÖSTER u. GAST (1984) haben ebenfalls geringere Anteile der Korngrößen unter $125 \mu\text{m}$ in den Winter-Frühjahrs-Monaten als in den Sommer-Herbst-Monaten gefunden.

Die Diskrepanz zwischen den Meßergebnissen und der tatsächlichen Dynamik gestattet es nicht, den Einfluß der Organismen auf dieses Geschehen aus dem Gesamtprozeß zu isolieren. Von der Fauna mit hoher Depositionsleistung kommt im Büsumer Testfeld nur *Cerastoderma edule* vor. Die anderen Arten tragen nur geringe Mengen zur Sedimentbildung bei, so daß sich die Abschätzung der Deposition für das Testfeld auf *C. edule* beschränken soll. Wir gehen dabei von einer Filtrationsleistung von 0,5–2,5 l/h, einer Filtrationsdauer von 12 Stunden (vgl. Abschn. 3.4.2) und einer partikulären Fracht von 100 mg/l aus. Die Berechnungen der Filtrationsleistungen pro Tag, bezogen auf die einzelne Station mit 10 000 m², und die Tagesleistung des gesamten Bestandes im Testfeld sind in Tab. 12 zusammengefaßt.

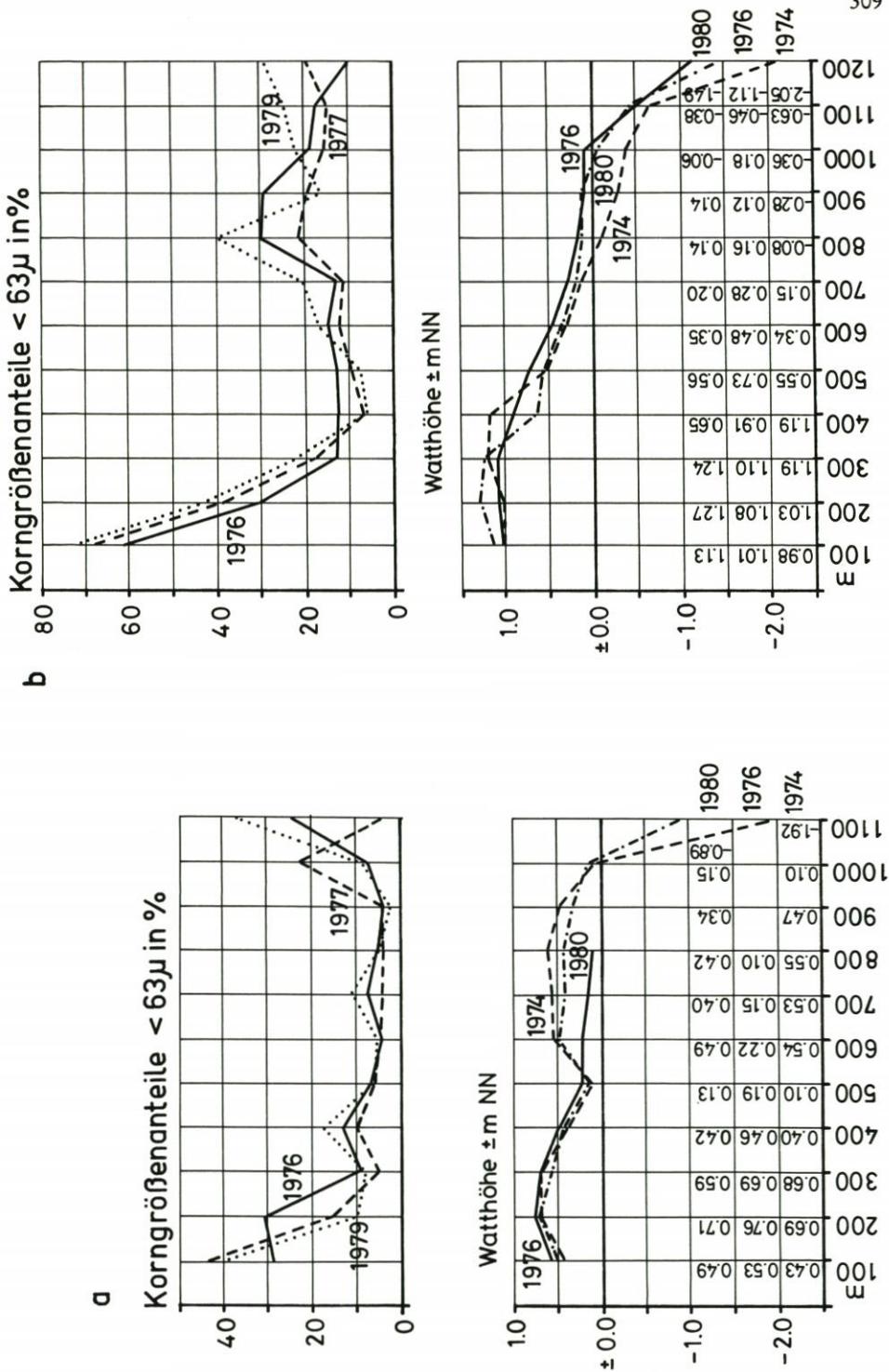


Abb. 27. Watthöhen und Korngrößenanteile $< 63 \mu\text{m}$ in Prozent auf den Profilen I (27a) und II (27b) in den Jahren 1974, 1976 und 1980 (aus WIELAND, 1984)

