

Beitrag Nr. 208
aus dem Sonderforschungsbereich 95 der Universität Kiel
„Wechselwirkung Meer — Meeresboden“.

Sandablagerungen während der postglazialen Transgression in der Eckernförder Bucht (westliche Ostsee).

Mit 5 Abbildungen und 3 Tabellen.

GEROLD WEFER & MICHAEL WEBER & HELMUT ERLKENKEUSER.

Kurzfassung.

[WEFER, G. & WEBER, M. & ERLKENKEUSER, H. (1978): Sandablagerungen während der postglazialen Transgression in der Eckernförder Bucht (westliche Ostsee). — *Senckenbergiana marit.*, 10 (1/3): 39—61, 5 Abb., 3 Tab.; Frankfurt a. M.]

Am Nordwest-Hang der Eckernförder Bucht (westliche Ostsee) wurden zwischen 14 und 21 m Wassertiefe sieben Sandkerne mit einem Vibrohammer-Kerngerät entnommen. An den Sanden der 85—250 cm langen Kerne wurden Korngrößenanalysen durchgeführt, C_{org} - und Karbonat-Anteile bestimmt und die Gehalte an Mikrofossilien ermittelt. Bei 14 Kernabschnitten wurden an der organischen Substanz absolute Altersbestimmungen durchgeführt und das $^{13}C/^{12}C$ -Verhältnis bestimmt.

Anhand von Hartteilen benthischer Foraminiferen und anderer Mikroorganismen konnte in den Sanden von oben nach unten eine Abfolge von vier Bildungsbereichen unterschieden werden: Typ 1 und 2: küstenferne Sandgebiete, die sich durch die Foraminiferenart *Eggerella scabra* unterscheiden lassen; Typ 3: Lagune und Vorstrand; Typ 4: subaerisch oder limnisch. Mit granulometrischen (Medianwert, Sortierung, Anteil < 63 μm , obere Korngrößenranke bei 99%) und geochemischen (C_{org} - und Karbonatgehalt) Parametern konnten die Proben über eine Diskriminanzanalyse zwei Bildungsräumen: küstenfern (Typ 1 und 2) und küstennah (Typ 3 und 4) zugeordnet werden.

Die einzelnen Kernabschnitte konnten auf zwei Profilen parallelisiert werden. Ihre radiometrisch ermittelten Alter passen, abgesehen von einigen Ausnahmen, in das Bild des in der Literatur angenommenen postglazialen Meeresspiegelanstiegs. Die Lagunen- und Vorstrandablagerungen werden als Folge einer Verzögerung beim postglazialen Meeresspiegelanstieg bei 17—18 m unter N. N. gedeutet.

Die Akkumulationsraten der Sande in den küstenfernen Sandanhäufungsgebieten sind mit maximal 0,15 mm/Jahr um eine Größenordnung geringer als die Schlickablagerungen in dem einige hundert Meter entfernt liegenden Beckenbereich.

Anschriften der Verfasser: Dr. GEROLD WEFER, Dipl.-Geol. MICHAEL WEBER, Geologisch-Paläontologisches Institut der Universität Kiel, Olshausenstr. 40/60, D-2300 Kiel. — Dr. HELMUT ERLKENKEUSER, Institut für Reine und Angewandte Kernphysik der Universität Kiel, ^{14}C -Labor, Olshausenstr. 40/60, D-2300 Kiel.

Abstract.

[WEFER, G. & WEBER, M. & ERLKENKEUSER, H. (1978): Postglacial deposition of sand in the Eckernförder Bay (Western Baltic). — *Senckenbergiana marit.*, 10 (1/3): 39—61, 5 text-figs., 3 tabs.; Frankfurt a. M.]

At the NW-slope of Eckernförder Bay (Western Baltic) between 14 and 21 m water depth 7 sand cores were taken with a vibrocorer. The cores were between 85 and 250 cm long. The sand was analysed for grain size distribution, proportions of organic carbon and carbonate, and contents of microfossils. The radiometric age and stable carbon isotope ratios were determined on organic material from 14 samples.

With regard to benthic foraminifera and other microorganisms four different types of depositional conditions could be distinguished: Types 1 and 2: two types of offshore sand areas. Type 3: lagoon and nearshore. Type 4: subaerial or limnic. Using sedimentological and geochemical parameters two formation areas could be distinguished with the aid of a discriminant analysis: offshore (types 1 and 2) and nearshore (types 3 and 4).

A juxtaposition of core sections indicated two distinct profiles. Their ages fit into the picture of the assumed postglacial sea-level rise. The lagoon- and nearshore sands are interpreted as the result of sea-level stagnation at 17—18 m below present sea-level.

The accumulation rates of the sand in the offshore areas are, with a maximum of 0.15 mm/yr., an order of magnitude smaller than in the mud areas, located several hundred metres away.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung	41
Methoden	41
Korngrößen	41
Organischer Kohlenstoff und Karbonat	42
Altersbestimmungen und stabile Kohlenstoffisotope	43
Gehalt an Mikrofossilien	44
Gruppierungs-Verfahren	44
Einteilung der Kernabschnitte nach Mikrofossilien	44
Küstenferne Sandgebiete (Typ 1)	45
Küstenferne Sandgebiete (Typ 2)	45
Lagune und Vorstrand (Typ 3)	45
Subaerisch oder limnisch (Typ 4)	45
Analyse der Sedimente	46
Korngrößendaten	46
C _{org} - und Karbonatanteile	47
Gruppenbildung mit der Diskriminanzanalyse	47
¹⁴ C-Alter und ¹³ C/ ¹² C-Verhältnisse	53
Diskussion	56
Bildungsbereiche der Sande	56
Abfolge im Laufe der postglazialen Transgression	57
Danksagung	59
Schriftenverzeichnis	59

Einleitung.

Im Zuge der holozänen Transgression wurden in den Zungen- und Toteisbecken, den glazialen Entwässerungsrinnen und auf den submarinen Abrasionsflächen der westlichen Ostsee Sedimente unterschiedlicher Zusammensetzung und Korngröße abgelagert. Nach PRATJE (1939, 1948) und BARNER (1964) lassen sich an den jüngeren Sedimenten der Ostsee 4 Bildungsbereiche unterscheiden, die als 1. küstennahe Sandanhäufungszone, zu der auch die Lagunen gehören, 2. Abtragungsgebiete mit Restsedimenten, 3. küstenferne Sandanhäufungsgebiete und 4. Schlickgebiete gekennzeichnet werden können.

Aus der küstennahen Sandanhäufungszone, aus der vom Ufer ohne größeren technischen Aufwand Sedimentkerne entnommen werden können, liegen Ergebnisse zur Struktur und Korngrößenzusammensetzung der Sande vor (NEWTON 1968). Die Restsedimente der Abtragungsgebiete, die nur bis zu maximal einigen Dezimetern mit grobkörnigen Sedimenten bedeckt sind, wurden durch Taucher untersucht (FLEMMING & WEFER 1973). Auch aus den Schlickgebieten liegen Untersuchungen zur Struktur, Material- und Korngrößenzusammensetzung der Sedimente vor (WERNER 1967, 1968). Nur aus dem Bereich der küstenfernen Sandanhäufungszone fehlen solche Untersuchungen, da bisher kein geeignetes Gerät zur Entnahme längerer Sedimentkerne vorhanden war. Mit Entwicklung eines Kerngerätes für sandige Sedimente (Vibrocorer 300 bzw. 600: KÖGLER & VEIT 1973) konnte diese Lücke jetzt geschlossen werden.

In der vorliegenden Arbeit werden Daten zur Struktur, zu den Korngrößenverhältnissen, zu Karbonat- und C_{org} -Gehalten sowie zu den Fossilieninhalten von 7 Sandkernen gegeben. Anhand dieser Daten wird versucht, die Kerne zu gliedern und die einzelnen Kernabschnitte über mehrere Kerne auf zwei Profilen zwischen 14 und 21 m Wassertiefe zu parallelisieren. Unter Verwendung der Meeresanstiegskurve von DUPHORN (1977) wird versucht, das Ablagerungs-geschehen während des postglazialen Meeresspiegelanstiegs an einem Hang einer Rinne zu rekonstruieren.

Das Untersuchungsgebiet liegt vor Bokniseck am Nordausgang der Eckernförder Bucht in der westlichen Ostsee (Abb. 1). Positionen und Längen der Kerne sind aus Abb. 2 zu entnehmen.

Die sieben Vibratorkerne sind zwischen 85 und 250 cm lang. Fünf haben die gesamten postglazialen Ablagerungen durchteuft und sind in den Geschiebemergel eingedrungen. Die Sande enthalten einige Schill- und Wurzelhorizonte und vereinzelt größere Steine. In einigen Kernen wurden in den unteren Bereichen schrägschichtete Sandlagen gefunden. Eine detaillierte Beschreibung der Kerne Nr. 13 365 — 368 und 13 371 findet sich bei WEBER (1977).

Methoden.

Korngrößen.

