Schr. Naturwiss. Ver. Schlesw.-Holst.	Bd. 55	S. 1–33	Kiel, Mai 1985

Bodengestalt und Sedimente der Kieler Förde*)

Von FRIEDRICH-CHRISTIAN KÖGLER und JOHANNES ULRICH (Kiel)

Inhalt

Vorwort
1. Einleitung
2. Methodisches
2.1 Bathymetrie
2.2 Sedimentechographie und Probenentnahme
3. Bodengestalt
3.1 Gliederung und Größenverhältnisse
3.2 Bodenrelief
4. Sedimente
4.1 Oberflächen-Sedimenttypen
4.2 Mächtigkeit der postglazialen Sedimente
5. Gesamtüberblick
6. Schlußbemerkung
Verzeichnis der Abbildungen
Literaturverzeichnis

Vorwort

Die Kieler Förde ist zwar im Rahmen geographischer und geologischer Untersuchungen über die Küstenlandschaften Schleswig-Holsteins vielfach mit behandelt worden (z.B. K. GRIPP 1937, 1958 und 1964 sowie CH. DEGN und U. MUUSS, 1965 und 1966), und es liegen auch einige spezielle hydrographische und meeresbiologische Arbeiten sowie lokale wasserbauliche Publikationen und geologische Gutachten über einzelne Teilgebiete vor (G. GROSCHOPF, 1937, R.A. HINTZ, 1958; O. KRÜMMEL, 1896; R. KÄNDLER, 1959, J. KREY, 1939 u.a.m.), doch bisher gibt es noch keine umfassende Gesamtdarstellung in Form einer Monographie dieser Förde. Nicht zuletzt dürfte dies im Fehlen einer marin-geomorphologischen und -sedimentologischen Bearbeitung dieser Meeresbucht begründet sein. Abgesehen von den amtlichen See- und Hafenkarten ist bisher weder eine großmaßstabliche bathymetrische Darstellung und geomorphologische Deutung der Formen dieser Förde erfolgt, noch eine detaillierte Erfassung der Sedimente in ihrer horizontalen und vertikalen Verteilung.

*) Dr. rer.nat. Hans Drenkelfort (1916–1983) in Dankbarkeit gewidmet

Eine solche erste generelle Bestandsaufnahme ist in den letzten Jahren durchgeführt worden. Hinsichtlich der bathymetrischen Verhältnisse und der Sedimentverteilung kann diese Untersuchung zugleich eine Basis für zukünftige Vermessungsarbeiten und Sedimentanalysen sein, so daß die im Laufe der Zeit eingetretenen Veränderungen in Zukunft besser als bisher erfaßt werden können.

Allerdings sind diese Vermessungs- und Kartierungsarbeiten nur als ein erster Versuch anzusehen, das Gesamtgebiet der Kieler Förde als geomorphologische Einheit zu behandeln. Zahlreiche Fragen, die vor allem den Untergrund betreffen, können noch nicht eindeutig beantwortet werden, da hierfür zusätzliche geologische und geophysikalische Untersuchungen erforderlich sind. Über den engeren Raum der Kieler Förde hinaus hoffen wir jedoch, mit dieser Untersuchung einen Anstoß gegeben zu haben zur weiteren intensiven geowissenschaftlichen Bearbeitung auch der anderen Förden der Kieler Bucht, soweit dies noch nicht erfolgt ist.

1. Einleitung

Charakteristisch für weite Bereiche der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und auch Jütlands sind die Förden, d.h., jene schmalen, langgestreckten Meeresbuchten, die durch eiszeitliche Einwirkungen entstanden sind. Wie bei der Flensburger und Eckernförder Bucht, so dürfte es sich auch bei der Kieler Förde glazialmorphologisch gesehen um ein Gletscherzungenbecken handeln, wenn auch in neuerer Zeit modifizierte Erklärungen gegeben werden. Nach W. HINSCH (1979), H. LIEDTKE (1981) und O. FRÄNZLE (1983) handelt es sich um durch Exaration und subglazifluviale Erosion unter dem Inlandeis entstandene Formen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die seinerzeit von R. STRUCK (1932) gegebene Absenkungshypothese hingewiesen.

Während der letzten beiden Eiszeiten war die heutige Kieler Förde mehrmals vollständig von Gletschermassen ausgefüllt und überlagert, was zur Entstehung dieser größtenteils schmalen und früher noch tieferen Mulde als Erosionsform – durch Eis und Schmelzwasser verursacht – geführt hat. Wie andere Förden, so ist auch die Kieler Förde durch Endmoränenzüge begrenzt und stellenweise in ihrer Breite eingeengt. Doch der an ihrer Stirnseite gelegene breite Endmoränenzug hat für den Wasserhaushalt Schleswig-Holsteins eine besondere Bedeutung. Dieser vor dem Gletscher bei einer Stillstandslage aufgeschüttete Endmoränenwall führte bekanntlich zu einer Verlagerung des ehemaligen Flußverlaufes der Eider, deren frühere Mündung in die damalige Ostsee nunmehr so stark abgedämmt wurde, daß ein Abbiegen des Flußlaufes nach Westen und damit die Entwässerung weiter Bereiche Holsteins zur Nordsee hin erfolgte. Es trat also eine Verschiebung der Wasserscheide nach Osten ein, was für die natürliche Gesamtentwässerung des Landes von großer Bedeutung ist. Heute fließt allerdings mehr Eiderwasser durch den Nord-Ostsee-Kanal in die Ostsee als in die Nordsee ab.

Einen weiteren wichtigen Aspekt der geowissenschaftlichen Bearbeitung der Kieler Förde stellt die Ermittlung geomorphologischer Verbindungen der submarinen Bodenformen mit entsprechenden Oberflächenformen des umgebenden Festlandes dar und damit die Eingliederung der Bodengestalt der Kieler Förde in die umgebenden festländischen Reliefformen. Allerdings stoßen derartige Bemühungen auf große Schwierigkeiten, da die reliefformenden Auswirkungen der auf den

Boden einwirkenden Medien grundverschieden sind zwischen Meeres- und Landbereich. Erschwerend wirkt sich außerdem bei einer derartigen Untersuchung die Tatsache aus, daß die Kieler Förde längst nicht mehr ihren ursprünglichen Zustand aufweist. Mannigfaltige Umgestaltungen durch menschliche Eingriffe haben vor allem in den letzten 130 Jahren stattgefunden. Doch der Grad der anthropogenen Veränderungen im Uferbereich und am Boden der Förde ist in den einzelnen Teilbereichen sehr unterschiedlich. So sind die Eingriffe im Bereich der Außenförde – abgesehen von den Hafenanlagen und Veränderungen in ufernahen Zonen und im Bereich der Verklappungsgebiete – im allgemeinen geringer als im Gebiet der Innenförde mit ihren vielfältigen Hafen- und Werftanlagen und den damit verbundenen Umgestaltungen der Gewässersohle. Eine Gegenüberstellung von Kartenausschnitten des Kieler Hafens aus vier Jahrhunderten läßt dies deutlich erkennen (Abb. 1).

Daher ist beim Aufspüren geomorphologischer Anschlußmöglichkeiten an Festlandsformen besondere Sorgfalt geboten. Nur an wenigen Stellen der Kieler Förde sind in dieser Beziehung eindeutige Ergebnisse zu erwarten. Möglicherweise können hierbei flachseismische Untersuchungen in Ufernähe weiterhelfen. Hierbei muß man allerdings bedenken, daß bereits im vergangenen Jahrhundert Bodenerhebungen, die die Schiffahrt behinderten, weitgehend beseitigt wurden, wie z.B. der sogenannte „Ellerbeker Haken", der sich von Ellerbek quer durch die Förde bis zur Wittlingkuhle erstreckte (C.A. WEBER und J. MESTORF (1904)).

2. Methodisches

2.1 Bathymetrie

Bis zum Ende des Zweiten Weltkrieges wurden die bathymetrischen Vermessungsarbeiten im deutschen Küstenvorfeld – und damit auch in der Kieler Förde – von Vermessungsschiffen der damaligen Reichs- bzw. Kriegsmarine durchgeführt. Seit Bestehen des Deutschen Hydrographischen Instituts (DHI) in Hamburg erfolgen in bestimmten Zeitabständen routinemäßig bathymetrische Aufnahmen der küstennahen Seebereiche durch Spezialschiffe dieser Institution. Die Kieler Förde in ihrer Gesamtheit wurde zuletzt vom 13. 3. bis 27. 4. 1967 durch V.S. „Atair" und V.S. „Süderoog" vermessen, was seinerzeit zur Erstellung einer Arbeitskarte im Maßstab 1 : 10.000 (in 2 Teilen) führte. Außerdem gingen die Vermessungsergebnisse in die zuständigen Blätter des Deutschen Seekartenwerkes ein, d.h. in die Seekarten D 32, D 33 und D 34.

Auf der Grundlage der erwähnten Arbeitskarte des DHI und unter Verwendung der inzwischen gewonnenen Lotungsergebnisse der Kieler Forschungsschiffe „Hermann Wattenberg" und „Alkor" wurde im Jahre 1969 eine kleinmaßstabliche Tiefenkarte der Kieler Förde entworfen und im Maßstab 1 : 100.000 veröffentlicht (H. SCHWENKE und J. ULRICH 1969). Doch diese notgedrungen unzureichende Darstellung verlangte bald nach einer verbesserten und vielseitig verwendbaren Tiefenkarte in einem größeren Maßstab.