Tabelle 12
Abgeschätzte Filtrationsleistung von *Cerastoderma edule* für verschiedene Bestandsdichten und Sedimenttypen im Testfeld des Büsumer Watts

Beobachtungen:			
Seston	100 mg/l		
Filtrationsleistung/Individuum	0,5–2,5 l/h (WILLEMSEN, 1952)		
Filtrationsdauer/Tag	12 h (VAHL, 1972)		
Berechnungen:			
Filtrationsleistung/Tier	0,6–3 g		
Bestandsdichte/m ²	Sandwatt: 100 Ind.	Mischwatt: 300 Ind.	Schlickwatt: 800 Ind.
Tagesleistung des Bestandes/m ²	60–300 g	180–900 g	480–2400 g
Sedimentauflage/Tag	0,03–0,15 mm	0,09–0,45 mm	0,24–1,2 mm
Tagesleistung des Bestandes/Station (10 000 m ²)	600–3 000 kg	1 800–9 000 kg	4 800–24 000 kg
Anzahl der Stationen	4	20	16
Tagesleistung des Bestandes im Testfeld	2,4–12 t	36–180 t	76,8–384 t

Der Verbrauch der im Seston vorhandenen organischen Substanz durch die Muscheln ist im Vergleich mit der Gesamtabschätzung gering und wird darum nicht berücksichtigt. Für die unterschiedlichen Sedimentgebiete mit ihren charakteristischen Bestandsdichten beträgt die Biodeposition rund 0,6–24 t/Tag und Station. In dem Bereich der von *C. edule* besiedelten 40 Stationen werden bei Addition der minimalen bzw. maximalen Leistungen (Tab. 12) 115 bzw. 576 t Schlick täglich abgelagert. Diese Leistungen werden allerdings nur in den Sommermonaten erreicht. Für die kälteren Jahreszeiten liegen keine Basisdaten zur Abschätzung der Leistungen vor. Abschätzungen dieser Art haben stark spekulativen Charakter, aber sie können die Größenordnungen aufzeigen.

Biodepositionsraten dieser Größenordnung können über einen längeren Zeitraum Einfluß auf die Sedimente in ihrer Korngrößen-Zusammensetzung und auf die Schichtdicken haben. Auch die Verschiebung des Korngrößenspektrums zu kleineren Partikeln während der Sommer-Herbst-Monate ist sicherlich wenigstens teilweise durch die Biodeposition erklärbar. Die biogene Ablagerung der Partikel geschieht in den agglutinierten Kotballen, die Einarbeitung in das Sediment kann in dieser Form oder nach dem Zerfall in die Ausgangspartikel geschehen und zur Aufhöhung des Watts beitragen.

Die mittelfristigen Sedimentationserscheinungen wurden im Zeitraum einiger Wochen von GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984) untersucht. In orientierten Stechproben wählte er einen auch in später gewonnenen Proben wiederauffindbaren Leithorizont aus. Von dieser Marke ausgehend, ließen sich Sedimentations- oder auch Erosionsereignisse für den Zeitraum zwischen aufeinanderfolgenden Proben feststellen. In unterschiedlich orientierten Proben und

an verschiedenen Stationen stellten die Autoren Sedimentwachstum oder -abtragung fest. Wir gehen nur auf Station 54 und auf die Ost-West-orientierten Proben ein, die einfache Verhältnisse ergaben, auch wenn die Ansprache der Sedimentschichten durch die direkte Beobachtung und durch die Radiographie etwas voneinander abweichen (Tab. 13).

Tabelle 13

Sedimentzunahme nach Beobachtungen an Probenkernen durch GAST, KÖSTER u. RUNTE (1984)

Datum 1980	Anzahl Tage	Tiefe des Leit- horizontes in mm	Sedimentzunahme aus direkter Beobachtung in mm	mittlere Zunahme in mm/Tag
21. 05.		27		
06. 07.	46	50	23	0,5
01. 09.	101	66	16	< 0,3
18. 10.	148	81	15	> 0,3

Eine Sedimentauflagerung von 0,3–0,5 mm/Tag wird bei hohen Individuendichten durch Biodeposition erreicht. Station 54 liegt während des Untersuchungszeitraums im Bereich des Schlicksedimentes, die Besiedlungsdichte von *Cerastoderma edule* erreicht 800 Ind./m², entsprechend einer Biodepositionsleistung (Tab. 12) von 0,24–1,2 mm/Tag. Die von GAST, KÖSTER u. RUNTE festgestellte Sedimentationsrate kann also größenordnungsmäßig durch die Biodeposition von *C. edule* bewirkt werden.