In Abständen von 10 cm wurden Proben entnommen und auf Korngrößenzusammensetzung untersucht, und zwar Medianwert, Sortierung¹⁾, Gewichts-

¹⁾ Sortierung: $QDZ = \frac{\xi_{25} - \xi_{75}}{2}$

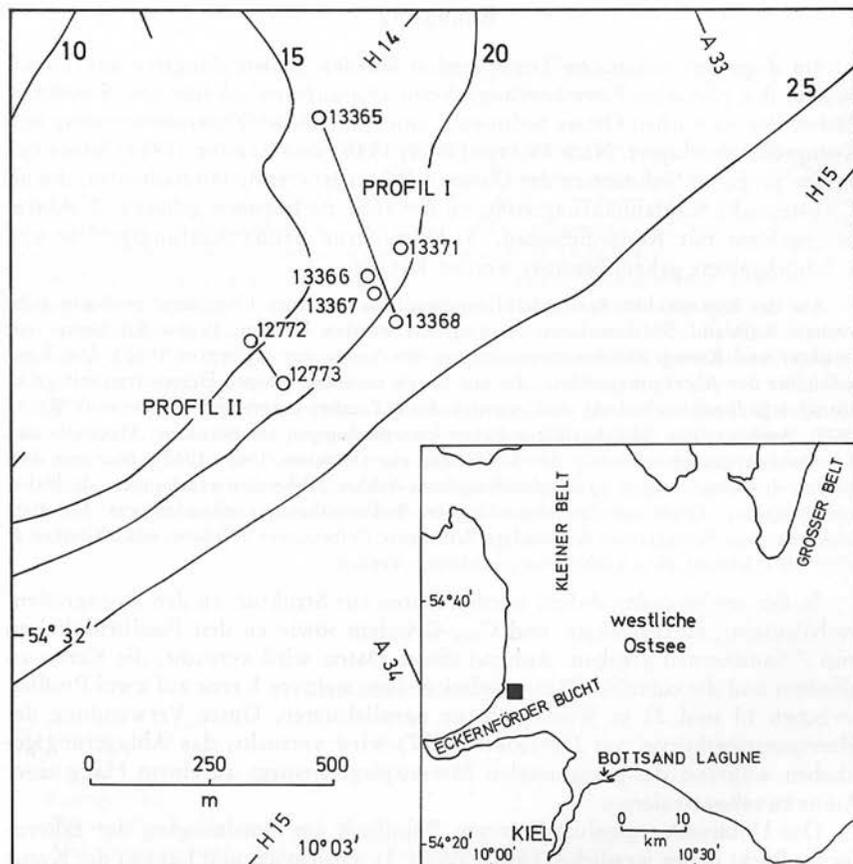


Abb. 1. Lage der Vibrator-Kerne in der Eckernförder Bucht (westliche Ostsee).

Fig. 1. Location of vibrocores in the Eckernförder Bay (western Baltic).

Anteil $< 63 \mu\text{m}$ und die obere Korngrößen-schranke bei 99% Gew.-Anteil. In der Sandfraktion wurde die Korngrößenverteilung mit Hilfe einer Sedimentationswaage (3 m-Fallrohr: WALGER, unveröffentlichte Laboranweisung) ermittelt. Die Ton- bzw. Siltanteile wurden nach der Pipette-Methode bestimmt.

Organischer Kohlenstoff und Karbonat.

Von jeder Sedimentprobe (Fraktion $< 2 \text{ mm}$) wurde mit dem „Automatic Carbon Determinator“ (Typ WR 12 der Fa. LECO) der Gesamtkohlenstoffgehalt (Gewichts-% der salzfreien Trockensubstanz) ermittelt. Zur Verbrennung des C_{org} wurde eine Parallelprobe 6—8 Stunden bei $450\text{—}470^\circ$ geblüht und anschließend ebenfalls analysiert. Die Differenz beider Werte ergibt den Gehalt an

GIK-Nr.		12772	13365	13366	12773	13367	13371	13368
Lage	rot H	14.23	14.00	14.25	14.33	14.30	14.27	14.40
DECCA	grün A	34.06	33.77	33.87	34.03	33.79	33.67	33.73
Wassertiefe (m)		15	16	17	18	18	19	21

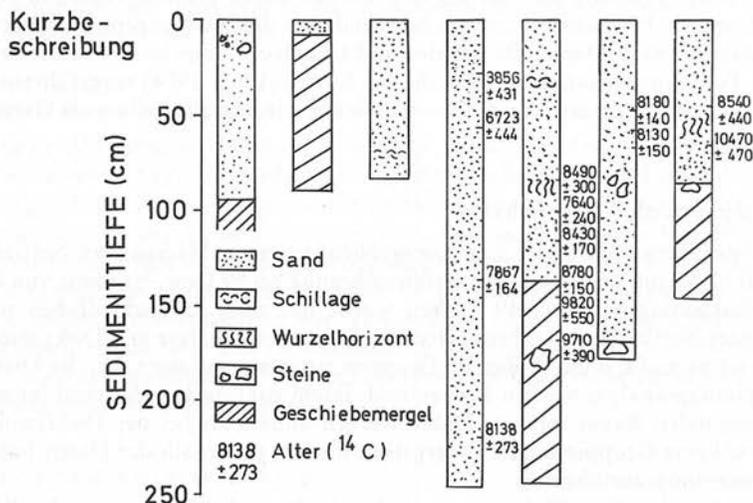


Abb. 2. Nummern (Probenverzeichnis des Geologischen Instituts Kiel: GIK), Positionen, Wassertiefen und Kurzbeschreibungen der bearbeiteten Kerne aus der Eckernförder Bucht.

Fig. 2. Numbers (sample-catalogue Institute of Geology Kiel: GIK), positions, water depths, and descriptions of investigated cores from the Eckernförder Bay.

Kohlenstoff, der in organischer Substanz gebunden ist. Der Kohlenstoffgehalt der geblühten Probe wurde auf Karbonatgehalt (Gew.-%) umgerechnet.

Altersbestimmungen und stabile Kohlenstoffisotope.

Bei einigen Proben wurden an der organischen Fraktion und teilweise auch am Karbonat Altersbestimmungen nach der ^{14}C -Methode durchgeführt. Die Karbonate wurden mit 10%iger HCl zersetzt und das entweichende CO_2 ggf. zur Datierung aufgefangen. Anschließend wurden die Proben dialysiert, getrocknet und der organische Kohlenstoff zwecks Datierung auf nassem Wege verbrannt (ERLENKEUSER 1976).

Die angegebenen ^{14}C -Alter (Tab. 3) beziehen sich auf einen Rezentwert von 95% der Aktivität des NBS-Oxalsäure- ^{14}C -Standards und wurden mit einer ^{14}C -Halbwertszeit von 5568 Jahren aus den Aktivitätsmessungen errechnet. Der Nullpunkt dieser ^{14}C -Altersskala ist A. D. 1950. Die ^{14}C -Alter wurden nicht auf Isotopie-Effekte korrigiert bzw. bezüglich der $\delta^{13}\text{C}$ -

Werte sind an dem gereinigten CO₂-Gas der Probe gegenüber einem laborinternen Standard gemessen und auf die allgemein übliche PDB-Skala umgerechnet worden (vgl. HOEFS 1973). Die Genauigkeit der $\delta^{13}\text{C}$ -Messung liegt bei $\pm 0,1\%$.

Gehalt an Mikrofossilien.

Von der Fraktion 0,04 bis 2,0 mm wurden durch Trocken-Flotation (CCl₄) die biogenen Hartschalen angereichert und aus diesem Konzentrat Schnecken, Muscheln, Foraminiferen, Ostracoden und Characeen ausgelesen. Für die benthischen Foraminiferenarten wurden die bei LUTZE (1968, 1974) eingeführten Namen verwendet; anstatt von *Cribrononion* wird jedoch *Elphidium* als Gattungsnamen benutzt.

Gruppierungs-Verfahren.

Unter Verwendung der vier Korngrößenparameter Medianwert, Sortierung, Anteil $< 63 \mu\text{m}$ und obere Korngrößenranke bei 99 Gew.-% sowie von C_{org}- und Karbonatgehalt von 49 Proben wurde mit zwei unterschiedlichen multivarianten Sortierungsverfahren (Distanzgruppierungsanalyse und Diskriminanzanalyse) versucht, diese Proben zu Gruppen zusammenzufassen. Bei der Distanzgruppierungsanalyse werden Proben nach ihrem euklidischen Abstand im mehrdimensionalen Raum sortiert. Dabei werden anders als bei der Diskriminanzanalyse keine Gruppierungen vorgegeben, die auf außerhalb der Daten liegende Informationen zurückgehen.

Die Aufgabe einer Diskriminanzanalyse ist es, vorliegendes, unterschiedlichen Gesamtheiten angehörendes Beobachtungsmaterial durch eine Diskriminanz- oder Trennfunktion der beobachteten Merkmale möglichst den richtigen Grundgesamtheiten zuzuordnen und die Sicherheit dieser Zuordnung anzugeben (vgl. SACHS 1974: 355). Hierzu wurde ein FORTRAN-IV-Programm aus dem Scientific Subroutine Package (Programmers Manual IBM, 1970) verwendet. Es wurde einmal für 3 und einmal für 2 Gruppen (entsprechend Grundgesamtheiten) angewendet. Dabei wurde aus den Einzelproben (hier zwischen 7 und 30 pro Gruppe) nach den sie kennzeichnenden Meßgrößen (hier 6 je Einzelprobe) die Diskriminanzfunktion berechnet. Anschließend wurde für jede Probe geprüft, mit welcher Wahrscheinlichkeit sie über die Diskriminanzfunktion der betreffenden Gruppe zuzuordnen ist. Die Ergebnisse der durchgeführten Rechnung zeigt Tab. 2. Für jede Gruppe sind die Nummern der Proben, die Wahrscheinlichkeit der Zuordnung jeder Einzelprobe und die Nummer der zugeordneten Gruppe, aufgeführt. In SCHULZ (1977) ist dieses Verfahren ausführlicher beschrieben.