Da die in den 70er Jahren vorgenommenen hafenbaulichen Veränderungen im Fördebereich die Erstellung einer derartigen Tiefenkarte während dieses Zeitraumes nicht als sinnvoll erscheinen ließen, wurde die erneute Bearbeitung erst im

Kieler Innenförde (Südteil)

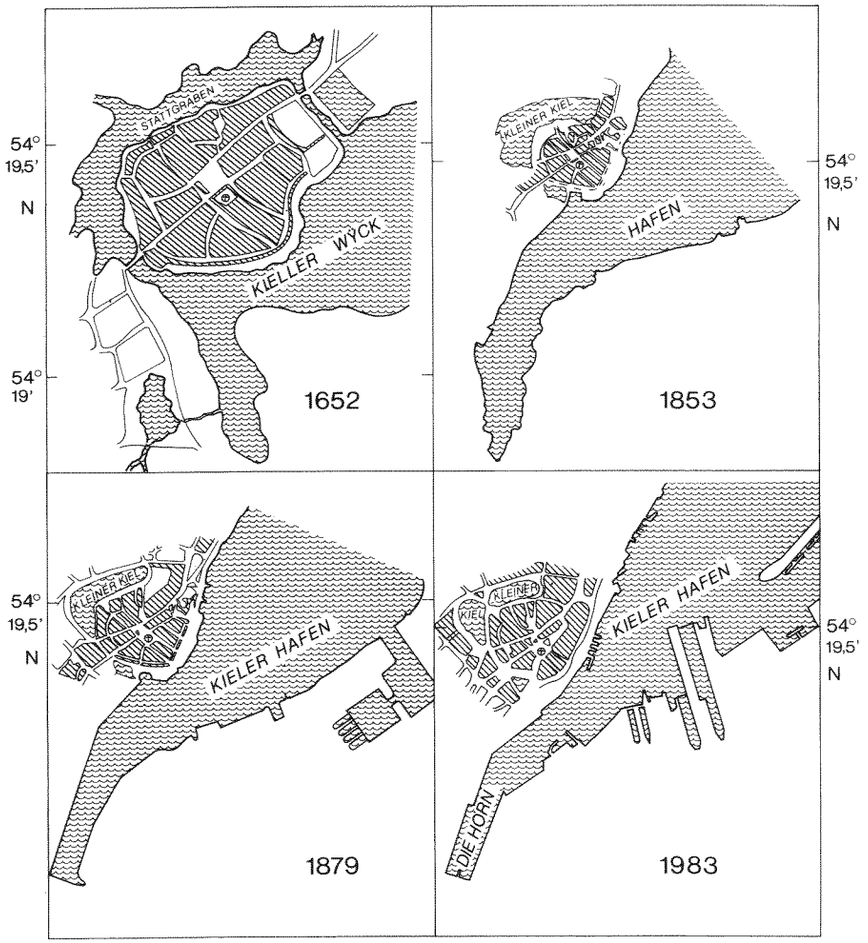


Abb. 1: Die Entwicklung der Kieler Innenförde (Südteil), dargestellt im Vergleich von Kartenausschnitten aus den Jahren 1652, 1853, 1879 und 1983 auf der Grundlage folgender Kartenwerke:
a) Johannes Mejer, in: Caspar Danckwerth:
Neue Landesbeschreibung der zwei Herzogtümer Schleswig und Holstein, 1652
b) Wilhelm Carl Theodor Thalbitzer:
Karte von der Stadt Kiel mit nächster Umgebung. 1853
c) Topographische Karte 1 : 25.000, Blätter 1626 (Kiel) und 1627 (Friedrichsort). Königl.-Preuß. Landesaufnahme, Kiel 1879
d) Deutsche Seekarte Nr. 34 (Häfen von Kiel) 1 : 12.500, Deutsch. Hydrogr. Inst. Hamburg 1983

Jahre 1980 begonnen. In den letzten Jahren fanden detaillierte Vermessungen einzelner Teile der Kieler Förde durch Schiffe des DHI und anderer Institutionen bzw. Spezialfirmen statt, die zumeist hafenbautechnischen Zwecken dienten. Im Jahre 1979 war bereits der Kleverberg östlich Bülk durch das DHI vermessen worden, 1982 folgten der Strander Grasberg und die Schwentinemündung, und 1983 wurde durch die Firma NICOLA Ingenieur GmbH die Region vor dem HDW-Dock 8 A engabständig neu vermessen. Um die bathymetrischen Verhältnisse im Fördebereich möglichst aktuell erfassen zu können, wurden in den Jahren 1980 bis 1984 mehrere Vermessungsaktionen mit den Forschungsschiffen „Poseidon", „Alkor", „Littorina" und insbesondere „Sagitta" des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel durchgeführt (Tab. 1).

Tab. 1: Daten zur bathymetrischen und sedimentologischen Vermessung der Kieler Förde durch IfM-Forschungsschiffe in den Jahren 1980–1984

Profil Nr.	Schiff	Zeitraum	Bemerkungen
P1 – P199	F.S. „Poseidon"	6.1.–11.1.1980	Sediment-echogramm-Profile
A1 – A34	F.K. „Alkor"	14. 5.1980 25. 9.1980 22.10.1980 21. 9.1984	Bathymetrische Profile
A301 – A328	F.K. „Alkor"	28.8.–29.8.1984	Sediment-Echo-gramm-Profile
L1 – L5	F.K. „Littorina"	27.8.1984	Bathymetrische Profile
L201 – L213	F.K. „Littorina"	30.8.1984	Sediment-Echo-gramm-Profile
1 – 208	F.B. „Sagitta"*)	Jan.–Okt. 1980 Aug.–Sept. 1981 Jan.–Nov. 1983 Jan.–Juli 1984	Bathymetrische Profile

*) Die Vermessungen durch F.B. „Sagitta" fanden an zahlreichen Einzeltagen innerhalb der angegebenen Monate statt.

Die geographische Lage der bathymetrischen Profilkurse von F.K. „Alkor", F.K. „Littorina" und F.B. „Sagitta" ist in Abbildung 2 wiedergegeben, die Lage der Sedimentechogramm-Kurse von F.S. „Poseidon", F.K. „Alkor" und F.K. „Littorina" ist in Abbildung 3 (Kieler Innenförde) und Abbildung 4 (Kieler Außenförde) dargestellt.

Die Bestimmung der Schiffsorte erfolgte teils mit Hilfe des DECCA-Navigators (Außenförde), teils mit Radarpeilung und Landobjekt-Sichtpeilung. Als Echolotgeräte wurden auf „Poseidon" das ELAC-Sedimentlot (18 kHz), auf „Alkor", „Littorina" und „Sagitta" das ELAC-Lot LAZ 17 (30 kHz) mit Kontrastverstärker eingesetzt (Beispiele für Echolotregistrierungen s. Abb. 8 und 9). Die Auswertegenauigkeiten für die Schiffsorte lagen bei ± 2 bis ± 20 m, die der Echolotungen bei ± 10 cm. Die Gesamtstrecke aller Vermessungskurse der vier Schiffe beträgt ca. 1.250 km.

Die Auswertung der Lotungsdaten erfolgte in der üblichen Weise, d.h. die Werte wurden mit den erforderlichen Korrekturen (Pegelstand, Schwingertiefenlage etc.) versehen und in eine Arbeitskarte im Maßstab 1 : 12.500 übernommen. Nach Eingabe der Tiefenlinien in 1 m-Äquidistanzen wurde durch Verkleinerung die endgültige Tiefenstufenkarte im Maßstab 1 : 25.000 erstellt, wobei die Äquidistanzen auf 2 m erweitert wurden. Die hier wiedergegebene Tiefenkarte erfuhr eine weitere Verkleinerung auf etwa 1 : 70.000 (Abb. 5).

Zur Veranschaulichung des Bodenreliefs der Kieler Förde wurden ausgewählte Echogramm-Ausschnitte als Echolotprofilserien entzerrt in 10-facher Überhöhung wiedergegeben (Abb. 10a-d).

2.2 Sedimentechographie und Probenentnahme

Die akustische Kartierung der spät- und nacheiszeitlichen Sedimente erfolgte mit einem ELAC-Sedimentechographen in Verbindung mit dem ELAC-Echostärkenmeßgerät (EMG-1) entlang von E-W und SSW-NNE verlaufenden Schiffskursen (Abb. 3 u. 4) mit Schiffsgeschwindigkeiten bis maximal 6 kn. Wegen der relativ steil aufsteigenden Flanken der Kieler Förde konnten die mit F.S. „POSEIDON" und F.S. „ALKOR" durchgeführten Untersuchungen aus Sicherheitsgründen (Schiffstiefgang) jeweils nur bis zur 10 m-Tiefenlinie vorgenommen werden.

Beim Sedimentechographen werden die im Röhrengenerator (RGN 9) erzeugten Schallimpulse (18 kHz, 0,5 m sec) über einen magnetostriktiven Wandler (LSE 204) mit einer Bündelung von $2\,\delta = 12\,°$ und mit einer Sendeleistung von 500 W abgestrahlt, wieder empfangen, durch ein Spezialgerät (LV 17 K) verstärkt und mit einem Analogschreiber auf elektrosensitivem Papier registriert. Aus den genannten technischen Daten resultiert eine vertikale Auflösungsgenauigkeit von 0,3 m. Bei einer vorgegebenen Schallgeschwindigkeit von 1500 m sec^{-1} und der im benutzten Meßbereich von 0 – 48 m wirksamen Lotfolge (270 Lotungen min^{-1}) ergibt sich bei einer Schiffsgeschwindigkeit von 6 kn eine Lotung pro 0,7 m Wegstrecke (K. HINZ et al. 1969).

Mit dem Echostärkenmeßgerät (EMG-1) ist es möglich, anhand der Amplitudengröße der reflektierten Schallimpulse qualitative Aussagen über die Beschaffenheit der Meeresbodenoberfläche zu treffen (H. DRENKELFORT, 1973). Zu diesem Zweck werden jeweils die Amplituden im Bereich der obersten Millisekunde (ca. 0,75 m) der unverstärkten, vom Boden reflektierten Schallimpulse im EMG-1 einem Processing unterworfen und die so gewonnenen Amplitudengrößen als Echostärke in einem 0 bis 10 V-Maßstab analog auf der Echolotregistrierung mit dargestellt (Abb. 11). R. DIETRICH (1976) hat in einem Testgebiet der westlichen Kieler Bucht die Zusammenhänge zwischen Echostärke und verschiedenen sedimentphysikalischen Parametern eingehend untersucht (Abb. 12). Er hat festgestellt, daß in dem