Die Überlegungen zur Sedimentdynamik im Testfeld des Büsumer Watts machen deutlich, daß Biodeposition und Bioresuspension, Bioturbation und Biostabilisation Prozesse sind, die das Sediment erheblich beeinflussen können. Die wesentlichen Veränderungen scheinen aber doch eher unter abiotischen Einflüssen wie Strömung und Seegang zu geschehen. Die langfristigen Wathöhennmessungen zeigen Sedimentations- und Erosionsgeschehnisse an, die bei unveränderten Randbedingungen das Wattniveau schwanken lassen. Es ist jedoch offensichtlich keine gleichgerichtete Tendenz vorhanden oder auch gar vorherzusagen. Biogene und mechanische Faktoren stehen über lange Zeiträume in einem Gleichgewicht. Andererseits läßt sich aus diesem Gleichgewicht ableiten, daß eine wesentliche Veränderung des biologischen Systems im Watt – z. B. unter dem Einfluß anthropogener Belastung – auch zu unvorhersehbaren Veränderungen im sedimentologischen System führen wird.

Das Testfeld im Büsumer Watt umfaßt nur einen kleinen Ausschnitt des Wattenmeeres. Die Ergebnisse unserer Untersuchungen werden teils auf andere Gebiete übertragbar sein, an den meisten Orten werden jedoch andere Faktorenkombinationen die ausgewogenen Systeme beherrschen. Um diese biologisch-physikalischen Gleichgewichte verstehen zu lernen, bedarf es der biologisch-physikalisch orientierten *in situ*-Gemeinschaftsforschung in ausgewählten, sehr kleinen Testfeldern.

5. Schriftenverzeichnis

- ALLEN, J. A.: Preliminary experiments on the feeding and excretion of bivalves using *Phaeodactylum* labelled with ³²P. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 42, 1962.
- ALLER, R. C.: The influence of macrobenthos on chemical diagenesis of marine sediments. Dissertation, Yale University, 1977.
- ANDERSON, A.: Intertidal activity, breeding, and the floating habit of *Hydrobia ulvae* in the Ythan estuary. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 51, 1971.

- BAGGERMAN, B.: Spatfall and transport of *Cardium edule* L. Arch. néerl. Zool., 10, 1953.
- BAUMFALK, Y. A.: Heterogeneous grain size distribution in tidal flat sediment caused by bioturbation activity of *Arenicola marina* (Polychaeta). Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 3/4, 1979.
- BEUKEMA, J. J.: Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., Vol. 10, No. 2, 1976.
- BEUKEMA, J. J.: Quantitative data on the benthos of the wadden sea proper. In: Dankers, N., Kühl, H. u. Wolff, J. W. (Eds.): Invertebrates of the Wadden Sea. Mar. Zool., 4, 1981.
- BEUKEMA, J. J. u. VLAS, J. de: Population parameters of the lugworm, *Arenicola marina*, living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 3/4, 1979.
- BRAFIELD, A. E. u. NEWELL, G. E.: The behaviour of *Macoma balthica* L. J. mar. biol. Ass. U. K., 41, 1961.
- BUBNOVA, N. P.: The nutrition of the detritusfeeding mollusks *Macoma balthica* L. and *Portlandica arctica* (Gray) and their influence on bottom sediments. Oceanol. 12, 1972.
- CADÉE, G. C.: Sediment reworking by *Arenicola marina* on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., Vol. 10, No. 4, 1976.
- CADÉE, G. C.: Het effect van pierenspitten op de worm *Heteromastus*. Waddenbulletin, Vol. 12, No. 2, 1977.
- CADÉE, G. C.: Sediment reworking by the polychaete *Heteromastus filiformis* on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 3/4, 1979.
- CREUTZBERG, F. u. POSTMA, H.: An experimental approach to the distribution of mud in the southern North Sea. Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 1, 1979.
- CULEN, D. J.: Bioturbation of superficial marine sediments by interstitial meiobenthos. Nature, 242, 1973.
- DALES, R. P.: The reproduction and larval development of *Nereis diversicolor* O. F. M. J. mar. biol. Ass. U. K., 29, 1950.
- DAMAS, D.: Le rôle des organismes dans la formation des vases marines. Annales Soc. géologique Belgique, 58, 1935.
- DEGENS, E. T. u. KEMPE, S.: Geochemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen der Schlickbildung im Büsumer Watt. – Abschlußbericht für das Schlickprojekt des Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen. Unveröffentlicht, 1980.
- EISMA, D.: The distribution of benthic marine molluscs off the main Dutch coast. Neth. J. Sea Res., 3, 1966.
- ELWERT, D.: Erläuterungen zur Bodenkarte 1 : 10 000 Speicherkoog Dithmarschen, Nordteil I und II. Geol. Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel, 1977.
- FARKE, H., WILDE, P. A. W. J. DE u. BERGHUIS, E. M.: Distribution of juvenile and adult *Arenicola marina* on a tidal mud flat and the importance of nearshore areas for recruitment. Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 3/4, 1979.
- FIGGE, K., KÖSTER, R., THIEL, H. u. WIELAND, P.: Schlickuntersuchungen im Wattenmeer der Deutschen Bucht – Zwischenbericht über ein Forschungsprojekt des KFKI. Die Küste, H. 35, 1980.
- FÜHRBÖTER, A.: Über mikrobiologische Einflüsse auf den Erosionsbeginn bei Sandwatten. Wasser und Boden, 3, 1983.
- FÜHRBÖTER, A., DETTE, H. H., MANZENRIEDER, H. u. NIESEL, S.: In-situ-Untersuchungen der Erosionsstabilität von Wattböden – 2. Meßzeitraum 1982 –. Bericht Nr. 552 d. Leichtweiß-Inst. d. TU Braunschweig, 1983.
- GAST, R., KÖSTER, R. u. RUNTE, K.-H.: Die Wattsedimente in der nördlichen und mittleren Meldorfer Bucht. Die Küste, H. 40, 1984.
- GIERE, O.: Die Fluktuationen des marinen Zooplanktons im Elbe-Ästuar. Arch. Hydrobiol., 31, (Suppl. Elbe-Ästuar 3), 1968.
- GOERKE, H.: Nahrungfiltration von *Nereis diversicolor* O. F. MÜLLER (Polychaeta, Nereidae). Veröffentl. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven, 10, 1966.
- GOERKE, H.: Ernährungsweise der Nereisarten (Polychaeta, Nereidae) der deutschen Küsten. Veröffentl. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven, 13, 1971.
- GRAY, J. S.: Animal sediment relationship. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 12, 1974.
- HARTMANN-SCHRÖDER, G.: Annelida, Borstenwürmer, Polychaeta. In: DAHL, Tierwelt Deutschlands, 58. Teil, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1971.
- HAVEN, D. S. u. MORALES-ALAMO, R.: Aspects of deposition by oysters and other invertebrate filter-feeders. Limnol. Oceanogr., 11, 1966.