Einteilung der Kernabschnitte nach Mikrofossilien.

Anhand von benthischen Foraminiferen, Schnecken, Ostracoden und Characeen, die in der Sandfraktion enthalten waren, lassen sich in den Kernen vier Ablagerungsräume unterscheiden. Drei davon entsprechen Lebensräumen bestimmter Foraminiferenarten, der vierte ist durch das Fehlen rezenter und holozäner Organismenreste gekennzeichnet.

Küstenfernes Sandgebiet (Typ 1).

Fossilien dieses Ablagerungstyps sind die benthischen Foraminiferenarten *Elphidium excavatum*, *E. incertum*, *Ammotium cassis* und *Miliammina fusca*. Vereinzelt waren auch andere benthische Foraminiferen, die auch heute in den küstenfernen Sandgebieten leben, Muscheln (z.B. *Astarte elliptica*) und Ostracoden in den Proben enthalten. Die Artenverteilung der benthischen Foraminiferen entspricht der heutigen Fauna im Untersuchungsgebiet zwischen 14 und 24 m Wassertiefe (LUTZE 1974).

Küstenfernes Sandgebiet (Typ 2).

Dieser Ablagerungsraum kann vom Typ 1 unterschieden werden durch die Foraminiferenart *eggerella scabra*, die in großer Häufigkeit zusätzlich zu den vorher aufgeführten Arten in den Sanden enthalten war. *E. scabra* lebt heute nicht mehr im Bereich des Untersuchungsgebietes. Erst ca. 30 km nordöstlich — in Richtung Großer Belt — werden lebendgefärbte Exemplare angetroffen. Da dort der Salzgehalt um einige Promille höher ist als im Untersuchungsgebiet (BOCK 1971), andere Umweltfaktoren wie Temperatur, Licht, Nahrungsangebot und die Sedimentverhältnisse aber nicht wesentlich anders sind (s. hierzu v. BODUNGEN 1975), wird angenommen, daß *eggerella scabra* einen höheren Salzgehalt zur Zeit der Ablagerung der Sande anzeigt.

Lagune und Vorstrand (Typ 3).

In diesen Ablagerungen sind die benthischen Foraminiferen *Elphidium excavatum*, *E. albiumbilicatum*, *E. articulatum*, *Ammonia beccarii* und vereinzelt andere Foraminiferen (z.B. *Ammoscalaria runiana* und *Miliammina fusca*), sowie Ostracoden, Characeen und Schnecken enthalten. Nach LUTZE (1968) leben heute in der Botsand-Lagune, die etwa 20 km vom Untersuchungsgebiet entfernt liegt, *Miliammina fusca* und *Elphidium articulatum* und im dortigen Vorstrandbereich *Elphidium excavatum* und *Ammonia beccarii*. Eine weitergehende Unterscheidung der Sande nach Lagunen- oder Vorstrandbildungen ist wegen des Vorkommens aller vier Arten nicht möglich. Es ist sehr fraglich, ob dieses anhand des Fossilieninhaltes überhaupt möglich ist, da in einem Hoch-Energie-Bereich wie dem Vorstrand häufig Sediment transportiert wird und somit Vermischung zwischen Foraminiferen-Gehäusen aus den beiden Ablagerungsräumen stattfindet. Nahegelegt wird diese Annahme durch die Beobachtungen von LUTZE (1968, Abb. 4) an der Botsand-Lagune. Dort haben die leeren Gehäuse eine größere Verbreitung als die Lebendfauna.

Subaerisch oder limnisch (Typ 4).

Diese Ablagerungen enthalten keine Hartteile von Organismen aus dem Holozän. Aus einigen Proben wurden z.T. hohe Zahlen von benthischen und planktischen Foraminiferen unterschiedlicher Gattungen aus Kreide oder Tertiär ausgelesen. Die Gehäuse sind z.T. umkristallisiert und lassen sich nicht in Salzsäure auflösen, zeigen aber dennoch wichtige Details zur Art- oder Gattungsbestimmung. Diese Foraminiferen entstammen dem Geschiebemergel der letzten

Eiszeiten und wurden durch Erosion der Kliffs oder durch submarine Abrasion den Sedimenten zugeführt. Die Sande dieser Gruppe könnten entweder als Sandhaken — Barre vor einer Lagune — abgelagert worden sein oder unter limnischem Milieu, in dem keine Foraminiferen leben. Der Sand zum Sandhakenbau kommt möglicherweise auch aus dem Vorstrandbereich, in dem auch benthische Foraminiferen leben. Beim längeren Transport der Sande durch Wasser und Wind können jedoch alle Gehäuse rezenter benthischer Foraminiferen zerrieben werden, da die dünnwandigen und hohlen Gehäuse nicht sehr widerstandsfähig gegenüber Abrieb und Druckbelastung sind. Die umkristallisierten und z. T. gänzlich ausgefüllten Gehäuse fossiler Foraminiferen sind dagegen bedeutend widerstandsfähiger und können Transporte im rollenden Quarzsand über längere Distanzen unbeschädigt überstehen.

Analyse der Sedimente.

Korngrößendaten.

In Abb. 3 sind Medianwerte gegen Sortierungsgrade aufgetragen und die einzelnen Daten entsprechend ihrem Ablagerungsmilieu, das aus dem Fossiliengehalt geschlossen wurde, gekennzeichnet (siehe Tab. 1).

Die Medianwerte liegen zwischen 0,5 und 1,5 ζ° und die Sortierungsgrade zwischen 0,05 und 0,335 QDZ. Aus den Korngrößenparametern Medianwert und Sortierungsgrad ist keine eindeutige Zuordnung zu bestimmten Ablagerungsräumen möglich. Abb. 3 zeigt jedoch, daß Analysen an Sanden aus den küstenfernen Sandgebieten in einem Feld mit einem Medianwert zwischen 0,5 und 1,1 ζ° und einem Sortierungsgrad zwischen 0,07 und 0,3 QDZ liegen. Die Form dieses Feldes zeigt, ausgehend von einem Sortierungsoptimum im Korngrößenbereich 0,1 bis 0,2 mm Durchmesser die bekannte Verschlechterung der Sortierung mit zunehmender Korngröße (siehe WALGER 1961). Im zweiten Feld (Medianwerte zwischen 0,7 und 1,45 ζ° und Sortierungsgrade zwischen 0,05 und 0,19 QDZ), das sich mit einem Teil des Feldes I überschneidet, liegen die Analysen für die Lagunen- und Vorstrandsedimente sowie subaerischen oder limnischen Ablagerungen. Die Sande haben ebenfalls im Korngrößenbereich 0,1 und 0,2 mm Durchmesser ein Sortierungsoptimum und aus dem Verlauf des Unterrandes der Punktwolke ist die bekannte Verknüpfung von Medianwerten und Sortierungsgraden zu ersehen (WALGER 1961). Auch mit den beiden anderen Parametern — Anteil $< 63 \mu\text{m}$ und obere Korngrößenschranke (99. Zeta-Perzentil) — lassen sich die Sande nicht gruppieren.

C_{org}- und Karbonatanteile.

In Abb. 4 sind die C_{org}-Werte gegen die Karbonatgehalte aufgetragen und wie in Abb. 3 wurden die Daten entsprechend ihrem Ablagerungsraum gekennzeichnet. Die C_{org}-Werte liegen zwischen 0,05 und 0,9 Gewichtsprozent Kohlenstoff der Trockensubstanz. Der Karbonatanteil beträgt im allgemeinen zwischen 0 und 4 % CaCO₃ der Trockensubstanz. Einzelne Kernabschnitte enthalten hö-

here Anteile (bis zu 9,54%). Abb. 4 zeigt eine zufällige Verteilung der Wertepaare, so daß eine Gruppierung anhand von C_{org} - und Karbonatgehalten nicht möglich ist.

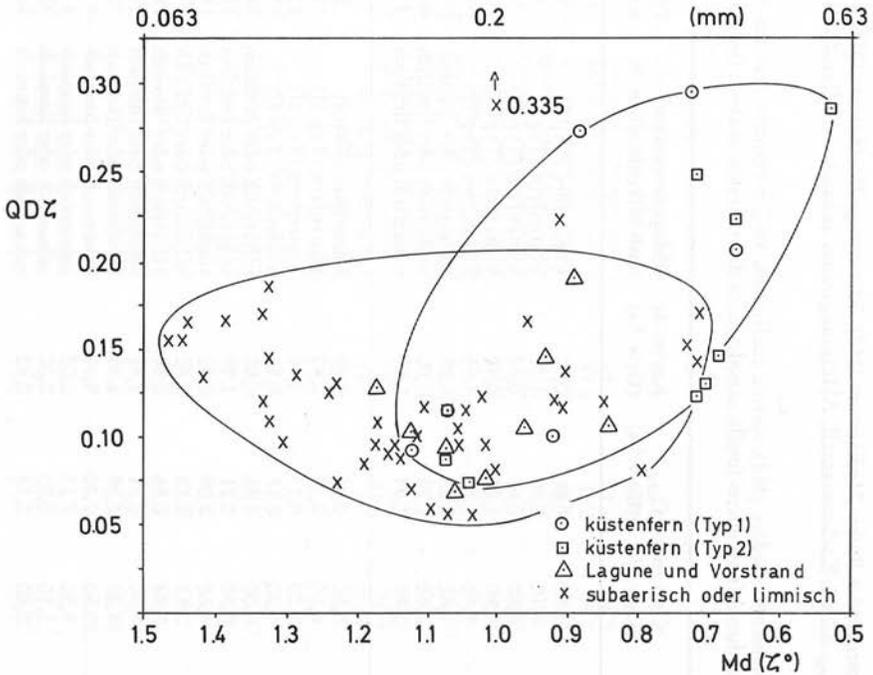


Abb. 3. Medianwert und Sortierungs-Koeffizient ($QDZ = 1/2 (\zeta_{25} - \zeta_{75})$) von Sandproben der Kerne Nr. 13366, 13367, 13368, 13371, 12772 und 12773 aus der Eckernförder Bucht.