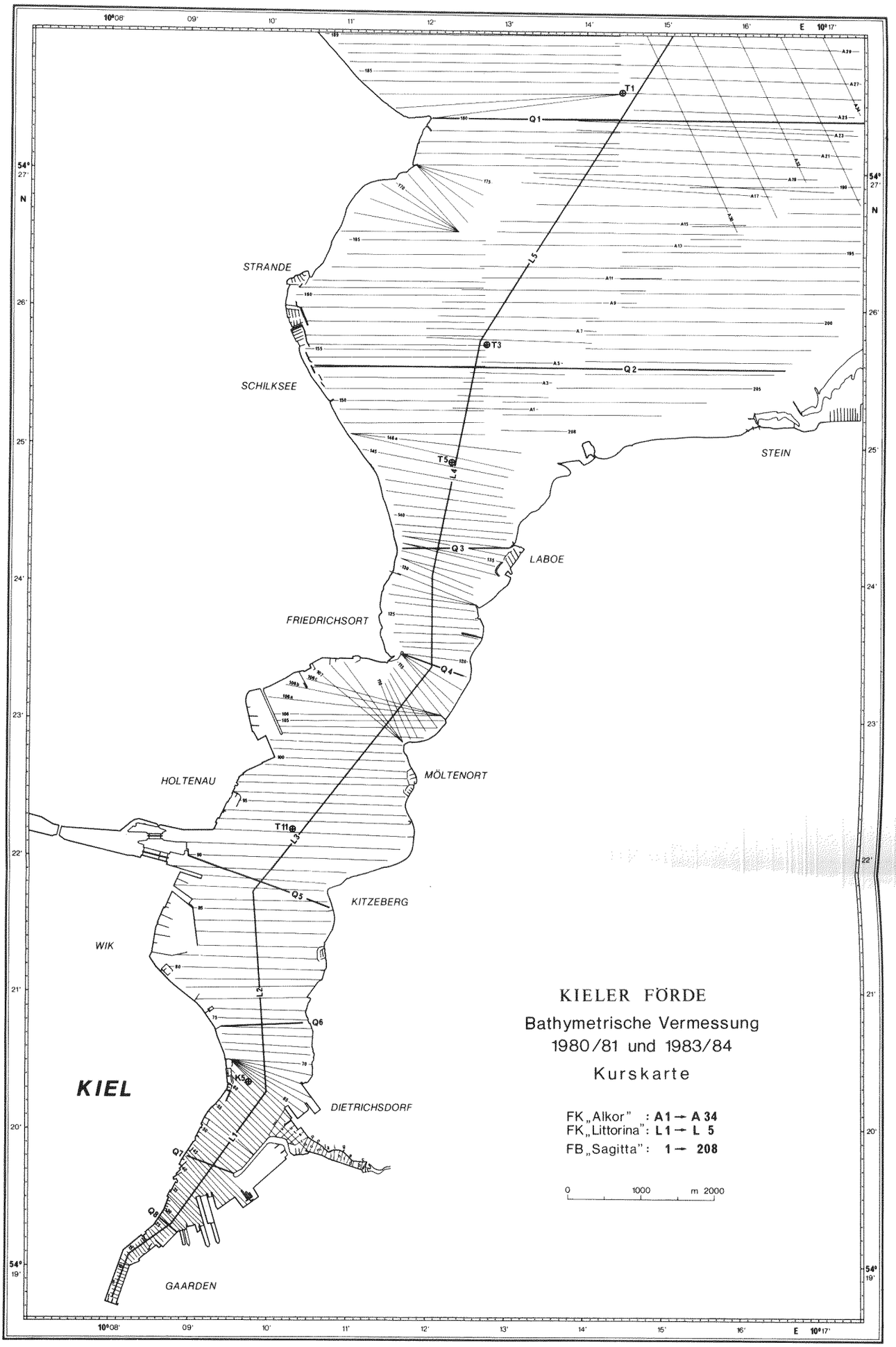


Abb. 2: Geographische Lage der bathymetrischen Vermessungskurse von F.K. „Alkor", F.K. „Littorina" und F.B. „Sagitta" (1980–1984)

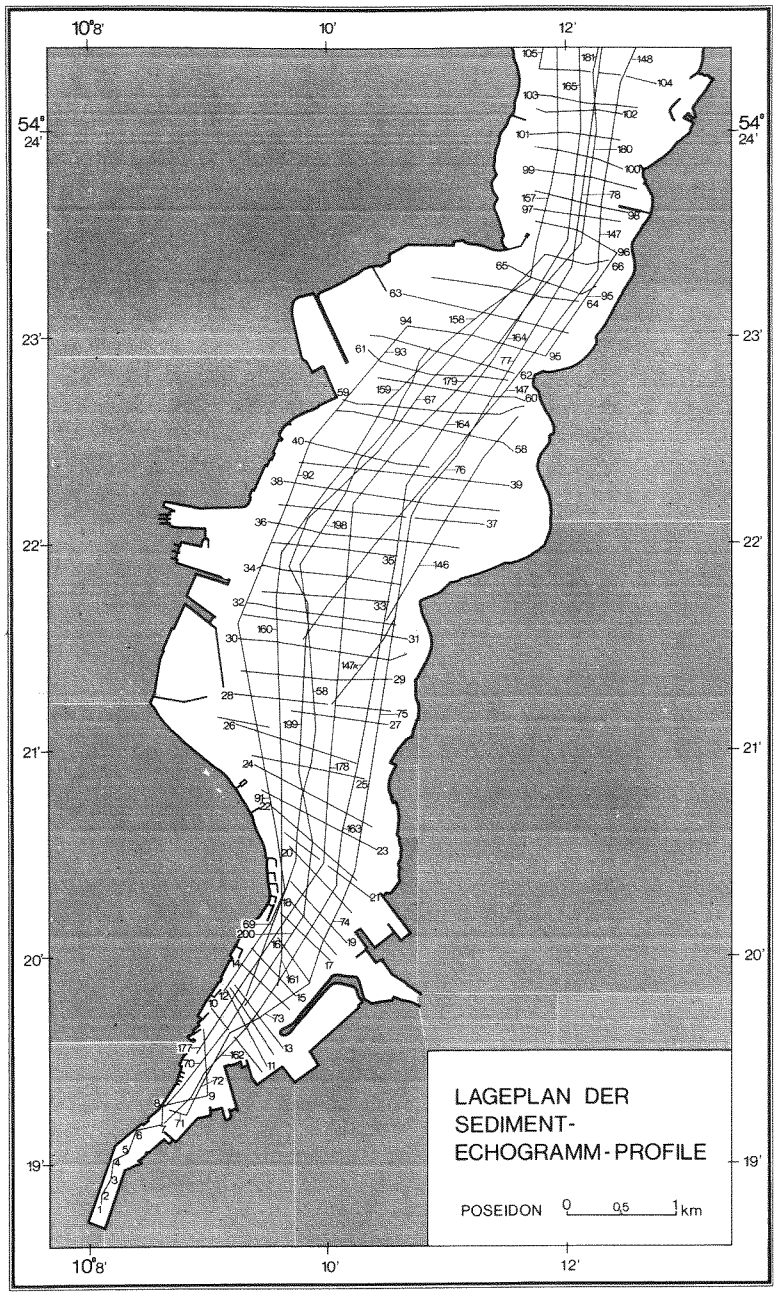


Abb. 3: Lage der Sedimentechogramm-Kurse von F.S. „Poseidon" in der Kieler Innenförde (1980)