- HEIP, C. u. HERMAN, R.: Production of *Nereis diversicolor* O. F. Müller (Polychaeta) in a shallow brackish water. Estuar. Coast. Mar. Sci., 8, 1979.
- HÜPPOP, O.: Jahrgang und Ökologie des Makrobenthos in der Leybucht. Dipl. Arb. Universität Hamburg, 1983.
- JØRGENSEN, C. B.: Lamellibranchia. In: G. THORSON, Reproduction and larval development of danish marine bottom invertebrates. Medd. Komm. Dan. Fisk.-Havunders. (Plankton), Vol. 4, No. 1, 1946.
- JUTTING, N.: Mollusca C. Lamellibranchia. Fauna van Nederland, 12, 1943.
- KREGER, D.: On the ecology of *Cardium edule* L. Arch. néerl. Zool., 4, 1940.
- KRISTENSEN, I.: Difference in density and growth in a cockle population in the Dutch Wadden Sea. Arch. néerl. Zool., 12, 1957.
- KRÜGER, F.: Zur Ernährungsphysiologie von *Arenicola marina* (L.). Zool. Anz. (Suppl.), 22, 1959.
- KRÜGER, F.: Bau und Leben des Wattenwurms *Arenicola marina*. Helgoländ. wiss. Meeresunters., 22, 1971.
- KÜHL, H.: Studien über die Klaffmuschel *Mya arenaria*. 3. Das Junggut. Arch. Fischereiwiss., 6, 1955.
- LAMADE, S.: Die räumliche Verteilung der Foraminiferen-Arten *Nonion depressulum*, *Elphidium excavatum* und *Elphidium selseyense* im Gezeitenbereich der Meldorfer Bucht. Dipl. Arb. Universität Hamburg, 1978.
- LAMMENS, J. J.: Growth and reproduction in a tidal flat population of *Macoma balthica* (L.). Neth. J. Sea Res., 3, 1967.
- LINKE, O.: Die Biota des Jadebusens. Helgoländ. wiss. Meeresunters., Jg. 1, H. 3, 1939.
- LOPEZ, G. R. u. KOFOD, L. H.: Epipsammic browsing and deposit-feeding in mud snails (Hydrobiidae). J. Mar. Res., Vol. 38, No. 4, 1980.
- MANN, H.: Vergleichende Untersuchungen an einigen Muscheln des Watts. Zool. Anz. Suppl., 16, 1952.
- MÜLLER, C. D.: Fauna und Sediment in der Leybucht. Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1959, Bd. 11, 1960.
- MUUS, B. J.: The fauna of Danish estuaries and lagoons. Medd. Dan. Fisk.-Havunders. (n. s.), Vol. 5, 1967.
- NOWELL, A. R. M., JUMARS, P. A. u. ECKMAN, J. E.: Effects of biological activity on the entrainment of marine sediments. Mar. Geol., 42, 1981.
- OHDE, J.: Entstehung von Besiedlungsmustern der Makro-Endofauna im Wattenmeer der Elbe-Mündung. Dissertation, Universität Hamburg, 1981.
- PALS, G. u. PAUPTIT, E.: Oxygen binding properties of the coelomic haemoglobin of the polychaete *Heteromastus filiformis* related with some environmental factors. Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 3/4, 1979.
- PILKINGTON, M. C.: The veliger stage of *Hydrobia ulvae* (Pennant). Proc. Malacol. Soc. London 39, 1971.
- POSTMA, H.: Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. In: G. H. LAUFF, Estuaries. Am. Ass. Advancement Science, Washington D. C., 1967.
- RAGUTZKI, G.: Vergleichende bodenphysikalische Untersuchung über die Eigenschaften von Schlick in Verlandungsfeldern. Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht 1972, Bd. 24, 1973.
- RASMUSSEN, E.: Faunistic and biological notes on marine invertebrates III. Biol. Medd., 23, 1956.
- REINECK, H.-E., DÖRJS, J., GADOW, S. u. HERTWECK, G.: Sedimentologie, Faunenzonierung und Faziesabfolge vor der Ostküste der inneren Deutschen Bucht. Senckenberg. leth., 49, 1968.
- REISE, K.: Gutachten zur Bodenfauna im Gebiet der Nordstrander Bucht. Schriftenreihe der Landesregierung Schleswig-Holstein, 12, 1981.
- REMANE, A.: Einführung in die zoologische Ökologie der Nord- und Ostsee. In: DAHL, Die Tierwelt der Nord- und Ostsee, 34. Lieferung, 1940.
- RENFRO, W. C.: Transfer of ⁶⁵Zn from sediments by marine polychaete worms. Mar. Biol., 21, 1973.
- RHOADS, D. C.: Organism-sediment relations on the muddy sea floor. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 12, 1974.
- RHOADS, D. C. u. CANDE, S.: A sediment profil camera for in situ study of animal-sediment relations. Limnol. Oceanogr., 16, 1971.
- RHOADS, D. C. u. YOUNG, D. K.: The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. J. Mar. Res., 28, 1970.
- RHOADS, D. C. u. YOUNG, D. K.: Animal-sediment relations in Cape Cod Bay, Massachusetts; II.