Fig. 3. Plot of mean size (in Zeta units) versus sorting coefficient. Samples from cores 13366, 13367, 13368, 13371, 12772 and 12773, Eckernförder Bay.

Gruppenbildung mit der Diskriminanzanalyse.

Bei der Distanzgruppierungsanalyse entstanden Gruppeneinteilungen, die nicht mit der aus den Fossilieninhalten gefundenen übereinstimmten. Das legt den Schluß nahe, daß dieses Vorgehen zur Gruppierung unseres Datenmaterials nicht geeignet ist; daher wird auf diese Rechenoperation nicht weiter eingegangen.

Tab. 2a zeigt das Ergebnis der Diskriminanzanalyse für 3 Gruppen: 1 = küstenferne Sandgebiete (Typ 1 und 2); 2 = Lagune und Vorstrand; 3 = subaerische oder limnische Sande. Die beiden Typen der küstenfernen Sandgebiete wurden zusammengefaßt, da die Ablagerungsbedingungen sich sehr wahrschein-

Tabelle 1. Analysendaten der Sedimente aus der Eckernförder Bucht: Medianwert (Md), Sortierungs-Koeffizient (QDZ = $1/2 (\zeta_{25} - \zeta_{75})$), obere Korngrößenschranke (99%), Anteil $< 63 \mu\text{m}$, C_{org} -Anteil, Karbonatanteil, Ablagerungsraum anhand von Mikrofossilien, Proben-Nr. in der Diskriminanzanalyse (siehe Tab. 2).

Table 1. Analytical data of the Eckernförder Bay sediments: median (Md), sorting coefficient, 99- ζ -percentile, fraction $< 63 \mu\text{m}$, C_{org} -content, carbonate content, depositional environment as deduced from micro-fossils, sample no. in discriminate-analysis (see Tab. 2).

Kern Nr.	Kerntiefe (cm)	Md (ζ°)	So (QDZ)	99% (ζ°)	$< 63 \mu\text{m}$ (Gew.%)	C_{org} (Gew.%)	Karbonat (Gew.%)	Ablagerungsraum nach Mikrofossilien	Nr. in Diskriminanzanalyse
13368	0—15	1,120	0,093	0,680	13,50	0,86	0,97	küstenfern (Typ I)	3
	15—25	1,070	0,115	0,600	8,10	0,43	1,33	küstenfern (Typ I)	4
	25—35	1,075	0,085	0,610	8,80	0,67	0,67	küstenfern (Typ II)	9
	35—45	1,110	0,150	0,720	25,90	1,01	0,42	küstenfern (Typ II)	10
	45—55	1,040	0,073	0,885	5,40	0,49	1,85	küstenfern (Typ II)	38
	55—65	1,090	0,058	0,965	1,60	0,27	1,28	subaerisch oder limnisch	39
	65—75	1,120	0,07	0,950	2,50	0,21	3,00	subaerisch oder limnisch	40
	75—85	1,045	0,07	0,540	2,70	0,24	1,58	subaerisch oder limnisch	41
13371	0—10	0,660	0,205	0,100	5,50	0,45	1,33	küstenfern (Typ I)	5
	10—20	0,685	0,145	0,200	6,50	0,39	0,42	küstenfern (Typ II)	11
	20—30	0,705	0,130	0,340	1,20	0,13	0,36	küstenfern (Typ II)	12
	30—40	0,715	0,123	0,100	1,20	0,17	0,36	küstenfern (Typ II)	13
	40—50	0,740	0,165	0,070	6,00	1,16	0,83	subaerisch oder limnisch	14
	50—60	0,760	0,150	0,230	3,30	0,21	1,19	subaerisch oder limnisch	15
	60—70	0,725	0,153	0,260	4,60	1,09	0,52	subaerisch oder limnisch	16
	70—80	0,710	0,143	0,290	2,84	0,18	0,42	subaerisch oder limnisch	17
	80—90	0,710	0,170	0,310	7,94	0,36	0,36	subaerisch oder limnisch	18
	90—100	1,000	0,335	0,425	17,30	0,21	2,42	subaerisch oder limnisch	19
	100—110	1,320	0,108	0,455	14,20	0,15	6,48	subaerisch oder limnisch	42
	110—120	1,320	0,185	0,485	30,50	0,20	9,54	subaerisch oder limnisch	43
	120—130	0,910	0,120	0,530	9,90	0,15	2,02	subaerisch oder limnisch	44
	130—140	0,790	0,080	0,510	1,10	0,05	0,00	subaerisch oder limnisch	45
	140—150	0,660	0,073	0,440	0,80	0,11	0,42	subaerisch oder limnisch	46

	150—160	1,010	0,095	0,480	11,70	0,13	0,33	subaerisch oder limnisch	47
	160—170	1,110	0,100	0,820	10,10	0,09	0,60	subaerisch oder limnisch	48
	170—178	1,050	0,095	0,870	11,10	0,11	0,33	subaerisch oder limnisch	49
13366	0— 10	0,880	0,273	0,290	7,80	0,56	0,79	küstenfern (Typ I)	1
	10— 20	0,715	0,248	0,230	4,40	0,34	0,50	küstenfern (Typ II)	6
	20— 30	0,660	0,223	0,265	1,90	0,44	0,45	küstenfern (Typ II)	7
	30— 40	1,015	0,075	0,435	3,80	0,17	0,38	Lagune und Vorstrand	20
	40— 50	1,070	0,093	0,750	3,00	0,19	0,38	Lagune und Vorstrand	21
	50— 60	1,120	0,103	0,810	4,30	0,23	0,48	Lagune und Vorstrand	22
	60— 71	1,170	0,128	0,700	15,50	0,69	5,83	Lagune und Vorstrand	23
	71— 83	1,060	0,068	0,770	13,30	0,63	2,33	Lagune und Vorstrand	24
13367	0— 10	0,720	0,290	0,185	5,40	0,42	2,08	küstenfern (Typ I)	2
	10— 20	0,525	0,285	0,165	3,40	0,41	0,42	küstenfern (Typ II)	8
	20— 30	0,890	0,190	0,310	6,30	0,28	3,80	Lagune und Vorstrand	25
	30— 40	0,930	0,145	0,320	6,00	0,31	2,63	Lagune und Vorstrand	26
	40— 50	1,260	0,133	0,415	42,20	0,70	5,83	subaerisch oder limnisch	27
	50— 60	1,225	0,130	0,670	16,00	0,42	3,48	subaerisch oder limnisch	28
	60— 70	1,100	0,118	0,820	1,30	0,42	3,50	subaerisch oder limnisch	29
	70— 80	1,140	0,093	0,940	2,40	0,26	2,20	subaerisch oder limnisch	30
	80— 90	1,185	0,083	0,920	0,92	0,35	2,81	subaerisch oder limnisch	31
	90—100	1,130	0,088	0,850	1,43	0,26	2,04	subaerisch oder limnisch	32
	100—110	1,170	0,095	0,725	2,60	0,35	2,80	subaerisch oder limnisch	33
	110—120	1,225	0,073	0,810	2,30	0,41	3,43	subaerisch oder limnisch	34
	120—130	1,150	0,09	0,750	6,50	0,47	2,47	subaerisch oder limnisch	35
	130—140	1,230	0,125	0,895	4,00	0,44	4,03	subaerisch oder limnisch	36
	140—150	1,165	0,108	0,470	4,20	0,35	2,83	subaerisch oder limnisch	37

Tabelle 2a. Diskriminanzanalyse für 3 Gruppen von Sedimenten aus der Eckernförder Bucht.

Table 2a. Discriminate analysis for 3 groups of Sediments from the Eckernförder Bay.

	Probe	Wahrscheinlichkeit	Zugeordnete Gruppe
Gruppe 1	1	99 %	1
	2	99 %	1
	3	56 %	2
	4	66 %	2
	5	98 %	1
	6	99 %	1
	7	99 %	1
	8	99 %	1
	9	65 %	2
	10	96 %	1
	11	90 %	1
	12	50 %	2
	13	61 %	1
	14	99 %	1
	15	99 %	1
	16	99 %	1
	17	61 %	1
	18	93 %	1
	19	99 %	1
Gruppe 2	20	75 %	2
	21	57 %	2
	22	57 %	2
	23	73 %	3
	24	61 %	3
	25	63 %	2
	26	69 %	2
Gruppe 3	27	56 %	2
	28	52 %	2
	29	70 %	3
	30	73 %	3
	31	75 %	3
	32	65 %	3
	33	57 %	3
	34	72 %	3
	35	54 %	3
	36	73 %	3
	37	68 %	2
	38	69 %	3
	39	75 %	3
	40	85 %	3
	41	59 %	2
	42	68 %	3
	43	83 %	3
	44	54 %	2
	45	60 %	2
46	55 %	2	
47	70 %	2	
48	49 %	3	
49	55 %	3	

Tabelle 2b. Diskriminanzanalyse für 2 Gruppen von Sedimenten aus der Eckernförder Bucht.