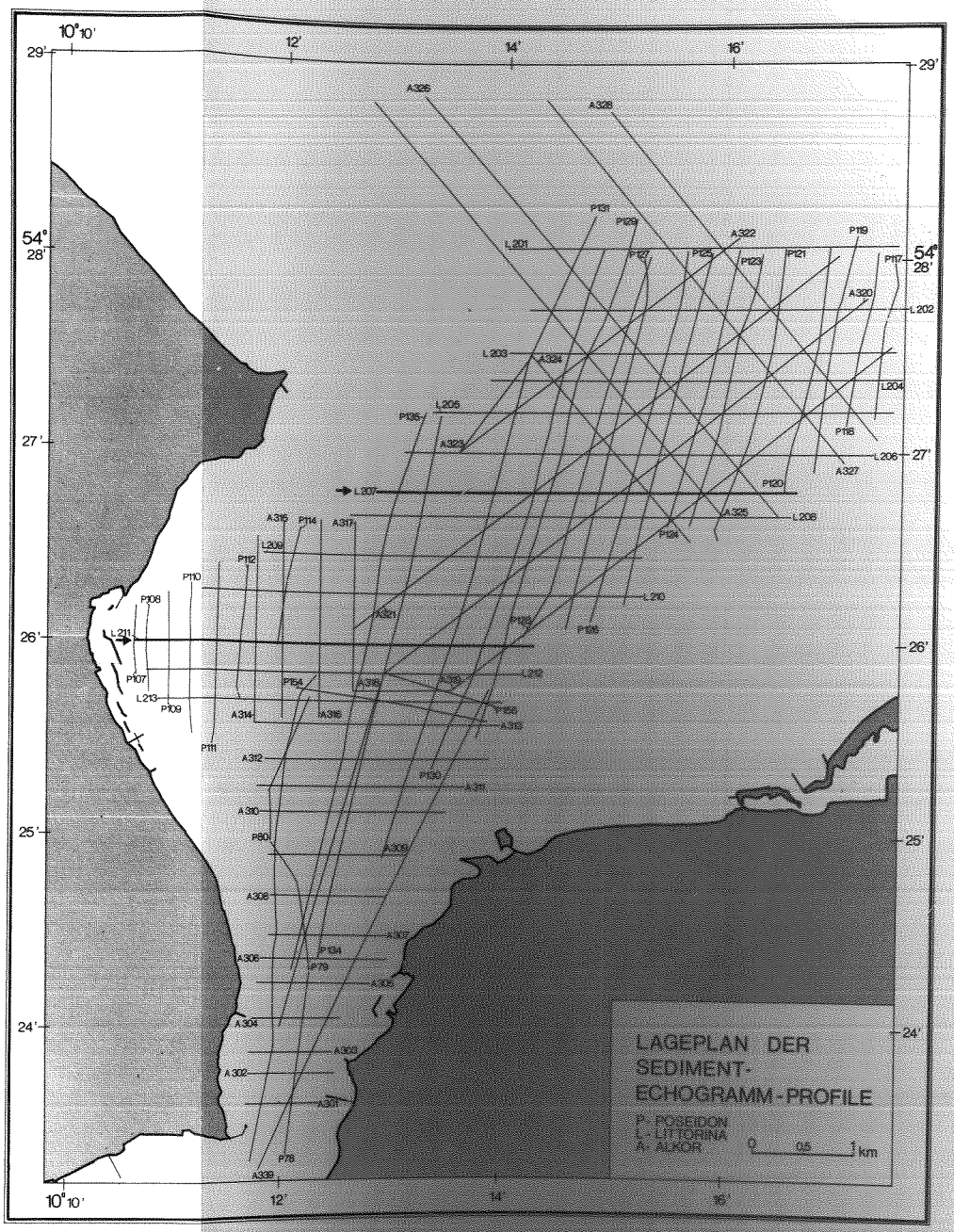
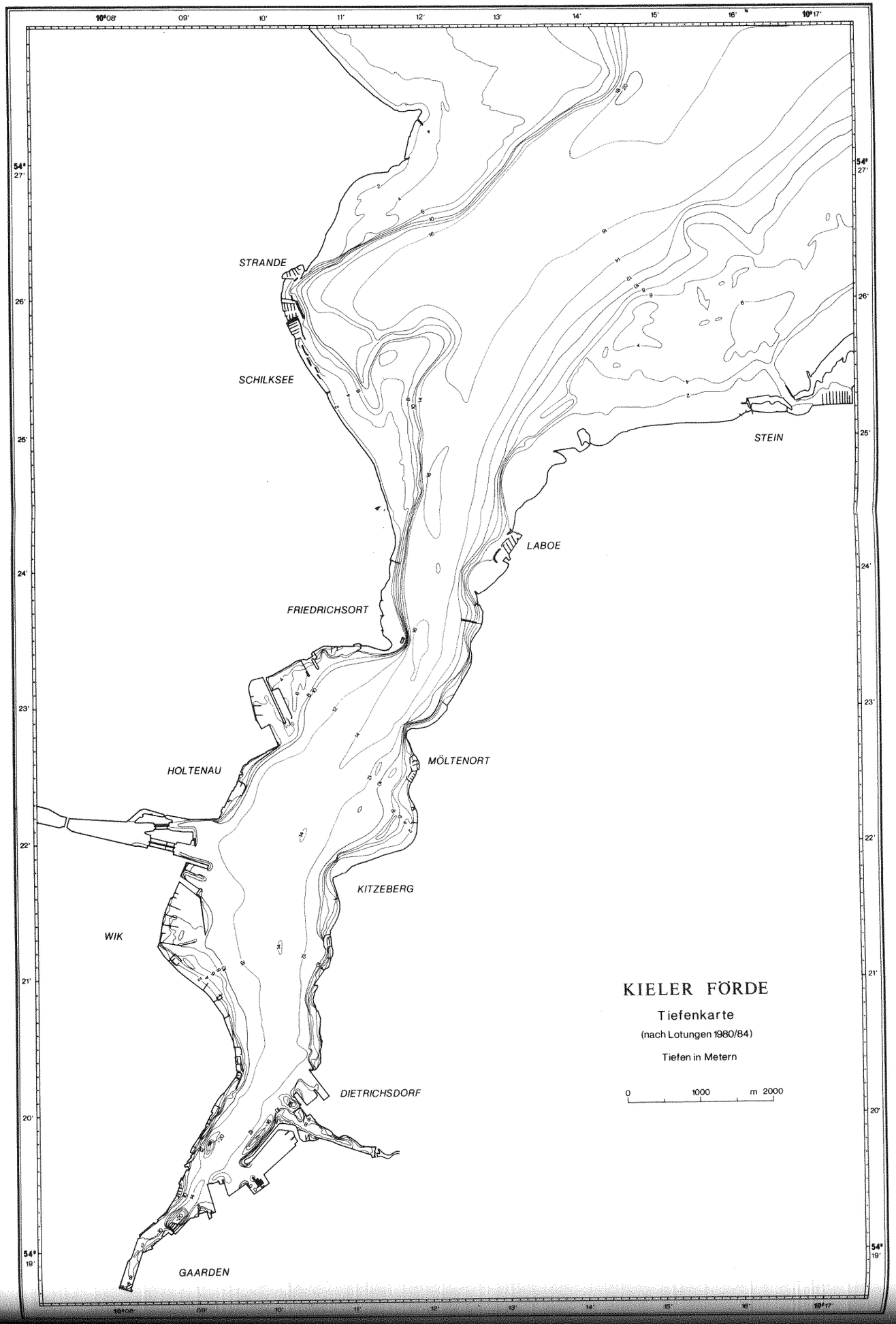


Abb. 4: Lage der Sedimentechogramm-Kurse von F.S. „Poseidon", F.K. „Alkor" und F.K. „Littorina" in der Kieler Außenförde (1980–1984)


KIELER FÖRDE
Tiefenkarte
(nach Lotungen 1980/84)
Tiefen in Metern
0 1000 m 2000
STRANDE
SCHILKSEE
STEIN
LABOE
FRIEDRICHSORT
HOLTENAU
MÖLTENORT
KITZEBERG
WIK
DIETRICHSDORF
GAARDEN

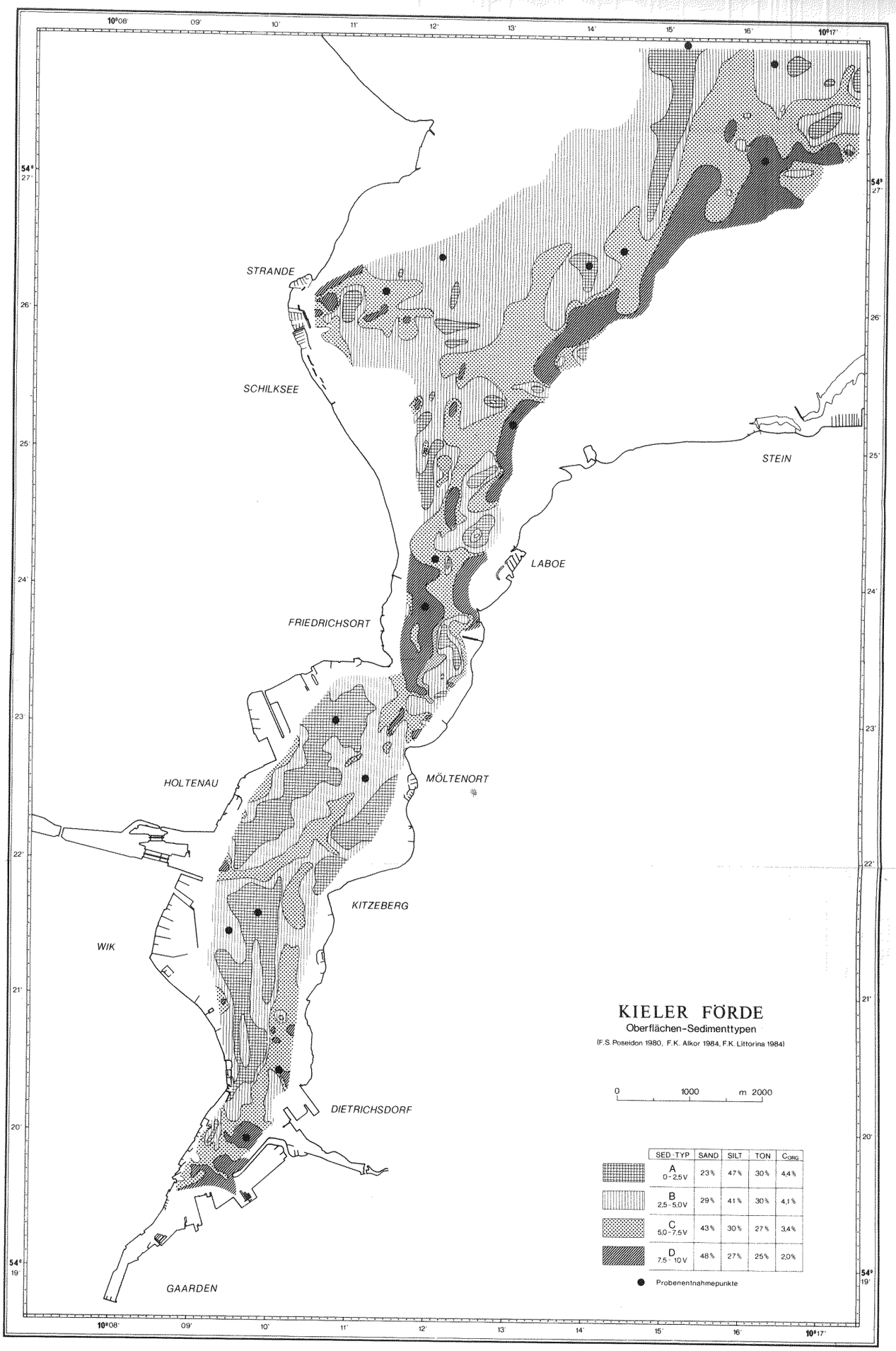


Abb. 6: Karte der Oberflächensedimente der Kieler Förde

INSTITUT ... DER UNIVERSITÄT KIEL

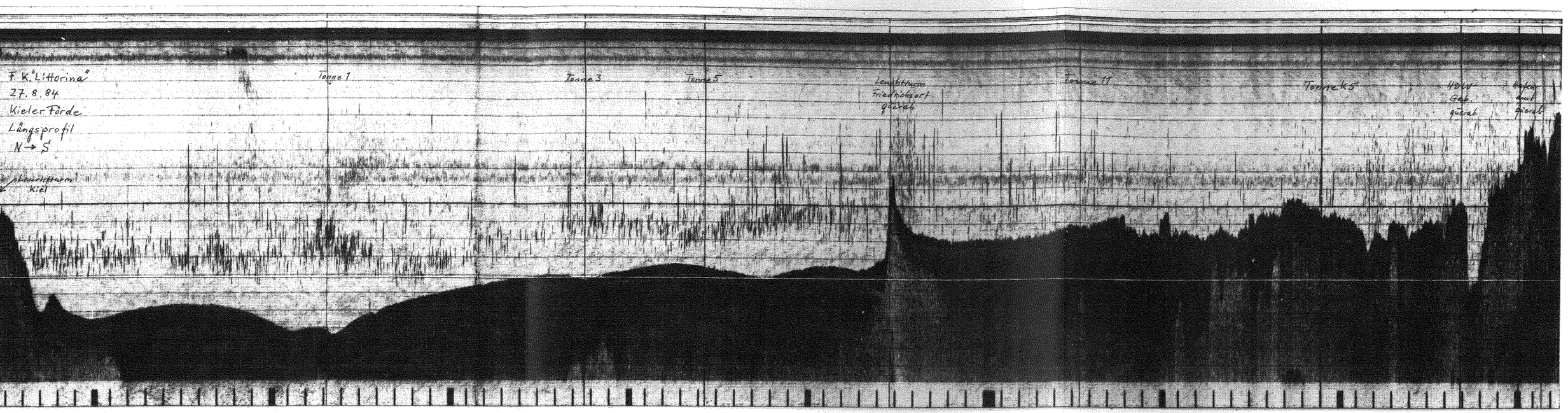


Abb. 8: Längsprofil durch die Kieler Förde. Verkleinerte Wiedergabe eines Originalechogrammes, aufgenommen durch F.K. „Littorina" am 27. 8. 1984 (L1– L5)