- Reworking by *Molpadia oolitica* (Holothuroidea). Mar. Biol., Vol. 11, No. 3, 1971.
- RIJKEN, M.: Food and food-uptake in *Arenicola marina*. Neth. J. Sea Res., 13, 1979.
- SCHÄFER, W.: Wirkungen der Benthosorganismen auf den jungen Schichtverband. Senckenb., Bd. 37, H. 3/4, 1956.
- SCHÄFER, W.: Aktuopaläontologie, nach Studien in der Nordsee. Frankfurt, 1962.
- SIEFERT, W.: Zusammenstellung der wichtigsten Meßdaten und Untersuchungsergebnisse 1964-1977 aus dem Sahlenburger Watt. Strom- und Hafengebäude Hamburg, Forschungs- und Vorarbeitsstelle Neuwerk, Studie 41, 1979.
- SMIDT, E. L. B.: Animal production in the Danish Wadden Sea. Medd. Komm. Dan. Fisk.-Havunders. (Fisk.), Vol. 11, No. 6, 1951.
- STAL, L. J., KRUMBEIN, W. E. u. GEMERDEN, H. v.: Das Farbstreifen-Sandwatt – ein laminiertes, mikrobiologisches Ökosystem im Wattenmeer. Mitt. naturforsch. Ges. Emden (im Druck), 1984.
- STEPHEN, A. C.: Notes on the biology of *Tellina tenuis* da Costa. J. mar. biol. Ass. U. K., 15, 1928.
- STRAATEN, L. M. J. U. VAN: Composition of shell-beds formed in tidal flat environment in the Netherlands and in the bay of Arcachon (France). Geol. Mijnb., 18, 1956.
- THAMDRUP, H. M.: Beiträge zur Ökologie der Wattenfauna auf experimenteller Grundlage. Medd. Komm. Dan. Fisk.-Havunders. (Fisk.), Vol. 10, No. 2, 1935.
- VAHL, O.: Porosity of the gill, oxygen consumption and pumping rate in *Cardium edule* L. (Bivalvia). Ophelia, 10, 1972.
- WIELAND, P.: Untersuchungen über geomorphologische Veränderungen in der Dithmarscher Bucht. Die Küste, H. 40, 1984.
- WILDE, P. A. W. J. DE u. BERGHUIS, E. M.: Spawning and gametic production in *Arenicola marina* in the Netherlands Wadden Sea. Neth. J. Sea Res., Vol. 13, No. 3/4, 1979.
- WILLEMSEN, J.: Quantities of water pumped by mussels (*Mytilus edulis*) and cockles (*Cardium edule*). Arch. néerl. Zool., 10, 1952.
- WOHLENBERG, E.: Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgol. wiss. Meeresunters., 1, 1937.
- WOLFF, W. J.: The estuary as a habitat. Zool. Verhandl., 126, 1973.

Dichtemessung im Watt vor Büsum (Kurzbericht)

VON DIETER RECHLIN

In der Zeit vom 12. bis 21. 8. 1980 hat die Bundesanstalt für Wasserbau – Abteilung Küste/Fachgruppe Geologie – im Rahmen des Schlickprojektes des KFKI Dichte-Messungen mit verschiedenen Verfahren an Wattsedimenten in der Dithmarscher Bucht durchgeführt^{*)}. Das Arbeitsprogramm ist in enger Absprache mit dem Amt für Land- und Wasserwirtschaft, Dezernat Gewässerkunde, Büsum, und dem Geologischen Institut der Universität Kiel aufgestellt worden.