Table 2b. Discriminate analysis for 2 groups of Sediments from the Eckernförder Bay.

	Probe	Wahrscheinlichkeit	Zugeordnete Gruppe
Gruppe 1	1	99 0/0	1
	2	99 0/0	1
	3	51 0/0	1
	4	81 0/0	2
	5	99 0/0	1
	6	99 0/0	1
	7	99 0/0	1
	8	99 0/0	1
	9	65 0/0	2
	10	99 0/0	1
	11	97 0/0	1
	12	64 0/0	1
	13	87 0/0	1
	14	99 0/0	1
	15	99 0/0	1
	16	99 0/0	1
	17	85 0/0	1
	18	98 0/0	1
	19	99 0/0	1
Gruppe 2	20	90 0/0	2
	21	96 0/0	2
	22	96 0/0	2
	23	99 0/0	2
	24	99 0/0	2
	25	71 0/0	2
	26	74 0/0	2
	27	94 0/0	2
	28	98 0/0	2
	29	99 0/0	2
	30	99 0/0	2
	31	99 0/0	2
	32	99 0/0	2
	33	99 0/0	2
	34	99 0/0	2
	35	99 0/0	2
	36	99 0/0	2
	37	98 0/0	2
	38	99 0/0	2
	39	99 0/0	2
	40	99 0/0	2
	41	99 0/0	2
	42	99 0/0	2
	43	99 0/0	2
	44	95 0/0	2
	45	92 0/0	2
	46	93 0/0	2
	47	77 0/0	2
	48	98 0/0	2
	49	97 0/0	2

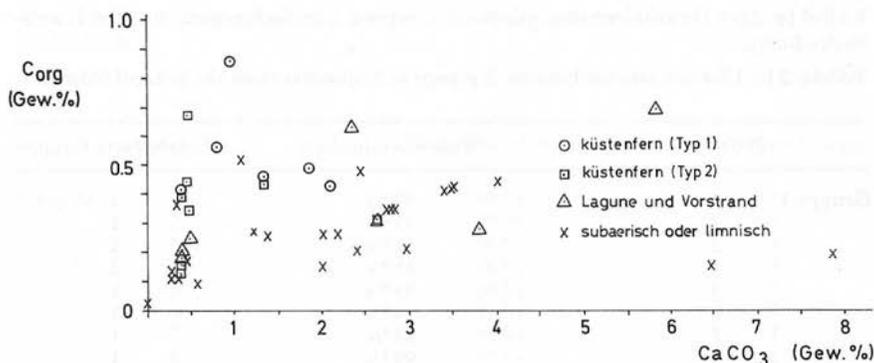


Abb. 4. C_{org} - und Karbonat-Anteile (Gew.-% der Trockensubstanz) von Sandproben der Kerne Nr. 13366, 13367, 13368 und 13371 aus der Eckernförder Bucht.

Fig. 4. Plot of organic carbon versus carbonate (weight % of dry material). Samples from cores 13366, 13367, 13368 and 13371, Eckernförder Bay.

lich nur durch den Salzgehalt unterscheiden und damit keine unterscheidbaren Korngrößenparameter und unterschiedliche C_{org} - und Karbonatgehalte zu erwarten sind.

Bis auf die Proben 3, 4, 9 und 12, die eher der Gruppe 2 zuzuordnen sind und der Proben 13 und 17, die nur mit 61% Wahrscheinlichkeit der Gruppe 1 gehören, können alle anderen mit hoher Wahrscheinlichkeit der Gruppe 1 zugeordnet werden. In Gruppe 2 besteht für 2 der 7 Proben eine höhere Wahrscheinlichkeit der Zuordnung zur Gruppe 3. Die Proben Nr. 17, 28, 37, 41, 44, 45, 46, 47, die anhand ihres Fossilieninhaltes zur Gruppe 3 gezählt wurden, sind anhand der in dem Test benutzten 6 Variablen mit höherer Wahrscheinlichkeit der Gruppe 2 zuzuordnen. Nach diesem Ergebnis wurde die Diskriminanzanalyse anstatt für drei nur für zwei Gruppen durchgeführt.

Tab. 2b zeigt das Ergebnis der Diskriminanzanalyse für 2 Gruppen: 1 = küstenferne Sandgebiete (Typ 1 und 2) und 2 = Lagune und Vorstrand zusammen mit subaerischen oder limnischen Sanden. Bis auf die Proben 4 und 9, die mit höherer Wahrscheinlichkeit zur Gruppe 2 gehören sowie einigen Proben mit nur geringen Wahrscheinlichkeiten zwischen 52 und 87%, gehören alle anderen Kernabschnitte mit Wahrscheinlichkeiten von ausnahmslos über 98% in die Gruppe 1. Alle Analysen, die anhand ihres Fossilieninhaltes der Gruppe 2 zugeordnet wurden, sind auch in der Diskriminanzanalyse anhand der Korngrößenparameter und des C_{org} - und Karbonatgehaltes mit überwiegend hohen Wahrscheinlichkeiten der Gruppe 2 zugeordnet.

Für die Proben-Nummern 14—19 mußte die Zuordnung zu Ablagerungsräumen durch Mikrofossilien anhand der Ergebnisse der Diskriminanzanalyse korrigiert werden. Weil in diesen Proben keine oder nur fossile Foraminiferen gefunden wurden, war der Kernabschnitt den subaerischen oder limnischen Sanden zugerechnet worden. Aus Tab. 2b ist jedoch zu ersehen, daß die Proben Nr.

14, 15, 16 und 19 mit hoher Wahrscheinlichkeit in den Bildungsbereich der küstenfernen Sandgebiete gehören. Aufgrund dieses Ergebnisses wird der Kernabschnitt 40—100 cm des Kernes 13371 nun den küstenfernen Sanden (Typ 2) zugeordnet.

^{14}C -Alter und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse.

Die Ergebnisse der Kohlenstoffisotopenanalysen sind in Tab. 3 zusammengestellt. Die teilweise geringe Meßgenauigkeit der ^{14}C -Alter ist eine Folge sehr kleiner Substanzmengen.

Das Alter der Karbonatfraktion ist offensichtlich stark durch Beimengungen fossiler, ^{14}C -freier Karbonate aus dem Geschiebemergel verfälscht, die durch Kliffabbau und submarine Abrasion angeliefert werden (WEFER et al. 1976). Aus

Tabelle 3. ^{14}C -Alter und $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse von Sedimenten aus der Eckernförder Bucht.

Table 3. ^{14}C -age and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -ratios of Sediments from the Eckernförder Bay.

Labor-Nr.	Tiefe im Kern (cm)	Datierte Fraktion	^{14}C -Alter (Jahre BP) *)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) **)
GIK 12773				
KI- 846.041	48 — 60	Karb.	29670 \pm 1350 — 1150	—
.061	95 — 98	Karb.	32900 \pm 1630 — 1350	—
.101	130 — 140	Karb.	22550 \pm 395	—
.02	20 — 30	C _{org}	3860 \pm 430	— 18.5
.04	48 — 60	C _{org}	6720 \pm 450	— 26.9
.10	130 — 140	C _{org}	7870 \pm 165	— 24.9
.14	215 — 226	C _{org}	8140 \pm 275	— 26.3
GIK 13367				
KI-1194.01	80 — 90	C _{org}	8490 \pm 300	— 28.1
.02	90 — 100	C _{org}	7640 \pm 240	— 27.1
.03	110 — 120	C _{org}	8430 \pm 170	— 27.1
.04	130 — 140	C _{org}	8780 \pm 150	— 27.6
.05	140 — 150	C _{org}	9820 \pm 550	— 27.0
.06	160 — 170	C _{org}	9710 \pm 390	— 27.7
GIK 13368				
KI-1195.01	35 — 45	C _{org}	8540 \pm 440	— 26.5
.02	75 — 85	C _{org}	10470 \pm 470	— 27.7
GIK 13371				
KI-1196.01	40 — 50	C _{org}	8180 \pm 140	— 27.1
.02	50 — 60	C _{org}	8130 \pm 150	— 27.0

*) BP = before present = vor A. D. 1950

**) auf den PDB-Standard bezogen

dem Vergleich mit dem Alter der organischen Fraktion der gleichen Probe errechnet sich ein fossiler Anteil von 85 bis 95 % des Gesamtkarbonates.

Auch die ^{14}C -Alter der organischen Fraktion können durch umgelagertes älteres organisches Material verfälscht sein (ERLENKEUSER 1976), wenn auch der Fremdanteil hier i. A. erheblich geringer ist als bei den Karbonaten. So zeigten z. B. rezente Sedimente aus dem Nordseewatt vor Nordstrand (Schleswig-Holstein) Karbonatalter zwischen 12 000 und 17 000 Jahren, während das ^{14}C -Alter der organischen Fraktion bei 2500 Jahren lag (ERLENKEUSER et al. 1975). Die organische Fraktion in heutigen Oberflächensedimenten aus den Ablagerungsbecken der Kieler Bucht zeigt ein (natürliches) ^{14}C -Alter von ca. 800 Jahren (ERLENKEUSER et al. 1974).