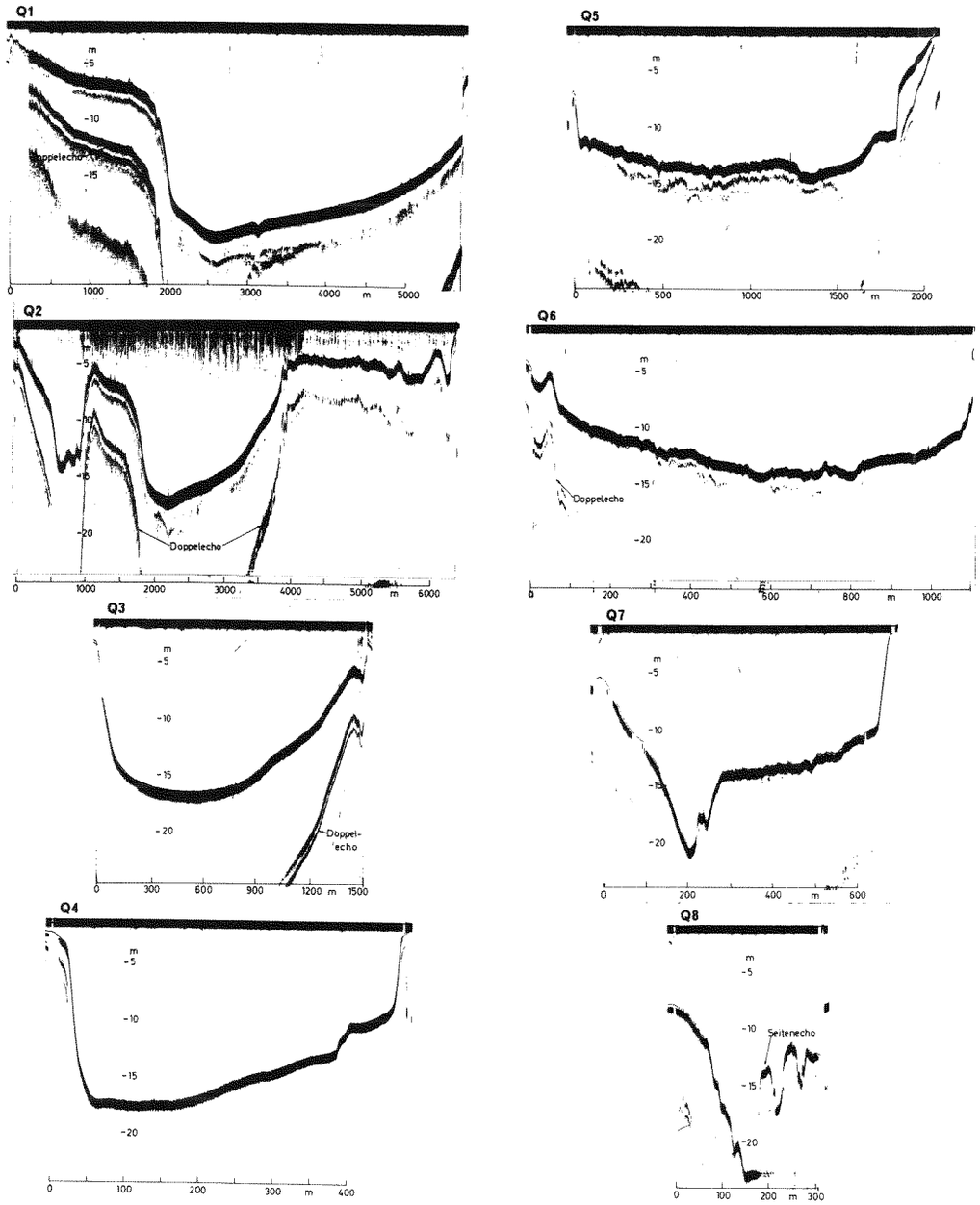


Abb. 9: Querprofile durch die Kieler Förde. Verkleinerte Wiedergabe von Origional-Echogrammen, aufgenommen durch F.B. „Sagitta" (Lage der Profile Q1– Q8 s. Abb. 2)

Abb. 10: Entzerrte Wiedergabe von Echolotprofilen aus dem Bereich der Kieler Förde (Überhöhung 10-fach)