Die Meßpunkte wurden anhand der geologischen Kartierungen (Beitrag GAST et al. in diesem Heft) festgelegt. Sie können als repräsentativ angesehen werden. Es wurden folgende Geräte von der Fachgruppe Geologie eingesetzt:

- Isotopenflächensonde mit Einsteckstab, System Berthold
- Entnahmezylinder nach DIN 4021, Blatt 1
- Leichte Rammsonde nach DIN 4094

Das Arbeitsschema sah vor, an jeder Meßposition vier Rammsondierungen über Kreuz und dazu Isotopenmessungen und Zylinderprobenentnahmen durchzuführen. Als Sondierabstand sind ca. 4 m festgelegt worden. Die Rammsondiertiefen betragen 2 m. Der Meßbereich der Isotopensonde mit Einsteckstab reicht bis 0,5 m unter Wattoberkante. Die Zylinder sind direkt unter Oberkante Watt und dort, wo es möglich war, nochmals auf der gleichen Position 30 cm darunter entnommen worden. Insgesamt sind 45 Rammsondierungen, 62 Isotopenmessungen und 56 Zylinderentnahmen durchgeführt worden.

An den Zylinderproben wurden Wassergehalt, Dichte- und Körnungslinien bestimmt. Die Abb. 1 zeigt vier Körnungslinien, die die Schwankungsbreite und das repräsentative

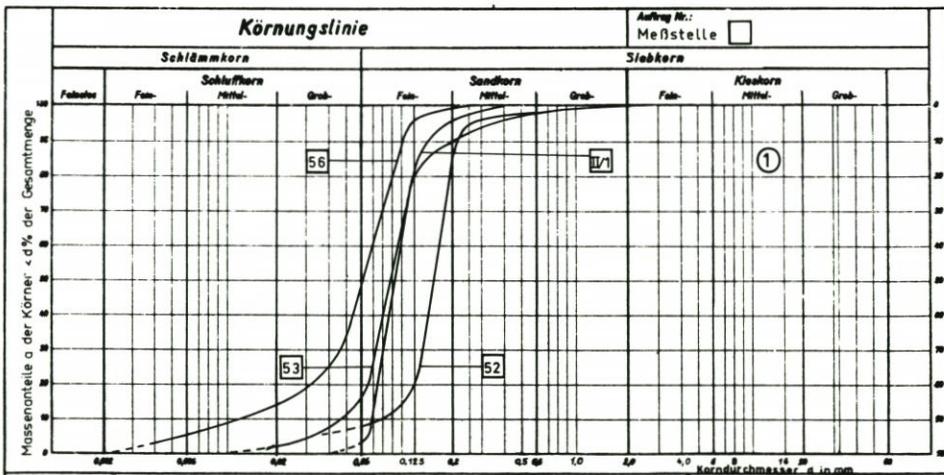


Abb. 1. Charakteristische Kornverteilungskurve der untersuchten Sedimente

^{*)} Ausführlicher Bericht: Dichtemessungen im Watt vor Büsum im Rahmen des KFKI-Schlickprogramms, Bundesanstalt f. Wasserbau, Kiel, 1981.

Mittel des angetroffenen Bodens abdecken. In der Tabelle sind für die einzelnen Meßstellen die Ergebnisse zusammengestellt. Sie zeigen die jeweils höchsten und tiefsten Werte sowie den Mittelwert des untersuchten Bodens in bezug auf die Dichte (durch Zylinder und Isotopensonde gemessen), auf den Wassergehalt und auf die Schlagzahl n_{10} der leichten Rammsonde. Es ist ersichtlich, daß selbst auf einer Meßposition sowohl die Dichte wie der Wassergehalt z. T. erheblich schwanken können. Als Beispiel mag die Meßstelle P 56 dienen: Dichte $1,71 < \rho < 2,01 \text{ t/m}^3$ und Wassergehalt $0,282 < w < 0,552$.

Weiter sind vier graphische Darstellungen (Abb. 2-5) entwickelt worden, die die Abhängigkeit der Dichte durch Messung mittels Zylinderentnahme und der Isotopensondemessung