Bei limnischen Ablagerungen kann die ^{14}C -Anfangskonzentration infolge der Lösung fossiler Karbonate bei der Grundwasserbildung geringer sein als der hier vorausgesetzte Rezentwert, so daß die ^{14}C -Alter gegenüber den wahren Ablagerungsaltern als zu alt erscheinen (vgl. WILLKOMM 1976). Für schleswig-holsteinische Seen beträgt dieser sogenannte Hartwassereffekt etwa 1000 Jahre (AVERDIECK et al. 1972; WILLKOMM & ERLENKEUSER 1972). Dieser Wert hängt vom Wasserhaushalt des betreffenden Sees ab und reduziert sich mit fortschreitendem CO_2 -Austausch mit der Atmosphäre.

Ähnlich wie bei dem ^{14}C -Isotop spiegeln sich auch in den stabilen Kohlenstoffisotopen die das Karbonatsystem eines Gewässers regelnden Faktoren wieder. $\delta^{13}\text{C}$ -Messungen an limnischen Karbonaten aus den spätglazialen und frühholozänen Sedimentfüllungen der Rinnen in der Kieler Bucht sprechen dafür, daß in diesen Gewässern der Hartwassereffekt auf die Isotopenverhältnisse nicht mehr sehr ausgeprägt war und daher auch die ^{14}C -Werte nur geringfügig, vielleicht nur bis zu wenigen 100 Jahren zu alt ausfallen.

Von den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der organischen Komponente ist nur die Probe KI-846.02 mit $\delta^{13}\text{C} = -18,5\text{‰}$ typisch für marine Sedimente, deren organische Fraktion hauptsächlich vom Plankton geliefert wird. In den übrigen Proben liegen die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -25‰ und -28‰ . Im Vergleich dazu sind terrestrische Pflanzen sowie auch emerse Hydrophyten im Mittel deutlich isotopisch leichter, bei $\delta^{13}\text{C}$ -Werten um 25‰ .

Ähnlich niedrige $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wie bei den vorliegenden Proben findet man an organischen Ablagerungen von Binnenseen mit verhältnismäßig hartem Wasser, so z. B. -30‰ für Sedimente des Großen Plöner See (ERLENKEUSER & WILLKOMM 1978). Bei andauerndem CO_2 -Austausch mit der Atmosphäre, der vor allem in langsam fließenden flachen Gewässern zu erwarten ist, verschieben sich die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zum Positiven hin. Die hier gefundenen $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse mit $\delta^{13}\text{C}$ um -27‰ könnten auf diese Weise ihre Erklärung finden, sofern man nicht mit einem nennenswerten Anteil atmosphärisches CO_2 assimilierender Pflanzen etwa aus der nahen Ufervegetationszone rechnen muß. Gleiche Isotopenverhältnisse wie in den vorliegenden Sedimenten wurden auch an frühholozänen limnischen Gytten der Breitgrund Rinne in der Flensburger Außenförde gefunden.

Andererseits können in der Kieler Bucht aber auch marine Großalgen ungewöhnlich niedrige $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zeigen, wahrscheinlich eine Folge geringer Assimilationstätigkeit infolge schlechter Lichtverhältnisse (STOFFERS 1977). An rezenten Algen wurden $\delta^{13}\text{C}$ -Werte zwischen -21‰ und -31‰ gemessen, mit einem

Schwerpunkt bei -25‰ ($\pm 1\text{‰}$). Insofern ist eine zunächst naheliegende Identifizierung limnischer Sedimente an Hand der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte mit Vorsicht zu betrachten, wenn, wie im Flachwasserbereich, mit nennenswerten Anschwemmungen von Großalgenresten gerechnet werden muß.

Im einzelnen hat die Untersuchung der organischen Komponente die folgenden Ergebnisse gebracht (Abb. 5):

Die oberste Probe des Kerns 12773 (3860 ± 430 Jahre BP, KI-846.02) ist nach ^{14}C -Alter, $\delta^{13}\text{C}$ und Foraminiferen-Analyse den küstenfernen Sandgebieten (Typ 2) zuzuordnen.

Durch die Diskriminanzanalyse werden auch die beiden datierten Proben des Kerns 13371 (Tab. 1, Nr. 14 und 15) den küstenfernen Sanden vom Typ 2 zugeordnet. Gemessen an der Meeresspiegel-Anstiegskurve scheint dies aber sowohl vom Alter her als auch auf Grund der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wenig wahrscheinlich zu sein. Diese Werte sprechen eher für limnische Bildungen oder einen marinen Ablagerungsraum geringer Wassertiefe, wo Reste mariner Großalgen aus dem Sublitoral zusammenschwemmt wurden. Ähnliches gilt für die Probe KI-1195.01 (Tab. 1, Nr. 10) aus Kern 13368.

Alle anderen datierten Proben wurden wegen fehlender rezenter Organismenreste zu den subaerischen oder limnischen Sanden gezählt. Sieben Proben ergaben ein Alter zwischen 7870 und 8770 Jahren. Gemessen am Anstieg des Meeresspiegels erscheinen diese Alter für limnische Ablagerungen nicht unvernünftig. Im Kern 12773 wurde für die Kerntiefe 48 bis 60 cm unmittelbar an der Grenze marin/limnisch ein Alter von 6720 Jahren bestimmt. Der Fazieswechsel dürfte aber angesichts des großen Kernbereiches dieser Probe deutlich früher stattgefunden haben.

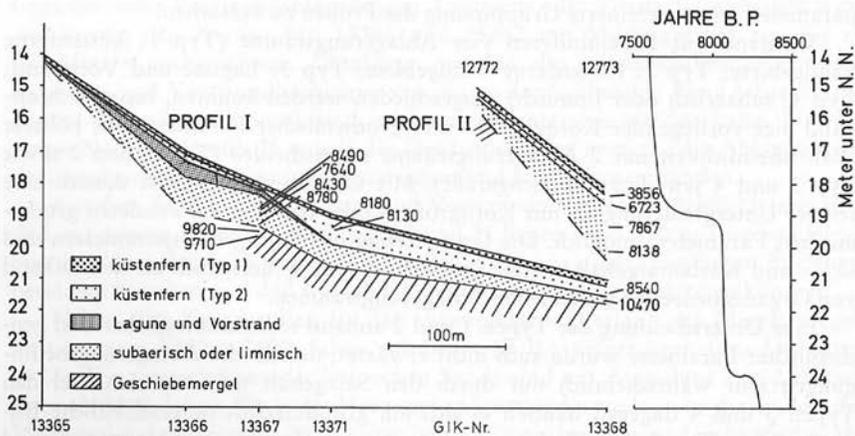


Abb. 5. Parallelisierung der Kernabschnitte in zwei Profilen und Anstieg des Meeresspiegels (aus DUPHORN 1977) zwischen 8300 und 7600 vor heute (B.P.) in der Eckernförder Bucht.

Fig. 5. Comparison of core sections from two profiles together with sea level rise (from DUPHORN 1977) between 8300 B. P., Eckernförder Bay (western Baltic).

Die beiden tiefsten Proben in Kern 13367 stammen bereits aus dem Geschiebemergel und datieren einen älteren Wurzelhorizont aus dem Präboreal.

Diskussion.

Bildungsbereiche der Sande.

Aus Abb. 3 und 4 ist zu ersehen, daß die hier verwendeten Parameter nicht ausreichen, die Sande im Sinne der mikropaläontologisch ermittelten Ablagerungsräume zu gruppieren. Auch Versuche anderer Autoren (z. B. SOLOHUB & KLOVAN 1970; OMARA et al. 1974), die Paläo-Ablagerungsbedingungen ausschließlich anhand von Korngrößenparametern zu rekonstruieren, führten nicht zum Erfolg.

Im vorigen Abschnitt wurde angeführt, daß ohne Vorsortierung auch die Gesamtheit der hier benutzten Korngrößen-Parameter in Verbindung mit C_{org} - und Karbonatgehalt nicht ausreicht, um einzelne Kernabschnitte bestimmten Ablagerungsräumen zuzuordnen. Erst nach einer Vorgruppierung der Kernabschnitte nach Lebensräumen von benthischen Foraminiferen anhand ihrer kalkigen oder agglutinierten Gehäuse konnte mit der Diskriminanzanalyse eine Zuordnung zu Bildungsbereichen von Sedimenten bestätigt werden. Bei unserer Untersuchung muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Anzahl der hier verwendeten Korngrößenparameter nicht besonders groß (4) und ihre Auswahl möglicherweise nicht optimal war (siehe dazu TABAT 1977 und TINIAKOS 1978). Neuere Untersuchungen unter Verwendung eines Klassifikationsprogramms (VOGEL 1975) ergaben, daß auch eine sinnvolle Zusammenfassung von Oberflächenproben ohne vorherige Gruppierung möglich ist (TABAT, mdl. Mitteilung). Es ist geplant, mit Hilfe einer modifizierten Diskriminanzanalyse mit vorliegenden und weiteren Korngrößenparametern eine verfeinerte Gruppierung der Proben zu versuchen.