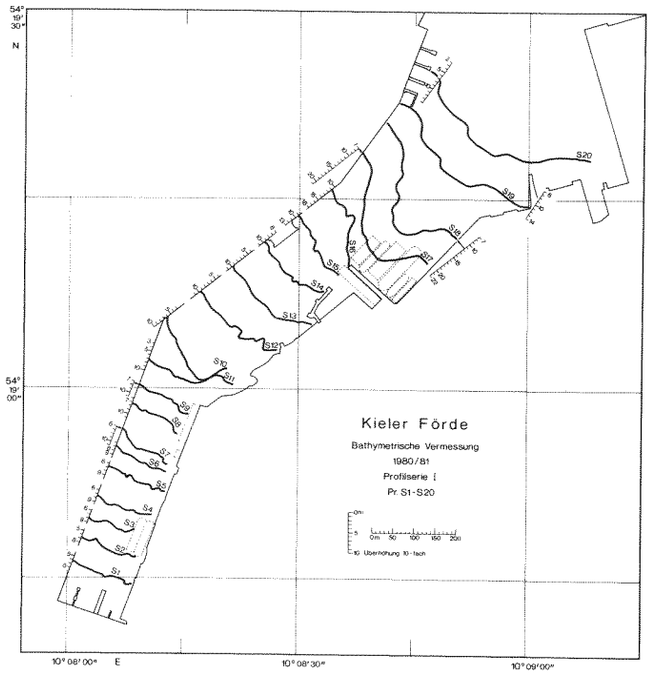


Abb. 10a: Profilserie I, Südteil Kieler Innenförde

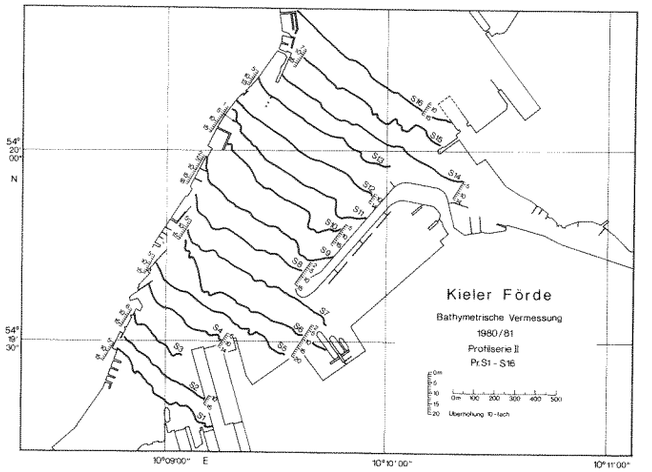


Abb. 10b: Profilserie II, Mittelteil Kieler Innenförde

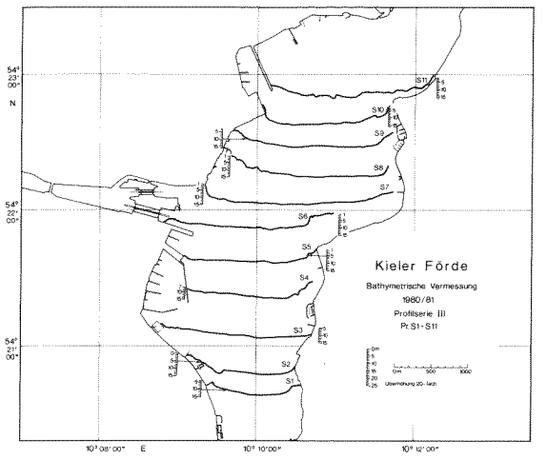


Abb. 10c: Profilserie III, Nordteil Kieler Innenförde

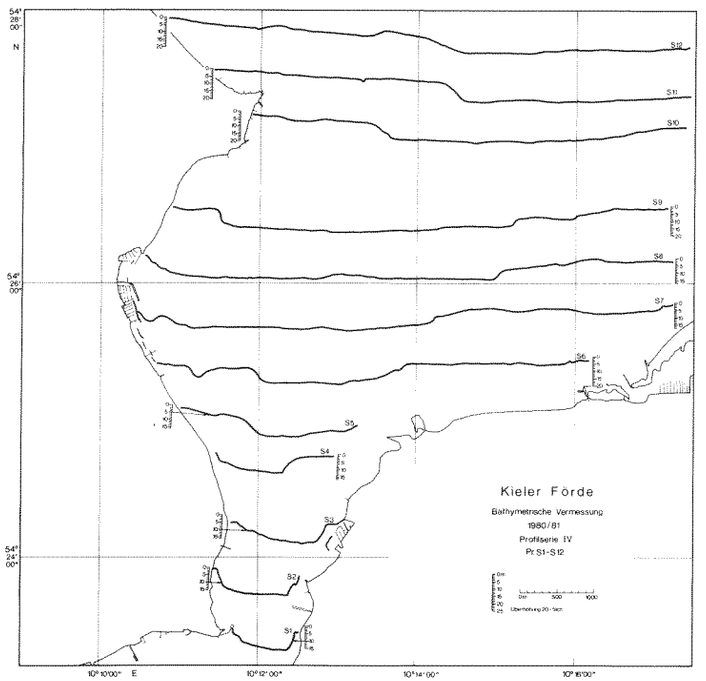


Abb. 10d: Profilserie IV, Kieler Außenförde

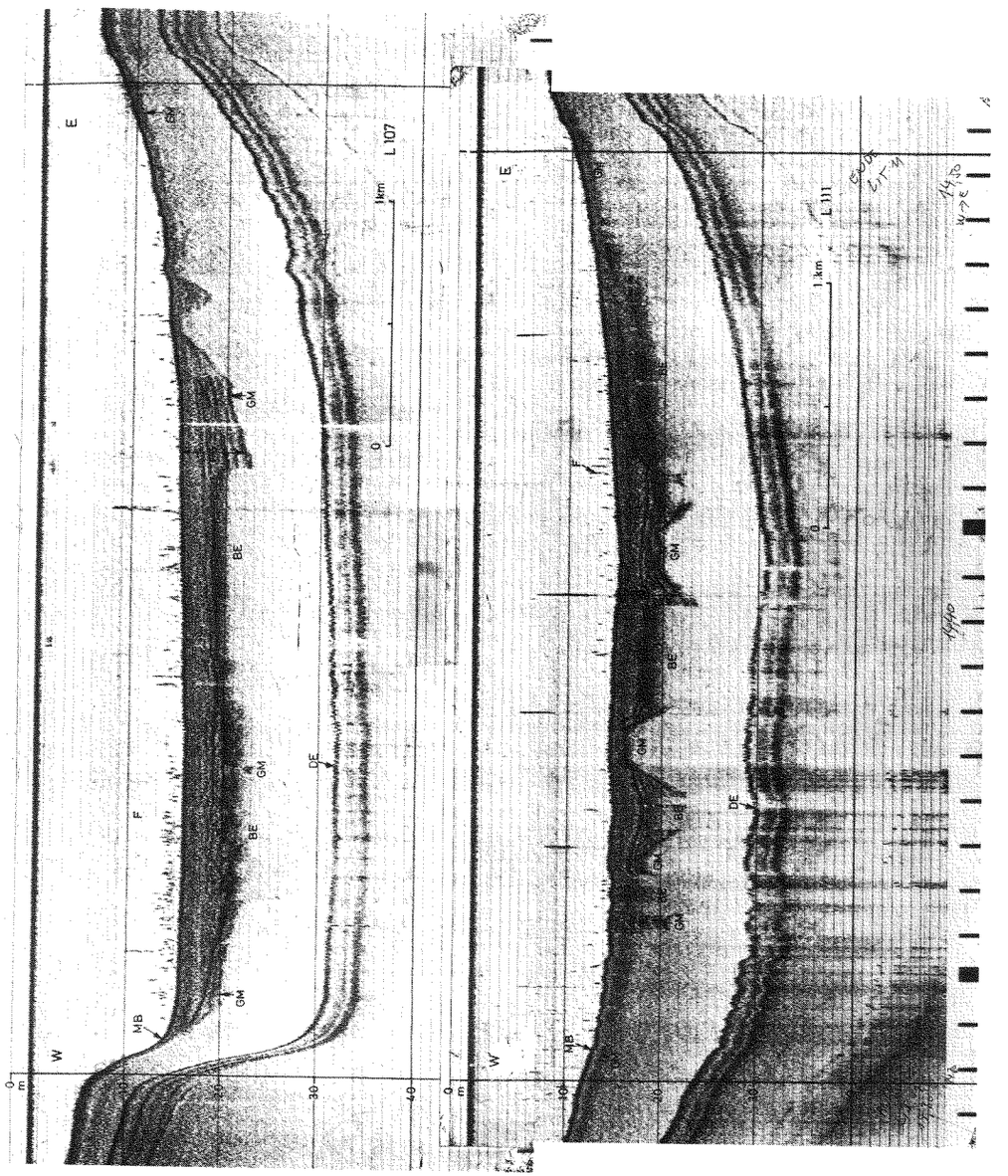


Abb.11: Beispiele einer Sedimentlotregistrierung, aufgenommen durch F.K. „Littorina" (Lage der Kurse s. Abb. 4) in der Kieler Außenförde. F = Fische, MB = Meeresboden, GM = Geschiebemergel, BE = Becken-Effekt, PS = Postglaziale Sedimente, DE = Doppelecho

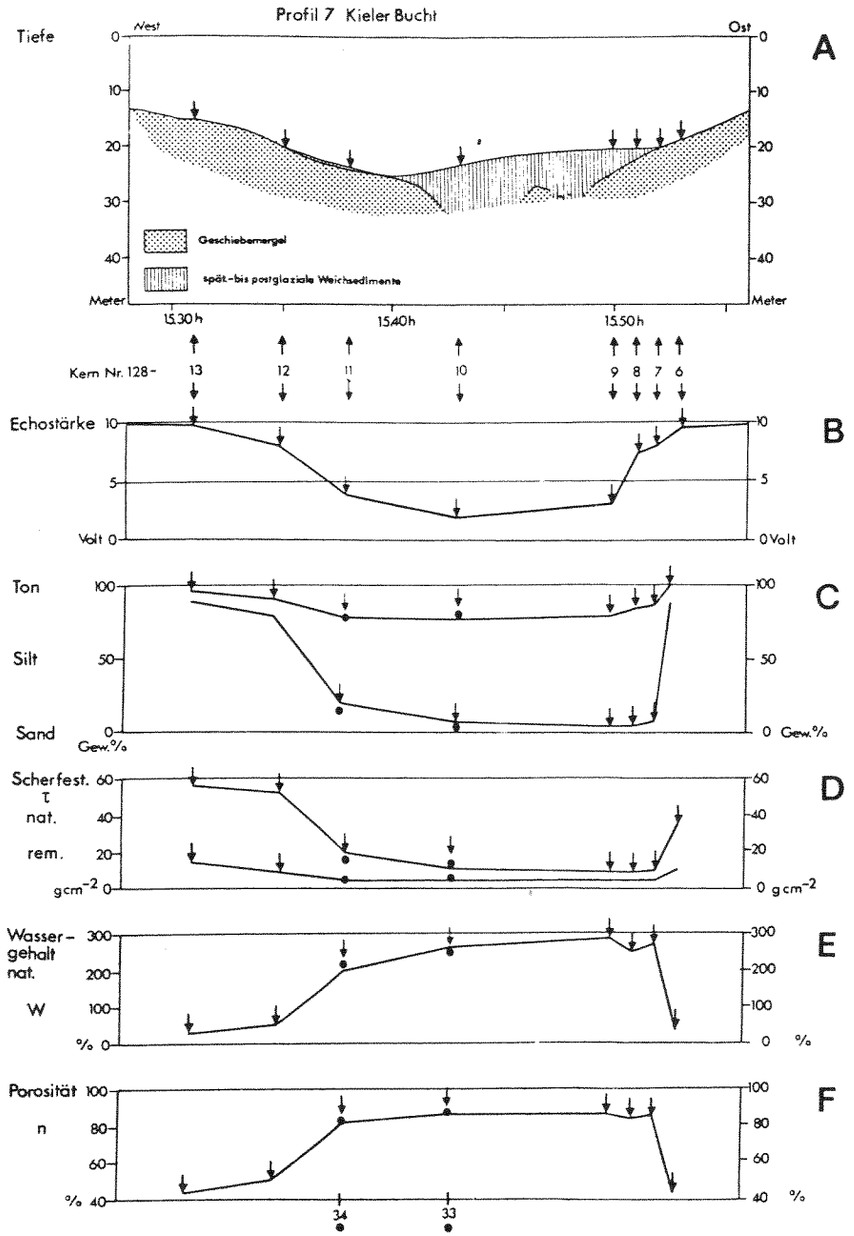


Abb. 12: Beziehungen zwischen Echostärke und einigen sedimentphysikalen Parametern in der westlichen Kieler Bucht (nach R. DIETRICH, 1976)

von ihm bearbeiteten Korngrößenbereich (Ton bis Feinsand) die Echostärke mit der Korngröße zunimmt bzw. sich umgekehrt proportional zur Porosität verhält. Seine Ergebnisse konnten durch umfangreiche eigene Untersuchungen in der Ost- und Nordsee bestätigt und auf den Korngrößenbereich vom Feinsand bis zum Kies erweitert werden (Abb. 13). Im Gegensatz zu der üblichen punktförmigen geologischen Probenentnahme mit ihrer sehr begrenzten flächenhaften Aussagekraft, liefert die Echostärkenmessung entlang des Schiffskurses kontinuierliche Informationen über ein Sedimentvolumen, dessen Dimensionen in der Kieler Förde in Abhängigkeit von Abstrahlwinkel (12°), Wassertiefe (10 – 18 m), Schiffsgeschwindigkeit (5 – 6 kn) und einer Mittelung der Echostärken über 4 Lotungen durch das EMG-1 etwa 2,3 bis 3,7 x 3 x 0,75 m betragen.

Kalibrierversuche des EMG auf sandigem Untergrund, bei denen der magnetostriktive Wandler mit definiertem Bodenabstand (4,9 m) entlang zweier senkrecht zueinander verlaufender Achsen jeweils im Abstand eines Schallkegeldurchmessers (1,5 m) versetzt worden ist (Abb. 14), haben die an Bord über Wassertiefen von 7 m bzw. 16 m gemessene Schwankungsbreite der Echostärke (bis zu ± 1 V) bestätigt. Sie ist demnach auf die starke horizontale Veränderlichkeit der Oberflächensedimente zurückzuführen und nicht apparativ bedingt. Deshalb sind Kalibrierungsversuche mit einem an Bord installierten Wandler vom „stehenden" oder auch verankerten Schiff unmöglich, weil dieses nicht auf den Meter exakt positioniert werden kann.

In der Kieler Förde wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens zwölf bis zu 10 m lange Kerne mit einem Schwerelot und einem Vibrohammer-Kerngerät sowie sechzehn oberflächennahe Kerne entnommen.