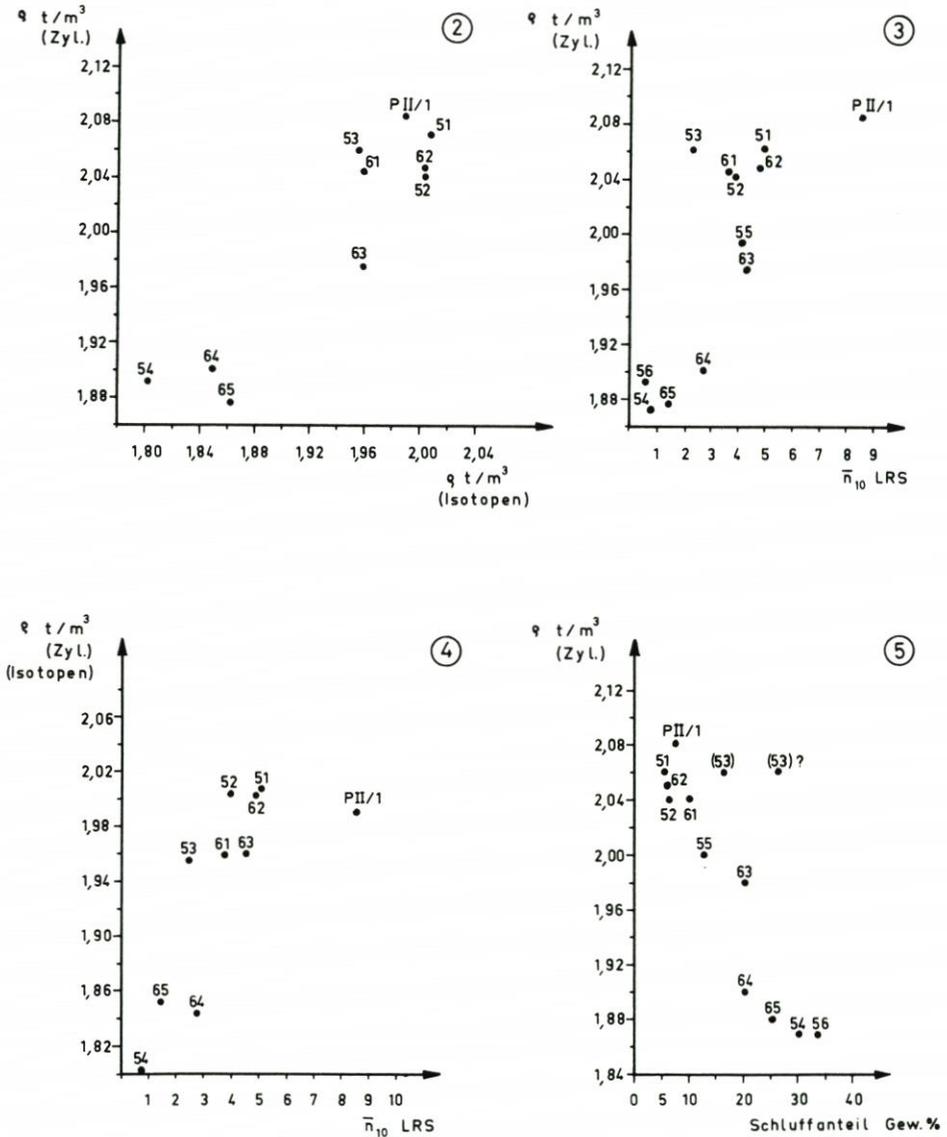


Abb. 2.

Tabellarische Zusammenstellung der Meßergebnisse

Meß- stelle	Zylinder										Isotopensonde						Leichte Rammsondierung						Bemerkungen
	Dichte Q $1/m^3$		Messergehalt W bezogen auf 1		Dichte Q $1/m^3$		Schlagzahl auf $n = 10$ cm		Messbereich t		Schlagzahl auf $n = 10$ cm		Messbereich t										
	Q	Q_{min}	\bar{W}	W_{max}	W_{min}	N	\bar{Q}	Q_{max}	Q_{min}	N	\bar{n}_{10}	n_{10max}	n_{10min}	N		m							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		15	16	17					
P 51	2,07	2,18	2,03	5	0,239	0,248	0,235	5	2,01	2,03	1,99	6	5,0	5,3	4,8	4	0,4 - 1,0	18					
P 52	2,04	2,11	2,00	5	0,241	0,251	0,234	5	2,00	2,01	1,99	6	3,9	4,6	2,7	4	3 x 0,4 - 0,9 1 x 0,4 - 1,0						
P 53	2,06	2,16	1,97	4	0,261	0,272	0,249	4	1,96	1,99	1,94	7	2,4	3,2	2,0	4	1 x 0,4 - 1,0 1 x 0,4 - 0,9 2 x 0,4 - 0,8						
P 54	1,97	1,94	1,70	4	0,372	0,462	0,377	4	1,80	1,85	1,75	7	0,8	1,0	0,2	4	0,4 - 1,0						
P 55	2,00	2,06	1,94	4	0,278	0,299	0,267	4	-	-	-	-	4,7	4,8	3,8	4	3 x 0,4 - 1,0 1 x 0,4 - 0,8	keine Isotopenmessung durchzuführen (weiter)					
P 56	1,89	2,01	1,71	5	0,388	0,552	0,282	5	-	-	-	-	0,6	0,8	0,2	4	0,4 - 1,0	keine Isotopenmessung durchzuführen (weiter)					
P 61	2,04	2,11	1,96	4	0,106	0,116	0,097	4	1,96	1,99	1,93	6	3,7	-	-	2	0,4 - 1,0						
P 62	2,05	2,12	2,01	5	0,110	0,097	0,079	5	2,00	2,01	1,98	6	4,1	5,7	4,5	4	0,4 - 1,0						
P 63	1,98	2,06	1,91	5	0,134	0,150	0,118	5	1,96	1,99	1,92	6	4,4	4,8	3,8	3	2 x 0,4 - 0,8 1 x 0,4 - 0,7						
P 64	1,90	1,98	1,82	3	0,206	0,217	0,200	3	1,84	1,87	1,82	6	2,7	3,5	1,3	3	0,4 - 1,0	eine 4, US nicht gewertet					
P 65	1,88	1,94	1,77	6	0,192	0,223	0,163	6	1,85	1,87	1,83	6	1,4	1,8	1,0	3	0,4 - 1,0	eine 4, US nicht gewertet					
P \bar{I} / 1	2,08	2,25	2,00	6	0,256	0,279	0,243	6	1,99	2,01	1,95	6	8,5	10,2	7,2	4	3 x 0,4 - 1,0 1 x 0,4 - 0,9						