Während mit Foraminiferen vier Ablagerungsräume (Typ 1: küstenferne Sandgebiete; Typ 2: küstenferne Sandgebiete; Typ 3: Lagune und Vorstrand; Typ 4: subaerisch oder limnisch) ausgeschieden werden konnten, lassen sich anhand hier vorliegender Korngrößen- und geochemischer Parameter mit höherer Wahrscheinlichkeit nur 2 Ablagerungsräume unterscheiden (Typ 1 und 2 sowie Typ 3 und 4 jeweils zusammengefaßt). Mit Organismenresten ist danach eine feinere Untergliederung als mit Korngrößen- oder den hier verwendeten geochemischen Parametern möglich. Die Gruppierung mit Korngrößenparametern und C_{org} - und Karbonatgehalten steht jedoch nicht im Widerspruch zu den anhand von Organismenresten gefundenen Ablagerungsräumen.

Eine Unterscheidung der Typen 1 und 2 anhand sedimentologischer und geochemischer Parameter wurde auch nicht erwartet, da sich die Ablagerungsbedingungen sehr wahrscheinlich nur durch den Salzgehalt unterscheiden. Bei den Typen 3 und 4 dagegen handelt es sich um grundsätzlich unterschiedliche Bildungsräume. Typ 3 sind Flachwasserablagerungen (Lagune und Vorstrand) und die Zusammensetzung der abgelagerten Sande hängt neben dem zur Verfügung stehenden Material von der Energie der Wasserbewegung ab. Ablagerungen vom Typ 4 sind entweder von Brandung und Wind aufgebaute Sandhaken oder fluviatile Bildungen. Das Korngrößenspektrum wird auch hier vom angelieferten Material und von der Wasserbewegung und bei Sandhaken außerdem noch von

Windrichtung und -stärke bestimmt. Da bei den Sanden der Ablagerungstypen 3 und 4 die unterschiedlichsten Transportmechanismen beteiligt sein können, überträgt die sehr gute Zuordnung der Proben in die Gruppe 2 der Diskriminanzanalyse (Typ 3 und 4, siehe Tab. 2b). Vielleicht ist hier die Materialanlieferung und nicht so sehr die Art und Energie des Transportmittels entscheidend für die Zusammensetzung der abgelagerten Sande. Möglicherweise reicht der Transportweg aber auch nicht aus, um Unterschiede zwischen den Typen 3 und 4 herzustellen, da in der Regel die Sande wohl in der Nähe des erodierten Geschiebemergels abgelagert werden.

Wenn man für alle Ablagerungsräume von einem gleichen Ausgangsmaterial ausgeht, da die lokal stark variierende Geschiebemergel-Zusammensetzung über ein größeres Gebiet und über längere Zeiträume ausgeglichen wird, könnten die signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Typ 1 und 2 gegenüber 3 und 4) durch Änderungen anlässlich des Transportes bedingt sein. Die Ablagerungstypen 1 und 2, die heute zwischen 13 und 21 m Wassertiefe liegen, sind in der Regel weiter vom Anliefergebiet entfernt als die Typen 3 und 4.

Abfolge im Laufe der postglazialen Transgression.

Faßt man die untersuchten Vibratorkerne zu Profilen (Lage siehe Abb. 1) zusammen, so zeigt Abb. 5, daß die Kernabschnitte über einige Kerne parallelisiert werden können. Beim Profil I lagert ein Band limnischer oder subaerischer Sande mit Mächtigkeiten zwischen 0,50 und 1,10 Meter auf dem Geschiebemergel. Bei zwei Kernen trennen große Steine oder eine Kieslage, die man als Basiskonglomerat — entsprechend den Sedimenten der heutigen Restsedimentgebiete — bezeichnen kann, den Geschiebemergel vom Sand. Im Hangenden folgen tiefer als 19 m Wassertiefe Sande des küstenfernen Sandgebietes und flacher als 19 m Lagunen- oder Vorstrandablagerungen. Lagunen- oder Vorstrandbildungen wurden nur in den Kernen Nr. 13366 und 13367 mit Mächtigkeiten von bis zu 0,6 Metern nachgewiesen. Überlagert werden die subaerisch-limnischen oder Lagunen- und Vorstrandbildungen von einem durchgehenden Band küstenferner Sande, das mikropaläontologisch noch einmal unterteilt werden kann. Nur bei einem Kern des Profils II wurde der Geschiebemergel erreicht; die Ablagerungen darüber bestehen aus limnisch-subaerischen und küstenfernen Sanden.

Aus dem Fehlen von Lagunen- und Vorstrandabsätzen im Profil II zeigt sich, daß auf engem Raum — die Profile I und II liegen rund 250 m auseinander — bereits Unterschiede in der Abfolge von Sanden aus unterschiedlichen Bildungsbereichen bestehen und daß wie beim Profil II Schichtlücken auftreten können.

Neben den Kernprofilen ist der angenommene Verlauf des Meeresspiegelanstiegs von 8300—7600 Jahre vor heute (B.P.) aufgetragen (aus DUPHORN 1977). Die subaerischen oder limnischen Sande sind mit Ausnahme von 2 Proben älter als 8100 Jahre. Nach der Meeresspiegelanstiegskurve lag vor dieser Zeit der Meeresspiegel mindestens 23 m unter N.N. Limnische, aber auch subaerische Ablagerungen sind bei diesem Meeresspiegelstand im Untersuchungsgebiet möglich gewesen. Das relativ junge Alter von 7640 ± 240 Jahren eines Abschnittes des Kerns Nr. 13367 kann nicht erklärt werden. Es wird angenommen, daß hier ein Analysenfehler vorliegt, da die beiden benachbarten Proben ein wesentlich höheres Alter anzeigen. Zur Zeit der Ablagerungen des Sandes aus Kern Nr. 12773 in

19,3 m Tiefe unter N.N. (7870 ± 165 Jahre vor heute) wird ein Meeresspiegelstand bei genau dieser Tiefe angenommen; subaerische und limnische Bildungen waren zu der Zeit also möglich.

Lagunenabsätze können zu Zeiten erwartet werden, bei denen der Meeresspiegel nicht so schnell angestiegen ist wie z. B. zwischen 8200 und 8100 vor heute. DUPHORN (1977) nimmt für diese 100 Jahre einen Anstieg um ca. 5 Meter an.

Da im Profil I die Lagunen- oder Vorstrandsande zwischen 17,5 und 18,5 m Tiefe unter N.N. angetroffen wurden, sollte die Anstiegsverzögerung auch bei 17—18 m unter N.N. stattgefunden haben. Die heutige Bottsandlagune ist bis zu 1 m mit Wasser bedeckt und Vorstrandablagerungen bedürfen noch größerer Wassertiefen. In DUPHORN (1977) ist ein langsamerer Anstieg für 19 m unter N.N. angenommen, also 1—2 m tiefer als nach unseren Kernbefunden zu erwarten wäre. WINN (1974) fand im Langeland Belt alte Strandlinien und Abrasionsplatten in Wassertiefen zwischen 18 und 20 Metern unter N.N. und erklärte dieses mit einer Stagnation des Meeresspiegels bei dieser Wassertiefe. Ein Teil der Wassertiefendifferenz könnte jedoch auch durch Fehler bei Wassertiefen- und Positionsangaben während der Probennahme oder bei der Eichung des Echolotes bedingt sein. Bei einer Hangneigung von bis zu 2‰ im Untersuchungsgebiet können Positionsdifferenzen von 50 Metern bereits zu 1 m Höhenunterschied führen. Ein Fehler durch einen niedrigen Wasserstand während der Probennahme kann dagegen ausgeschlossen werden.

Die Alter der beiden Abschnitte der Kernes 13371 (8180 ± 140 und 8130 ± 150 Jahre) sind, falls diese Sande zu den küstenfernen gezählt werden, zu hoch. 8130 bis 8180 Jahre vor heute lag der Meeresspiegel 24—25 m, die analysierten Sande dagegen 19,5 unter N.N. Da die heutigen küstenfernen Sandgebiete in Wassertiefen von mehr als 10 Metern liegen, ergibt sich eine Wasserstands-differenz von ca. 15 Metern, d. h. um diesen Betrag müßte der Meeresspiegel höher gewesen sein, falls vor 8130—8180 Jahren küstenferne Sande in diesem Gebiet abgelagert worden sein sollen. Entweder wurde die Altersbestimmung durch fossiles C_{org} verfälscht (siehe Abschnitt „Altersbestimmungen“) oder die Sande gehören doch zu den limnischen oder subaerischen Bildungen, wie anfangs anhand fehlender Mikrofossilien angenommen wurde. Die Diskriminanzanalyse ordnete den Abschnitt von 40—100 cm Tiefe des Kernes 13371 jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Ablagerungen der küstenfernen Sandgebiete. Es muß also offen bleiben, ob sie küstennah oder küstenfern gebildet wurden. An der Grenze zwischen subaerisch-limnisch und küstenfern liegt die Probe in 50—60 cm Tiefe des Kernes 12773. Bei 6720 ± 450 vor heute soll der Meeresspiegel nach DAHM (1956) bereits 10 oder sogar 7 m unter N.N. gelegen haben. Bei einer Ablagerungstiefe von 18,5 m unter N.N. wäre die damalige Wassertiefe zwischen 8,5 und 11,5 m gewesen, eine im Vergleich zur Verbreitung der heutigen küstenfernen Sandgebiete realistische Wassertiefe. Aus diesem Ablagerungsraum liegt mit 3860 ± 430 Jahren eine weitere Analyse vor, deren Alter ins Subboreal fällt, als bereits wieder salzärmere Bedingungen in der westlichen Ostsee herrschten.