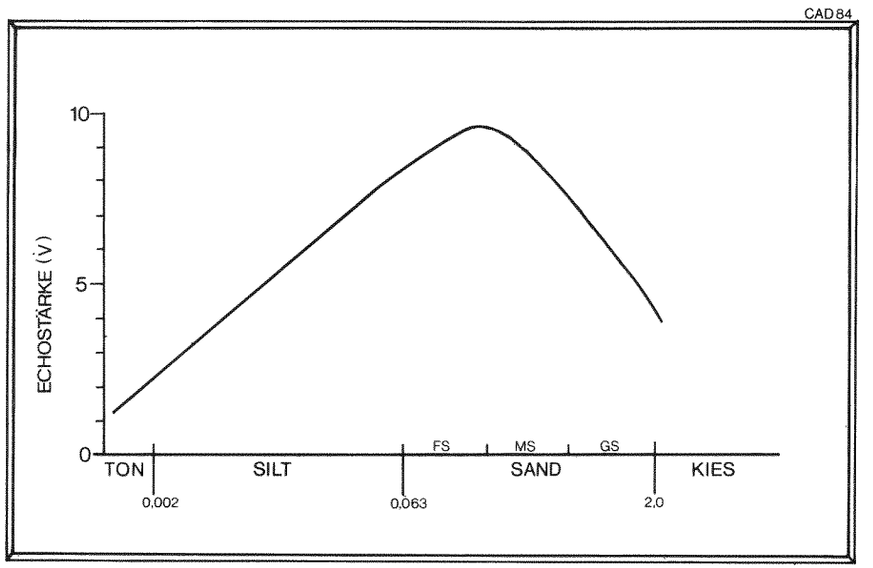


Abb. 13: Beziehungen zwischen Echostärke und Korngröße

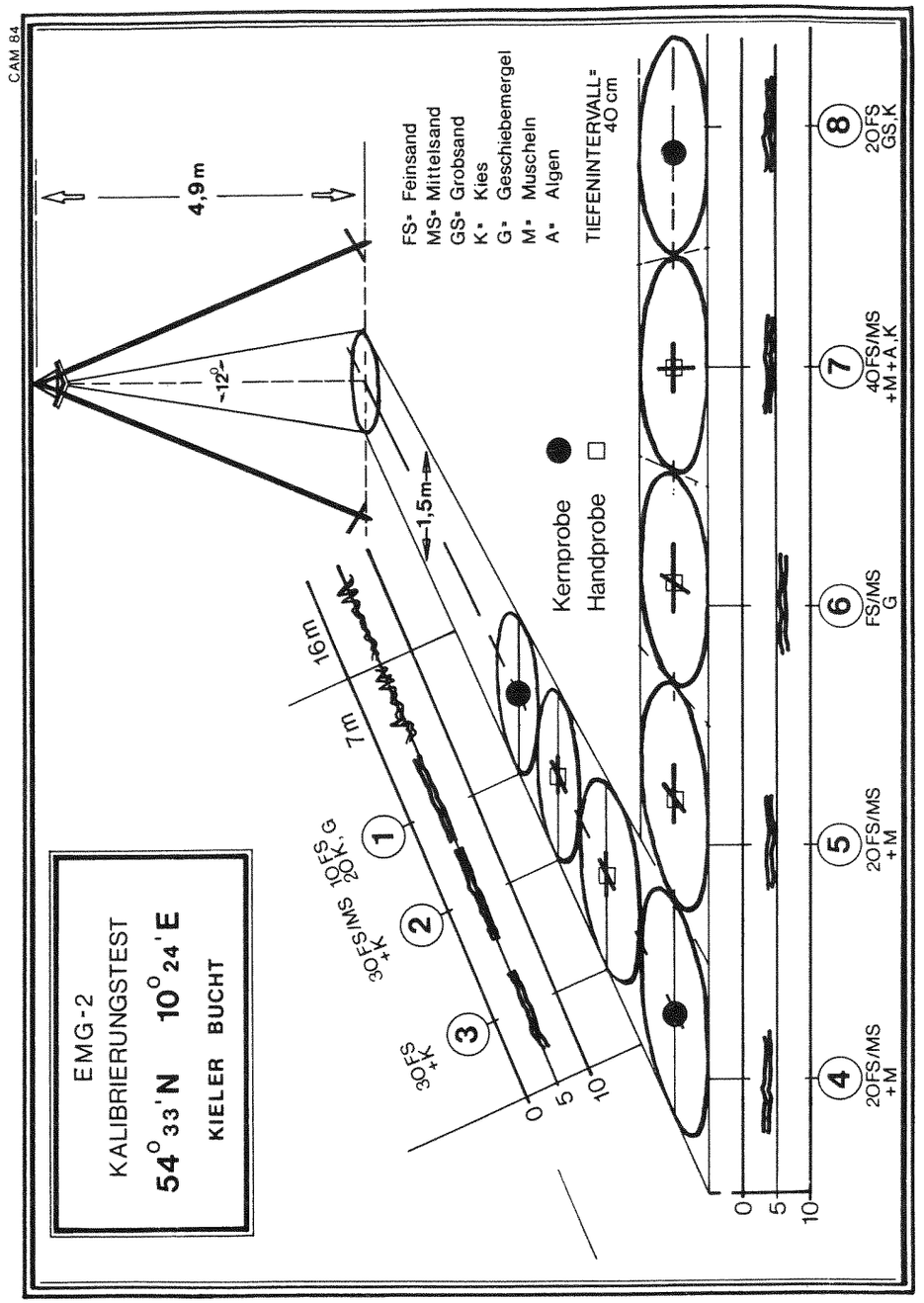


Abb. 14: Echostärken-Kalibrierungstest

Diese Kerne wurden mit Ausnahme der in Oberflächennähe gewonnenen im Rahmen einer Diplomarbeit (L. SIMANOWSKI, 1985) sedimentologisch und zum Teil auch palynologisch untersucht. Außerdem wurden an einigen Kernen ^{14}C-Altersdatierungen vorgenommen. An den oberflächennahen Kernen wurde die Korngrößenzusammensetzung (Sand, Silt, Ton) mittels Schlämm- und Pipette-Analyse ermittelt. Das spezifische Gewicht des trockenen Sedimentes wurde mit dem BECKMANN-Air-Pycnometer (Modell 930), der Kohlenstoff- und Schwefelgehalt mit dem LECO-Automatic-Carbon-Analyzer CS (P. HOLLER, 1981) bestimmt.

3. Bodengestalt

3.1 Gliederung und Größenverhältnisse

Die Kieler Förde läßt sich grob in zwei etwa gleichlange Areale mit unterschiedlicher Flächengröße gliedern, die wir als ‚Kieler Innenförde' und ‚Kieler Außenförde' bezeichnen. Jeder dieser beiden Teile besitzt eine Länge von etwa 9,5 km. Als Trennungslinie zwischen ihnen bietet sich die mitten in der Förde gelegene Friedrichsorter Enge an, die vom Leuchtfeuer Friedrichsort bis zum gegenüberliegenden Ufer nur etwa 1.000 m Breite besitzt.

Während die Außenförde mit ihren weit auslaufenden Küstenbegrenzungen – einerseits zur Eckernförder Bucht hin, andererseits zur Kolberger Heide – eine trichterförmige Gestalt aufweist, ist die langgestreckte Innenförde durch natürliche Gegebenheiten und künstliche Einflüsse wesentlich stärker gegliedert.

Die Kieler Innenförde – in nautischen Karten häufig auch als ‚Kieler Hafen' bezeichnet – kann man wiederum in einen nördlichen und einen südlichen Teil gliedern, wobei die Grenze in den Bereich westlich des Dietrichsdorfer Moränenwalles gelegt werden kann, d.h. nördlich der Schwentinemündung. Somit gehören u.a. die Heikendorfer Bucht, die Friedrichsorter Werften und die Wiker Marinehäfen in den Bereich der nördlichen Innenförde, während die Schwentinemündung, der Arsenalhafen und die Gaardener HDW-Werftanlagen sowie die Hörn als weitgehend künstlich gestaltetes innerstes Hafenbecken der südlichen Innenförde angehören.

Die Kieler Außenförde läßt sich nur in wenige Einzelbereiche untergliedern, zu denen vor allem die Strander Bucht, der Strander Grasberg, der Laboer Sand und der Kleverberg östlich Bülks gehören. Größere künstliche Küstenanlagen wurden hier vor allem im Bereich der Häfen von Laboe, Schilksee (Olympiahafen) und Strande geschaffen. Flächenmäßig besitzt die Außenförde mit rund 36 km² mehr als das Doppelte der Größe der Innenförde (mit 15 km²). Die Breite der Kieler Förde nimmt – quer zum Verlauf der Hauptfahrwasserrinne gemessen – von Süden nach Norden erheblich zu, wenn dies auch nicht kontinuierlich, sondern mit Unterbrechungen geschieht. Von der Hörn bis zur Außenförde ergeben sich folgende (ausgewählte) Ufer-Entfernungen (Tab. 2):

Tab. 2: Ausgewählte Distanzen im Bereich der Kieler Förde

Westufer	Ostufer	Entfernung in m
Hörnende	Hörnende	150
Oslokai	Gaardener Anleger	650
Alter Olympiahafen Düsternbrook	HDW-Ausrüstungspier Dietrichsdorf	750
Einfahrt Scheerhafen	Kitzeberger Anleger	1.800
Tonnenhof Holtenau (Einfahrt)	Innere Heikendorfer Bucht	2.500
Friedrichsorter Anleger	U-Boot-Ehrenmal Möltenort	1.800
Friedrichsorter Leuchtfeuer	Möltenorter Ufer	1.000
Friedrichsorter Strand	Laboe-Hafeneinfahrt	1.750
Schilksee-Olympiahafen (Einfahrt)	Marine-Ehrenmal Laboe	4.000
Bülker Leuchtturm	Mole bei Stein	6.000

3.2 Bodenrelief

Wie die Tiefenkarte (Abb. 5) erkennen läßt, besitzt die Kieler Förde – vor allem die Innenförde – ein für Gletscherzungenbecken mit subglazialen Schmelzwasserrinnen typisches Relief.

Als markante morphologische Leitlinie ist eine tief eingeschnittene zentrale Längsrinne nahezu durchgehend erkennbar, wenn sie auch nicht die Tiefen der Eckernförder Bucht erreicht. Bei annähernd gleichmäßigem – sehr geringem – Gesamtgefälle beginnt die Rinne in der Hörn mit ca. 8 m Wassertiefe und geht jenseits der Außenförde – also in über 20 km Entfernung – bei Tiefen von mehr als 20 m in eine bis zum Gabelsflach reichende südliche Beckenzone der Kieler Bucht über (vgl. Tiefenkarte der Kieler Bucht von R. NEWTON (1971) in K. HINZ et al., 1971). Diese Längsrinne besitzt von der Außenförde an bis in Höhe der Gaardener HDW-Dockanlagen durchgehend Tiefen von über 12 m, was für ihre Nutzung als Fahrwasserrinne für tiefgehende Seeschiffe von großer Bedeutung ist und Kiel den Ruf eines gut zu befahrenden natürlichen Seehafens eingebracht hat (G. KORTUM, 1983). Lediglich im Bereich der Hörn sind die Maximaltiefen geringer (8 – 10 m). Einen stark gerafften Längsschnitt durch die gesamte Rinne der Kieler Förde von der Hörn bis in Höhe Bülk zeigt die Wiedergabe eines Origionalechogrammes in Verkleinerung (Abb. 8).