Abb. 10. Luftbild Dithmarscher Bucht 1979. Maßstab: 1,4 cm = 1 km



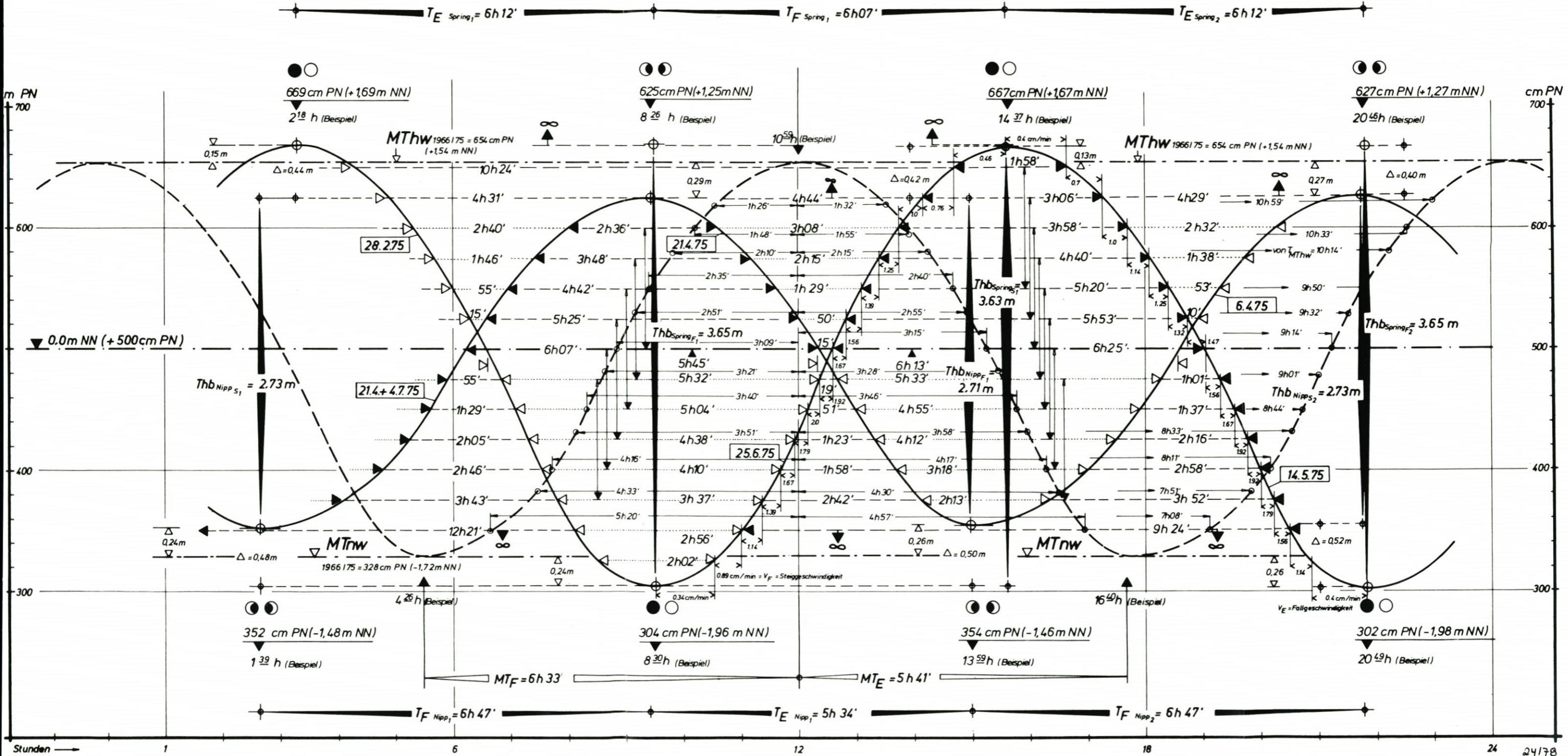


Abb. 3. Mittlere Tideganglinien mit Über- und Unterschreitungszeiten sowie Steig- und Fallgeschwindigkeiten am Pegel Büsum 1966/75