Die Ablagerungen der küstenfernen Sandanhäufungsgebiete sind nur zwischen 10 und 100 cm mächtig und nehmen nur unwesentlich zur Tiefe hin zu. Mit einem Maximalwert von 0,15 mm/Jahr (entsprechend 1 m in 6500 Jahren) liegen die Akkumulationsraten um eine Größenordnung unter den 1,4 mm/Jahr, die im Beckenbereich in 27 m Wassertiefe von ERLKENUSER et al. (1974) ermittelt wur-

den. Anscheinend finden in Wassertiefen bis zu 21 Metern häufiger stärkere Wasserbewegungen statt, die vom Kliff und aus den Restsedimenten angeliefertes Material in die Tiefe transportieren. Bestätigt wird diese Annahme durch Korngrößenanalysen an Schlickproben aus dem an das Untersuchungsgebiet anschließenden Beckenbereich, die erhebliche Fein- und Mittelsandanteile ergaben (WEFER & TAUCHGRUPPE KIEL 1974).

Danksagung.

Herr Prof. Dr. E. SEIBOLD regte vorliegende Arbeit an. Frau U. FABER, Frau J. GERMANN und Frau W. REHDER halfen bei Laborarbeiten. Die Isotopenanalysen wurden von Frau M. GUMZ, Herrn H. H. CORDT und Herrn H. FINN durchgeführt. Frau C. PETERSEN fertigte die Abbildungen an, Frau CH. SCHMIDTMANN und Frau I. LÜTH schrieben das Manuskript.

Die Besatzungen der Forschungsschiffe „William“ und „Planet“, sowie die Herren Dr. F. KÖGLER, N. MÜHLHAN und H.-U. TRUMM unterstützten uns bei der Probennahme auf See. Herr Dr. H.-D. SCHULZ stellte die Statistik-Programme zur Verfügung und half bei der Durchführung der Rechenoperationen.

Für ihre Hilfe danken wir vorgenannten Damen und Herren, sowie Herrn Prof. Dr. E. WALGER und Herrn Dr. F. WERNER für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Schriftenverzeichnis.

- AVERDIECK, F. R. & ERLKENKEUSER, H. & WILLKOMM, H. (1972): Altersbestimmungen an Sedimenten des Großen Segeberger Sees. — Schr. naturwiss. Ver. Schleswig-Holstein, 42, 47—57; Kiel.
- BARNER, U. (1964): Untersuchungen an Sedimenten vom Südausgang des Großen Beltes. — Meyniana, 15: 1—28; Kiel.
- BOCK, K.-H. (1971): Monatskarten des Salzgehaltes der Ostsee dargestellt für verschiedene Tiefenhorizonte. — Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe B (4°), Nr. 12, 147 S.; Hamburg.
- BODUNGEN, B. VON (1975): Der Jahresgang der Nährsalze und der Primärproduktion in der Kieler Bucht unter Berücksichtigung der Hydrographie. — Diss. Inst. Meereskde. Univ. Kiel, 116 S.; Kiel.
- DUPHORN, K. (1977): The ancient shorelines and the development of the Baltic coastal regions near- and off-shore Schleswig-Holstein in the late Pleistocene and Holocene times. — INQUA-Papers, Uppsala (im Druck).
- ERLKENKEUSER, H. (1976): Environmental effects on radiocarbon isotope distribution in coastal marine sediments. — 9th Intern. C-Conf. Los Angeles and San Diego (im Druck).
- ERLKENKEUSER, H. & METZNER, H. & WILLKOMM, H. (1975): University of Kiel radiocarbon measurements VIII. — Radiocarbon, 17: 276—300.
- ERLKENKEUSER, H. & SUESS, E. & WILLKOMM, H. (1974): Industrialisation affects heavy metal and carbon isotope concentrations in recent Baltic Sea Sediments. — Geochim. Cosmochim. Act., 38: 823—842; London.
- ERLKENKEUSER, H. & WILLKOMM, H. (1978): ¹³C- und ¹⁴C-Untersuchungen an Sedimenten des Großen Plöner Sees. — (in Vorb.).

- EXON, N. (1972): Sedimentation in the outer Flensburg Fjord area (Baltic Sea) since the last glaciation. — *Meyniana*, 22: 5—62; Kiel.
- FLEMMING, B. & WEFER, G. (1973): Tauchbeobachtungen an Wellenrippeln und Abrasionserscheinungen in der Westlichen Ostsee südöstlich Bokniseck. — *Meyniana*, 23: 9—18; Kiel.
- HOEFS, J. (1973): *Stable Isotope Geochemistry*. — 140 S.; Berlin (Springer).
- KÖGLER, F. C. & VEIT, K. H. (1973): Entnahme von Kernen aus Lockersedimenten des Schelfgebietes mit dem Vibrokammer-Kerngerät. — „mt“ Meerestechn., 3: 91—95; Düsseldorf.
- LUTZE, G. F. (1968): Jahresgang der Foraminiferen-Fauna in der Bottsand-Lagune (westliche Ostsee). — *Meyniana*, 18: 13—30; Kiel.
- — — (1974): Foraminiferen der Kieler Bucht (westliche Ostsee): 1. „Hausgartengebiet“ des Sonderforschungsbereiches 95 der Universität Kiel. — *Meyniana*, 26: 9—22; Kiel.
- NEWTON, R. S. (1968): Internal structure of wave-formed ripple marks in the nearshore zone. — *Sedimentol.*, 11: 275—292; Amsterdam.
- OMARA, S. & BISHARA, W. W. & NASRE, M. (1974): Grain-size parameters and paleoenvironments of Nubia Sandstone. — *J. sediment. Petrol.*, 44: 136—144; Tulsa, Okla.
- PRATJE, O. (1939): Die Sedimentation in der südlichen Ostsee. — *Ann. Hydrogr. marit. Meteorol.*, 67: 209—221.
- — — (1948): Die Bodenbedeckung der südlichen und mittleren Ostsee und ihre Bedeutung für die Ausdeutung fossiler Sedimente. — *Dtsch. hydrogr. Z.*, 1: 45—61; Hamburg.
- SACHS, L. (1974): *Angewandte Statistik*. — 545 S.; Berlin (Springer).
- SCHULZ, H. D. (1977): Über den Grundwasserhaushalt im norddeutschen Flachland. — *Bes. Mitt. Dtsch. gewässerkdl. Jb.*, 40: 1—141; Kiel.
- SOLOHUB, J. P. & KLOVAN, J. E. (1970): Evaluation of grain-size parameters in lacustrine environments. — *J. sediment. Petrol.*, 40: 81—101.
- STOFFERS, H. (1977): Untersuchungen zum Isotopenverhältnis des Kohlenstoffs bei Rotalgen aus der Kieler Bucht. — *Staatsexamensarb. Inst. Kernphys. Univ. Kiel*.
- TABAT, W. (1977): Statistische Bearbeitung von Daten von Probennetzen in der Nordsee zur Erarbeitung von sedimentologischen Verteilungsmustern im Vergleich mit Aufzeichnungen des Side-Scan-Sonar. — *Zwischenber. Diss. geol. Inst. Univ. Kiel*, 44 S.; Kiel.
- TINIAKOS, L. (1978): Transportdifferentiation von Korngrößenspektren klastischer Sedimentgesteine aus der Westküste Schleswig-Holsteins. — *Diss. geol. Inst. Kiel*, 349 S.; Kiel.
- VOGEL, F. (1975): *Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation*. — 406 S.; Göttingen (Vandenhoeck & Ruprecht).
- WALGER, E. (1961): Die Korngrößenverteilung von Einzellagen sandiger Sedimente und ihre genetische Bedeutung. — *Geol. Rdsch.*, 51: 494—507; Stuttgart.
- WEBER, M. (1977): Untersuchungen von holozänen Transgressionsvorgängen vor Boknis Eck (westliche Ostsee). — *Dipl.-Arb. geol. Inst. Univ. Kiel*, 34 S.; Kiel.
- WEFER, G. & TAUCHGRUPPE KIEL (1974): Topographie und Sedimente im „Hausgarten“ des Sonderforschungsbereiches 95 der Universität Kiel (Eckernförder Bucht, westl. Ostsee). — *Meyniana*, 26: 3—7; Kiel.
- WEFER, G. & FLEMMING, B. & TAUCHGRUPPE KIEL (1976): Submarine Abrasion des Geschiebemergels vor Bokniseck (westl. Ostsee). — *Meyniana*, 28: 87—94; Kiel.
- WERNER, F. (1967): Sedimentation und Abrasion am Mittelgrund (Eckernförder Bucht, westl. Ostsee). — *Meyniana*, 17: 101—110; Kiel.

- — — (1968): Gefügeanalyse feingeschichteter Schlicksedimente der Eckernförder Bucht (westl. Ostsee). — *Meyniana*, **18**: 83—90; Kiel.
- WILLKOMM, H. (1976): Altersbestimmungen im Quartär. — 276 S., München (Thiemig).
- WILLKOMM, H. & ERLKENKEUSER, H. (1972): ^{14}C Measurements on Water, Plants and Sediments of Lakes. — Proc. 8th internat. Congr. Radiocarbon Dating; roy. Soc. New Zealand, Wellington.
- WINN, K. (1974): Present and postglacial sedimentation in the Great Belt Channel (Western Baltic). — *Meyniana*, **26**: 63—101; Kiel.