Die zentrale Rinne weist generell gesehen von Süden nach Norden zunehmende Breiten auf. Während sie in der Innenförde bis in Höhe Holtenauer Schleuse für die 14 m-Tiefenzone eine Breite von nur 150 m bis 250 m besitzt, verbreitert sie sich vom Bereich der Holtenauer Reede an erheblich, und zwar in der Friedrichsorter Enge auf 700 m und in der Außenförde auf über 2.000 m.

Von der Mittelrinne aus steigt der Boden zu den Seiten hin im allgemeinen auffallend gleichmäßig bis zur 12 m-Linie an; zwischen der 12 m- und der 5 m-Isobathe existiert zumeist eine stärkere Bodenneigung (8° – 10°). Dies ist vor allem am Westrand der Außenförde, zu beiden Seiten der Friedrichsorter Enge und im Bereich der südlichen Innenförde der Fall; die künstlich geschaffenen Dockmulden, bei denen randliche Gefälle von über 20° auftreten, können hier außer Betracht bleiben. Auffallend sind die Neigungsunterschiede zwischen West- und Ostseite der Kieler Außenförde nördlich der Linie Strander Grasberg – Ehrenmal Laboe (Vgl. Echogramm Abb. 10d).

Die zentrale Längsrinne der Förde wird nur an zwei Stellen durch schmale (etwa 100 m breite) Erhebungen mit 1 – 2 m relativer Höhe unterbrochen, und zwar westlich des Kitzeberger Anlegers und östlich des Holtenauer Tonnenhofes. Weitere markante Schwellen sind morphologisch nicht erkennbar.

Eine natürliche Muldenregion stellt die regional eng begrenzte Wittlingkuhle unmittelbar vor der sog. „Universitätsbrücke" nördlich vom Oslokai dar. Bei einer Längserstreckung von ca. 300 m und einer Breite von ca. 100 m beträgt ihre größte Tiefe heute noch ca. 22 m.

Um die Mitte des vergangenen Jahrhunderts diente sie dem Konstrukteur Wilhelm Bauer als Versuchsbecken für seine Experimente mit dem ersten Tauchboot, dem „Brandtaucher". Eine weitere tiefe Mulde (mit über 22 m Tiefe) befindet sich vor den HDW-Dockanlagen auf der Gaardener Seite der südlichen Innenförde Diese künstlich ausgebaggerte Vertiefung dient vor allem dem Absenken von Schwimmdocks für Seeschiffe und für Tauchversuche.

Flachbereiche und Sandbänke mit Tiefen von unter 6 m erstrecken sich in großer Ausdehnung nur in den Randgebieten der Außenförde, und zwar vor allem beim Strander Grasberg und am Kleverberg östlich Bülk (Breite max. 1.600 m) sowie im Bereich der Sandbänke vor Laboe und Stein (Breite max. 2.300 m). Im übrigen weisen sämtliche ufernahen submarinen Bereiche der Kieler Außenförde flache sandige Areale mit Tiefen bis zu 6 m auf, bei Mindestbreiten von 200 m.

Im Bereich der Innenförde ist eine zusammenhängende ufernahe Flachzone auf der Ostseite vorhanden. Sie reicht von der Friedrichsorter Enge bis zu den Werftanlagen der HDW-Dietrichsdorf. Ihre Maximalbreite mit 2 250 m liegt in der Heikendorfer Bucht. Vor dem Westufer der Innenförde ist die 6 m-Flachwasserzone nur von untergeordneter Bedeutung und z.T. durch Baggerarbeiten künstlich verändert oder völlig beseitigt (z.B. Marinehäfen). Nur südlich des Tirpitzhafens ist vor dem Hindenburgufer eine breite Sandbank vorhanden, die bei extremem Niedrigwasser teilweise trocken fällt.

Die durch Tonnen markierten Flachwasserbereiche der Förde stellen für die Schiffahrt grundsätzlich, vor allem aber in Gebieten mit steinigem Grund, eine Gefahrenquelle dar. Dies gilt insbesondere für die randlichen Bereiche der Außenförde (Kleverberg im Westen, Sandbänke vor Laboe und Stein mit Verklappungsgebiet nördlich von Stein im Osten), wo der Boden der Förde von der Fahrwasserrinne bis zur Gefahrenzone in Distanzen von 100 bis 200 m unvermittelt steil ansteigt.

Tab. 3: Sedimente der Kieler Förde

Station Nr.	Teufe	Dichte gcm^{-3}	C_{org} (%)	Co (%)	Sand (%)	Silt (%)	Ton (%)	S (%)	N	E	WT
4	0–26	2,32	5,87	0,52	22,3	45,88	31,82	1,69	54°21'36"	10°09'53"	10
	26–36	2,33	6,85	1,07	26,8	36,28	36,92	2,25	54°21'36"	10°09'53"	10
6	0–11	2,45	4,70	0,47	17,5	44,1	38,4	1,35	54°23'03"	10°10'53"	14
	11–22	2,44	4,74	0,41	20,13	50,27	29,6	1,57	54°23'03"	10°10'53"	14
10	0–12	2,52	3,10	0,63	28,2	47,5	24,3	0,78	54°26'22"	10°14'00"	15
	12–25	2,48	2,76	0,06	23,1	43,68	33,23	0,94	54°26'22"	10°14'00"	15
14	0–12	2,43	3,13	0,14	25,91	47,19	26,9	1,22	54°28'01"	10°15'13"	18
	12–24	2,39	3,80	0,05	20,45	50,25	29,3	1,71	54°28'01"	10°15'13"	18
	24–36	2,39	4,39	0,06	23,14	54,46	22,4	1,80	54°28'01"	10°15'13"	18
TYP A	∅	2,42	4,4	0,4	23	47	30	1,48			
(0–2,5V)	MAX	2,52	6,85	1,07	28,2	54,5	38,4	2,25			
	MIN	2,32	2,76	0,05	17,5	36,28	22,4	0,78			
3	0–12	2,37	5,23	0,53	30,33	41,07	28,6	1,63	54°21'28"	10°09'30"	11
	12–24	2,38	5,88	0,72	23,91	40,29	35,8	2,10	54°21'28"	10°09'30"	11
	24–37	2,43	4,31	0,39	35,69	35,11	29,2	1,48	54°21'28"	10°09'30"	11
5	0–10	2,32	4,75	0,30	22,56	46,94	30,5	1,56	54°22'36"	10°11'14"	10
	10–21	2,37	5,03	0,17	34,92	42,28	22,8	1,72	54°22'36"	10°11'14"	10
13	0–14	2,52	2,82	0,17	29,88	40,82	29,3	0,83	54°27'50"	10°16'22"	16
15	0–14	2,51	3,19	0,45	35,26	30,54	34,2	0,76	54°26'24"	10°12'09"	16
	14–24	2,38	3,54	0,10	24,32	45,78	29,9	1,34	54°26'24"	10°12'09"	16
16	0–15	2,56	2,62	0,89	25,76	44,34	29,9	0,69	54°26'08"	10°11'27"	16
	15–30	2,46	3,26	0,87	25,52	44,68	29,8	0,98	54°26'08"	10°11'27"	16
TYP B	∅	2,43	4,1	0,5	29	41	30	1,31			
(2,5–5,0 V)	MAX	2,55	5,88	0,89	35,69	46,94	35,8	2,10			
	MIN	2,31	2,62	0,10	22,56	30,54	22,8	0,69			

Station Nr.	Teufe	Dichte gcm^{-3}	C_{org} (%)	Co (%)	Sand (%)	Silt (%)	Ton (%)	S (%)	N	E	WT
2	0–19	2,45	3,79	0,69	44,10	33,4	22,5	1,28	54°20'32"	10°10'12"	12
8	0–15	2,49	3,52	0,38	44,8	24,1	31,1	0,99	54°24'12"	10°12'06"	15
	15–30	2,50	3,82	0,15	45,91	25,99	28,1	1,35	54°24'12"	10°12'06"	15
	30–45	2,55	2,18	0,04	43,20	34,0	22,8	0,82	54°24'12"	10°12'06"	15
11	0–20	2,47	3,94	0,47	37,82	32,88	29,3	1,02	54°26'28"	10°14'28"	13
TYP C	∅	2,49	3,4	0,4	43	30	27	1,09			
(5,0–7,5 V)	MAX	2,55	3,94	0,69	45,91	34,0	31,1	1,35			
	MIN	2,45	2,18	0,04	43,20	24,1	22,5	0,82			
1	0–15	2,33	3,62	0,48	51,96	26,7	21,34	1,52	54°19'57"	10°09'45"	15
	15–30	2,61	0,77	1,85	42,24	27,06	30,7	1,42			
7	0–18	2,55	2,47	0,22	48,36	23,44	28,2	0,68	54°23'52"	10°11'58"	13
9	0–15	2,57	1,69	0,84	48,76	27,84	23,4	0,49	54°25'11"	10°13'05"	12
12	0–20	2,57	1,63	0,64	50,37	29,43	20,2	0,41	54°27'08"	10°16'13"	15
TYP D	∅	2,53	2,0	0,8	48	27	25	0,90			
(7,5–10 V)	MAX	2,61	3,62	1,85	52,96	29,43	30,07	1,52			
	MIN	2,33	0,77	0,22	42,24	23,44	20,2	0,41			

4. Sedimente

4.1 Oberflächen-Sedimenttypen

Die im Meßbereich zwischen 0 und 10 Volt liegenden Echostärkenwerte wurden empirisch in vier Gruppen von je 2,5 V unterteilt und die flächenhafte Verbreitung dieser Gruppen auskartiert (Abb. 6). Eine solche Unterteilung hat sich bei ähnlichen Kartierungsarbeiten in Ost- und Nordsee bereits als vorteilhaft erwiesen. Eine Untergliederung in kleinere Spannungsintervalle ist wegen der Heterogenität der Sedimente im Untersuchungsgebiet (vergl. Tab. 3) und der dadurch schwankenden Echostärken (± 1 V) wenig sinnvoll.

Aus den Verbreitungsgebieten der vier Echostärkengruppen wurden mit einem Schwerelot („Foram. corer" in E. SEIBOLD et al., 1971, Tab. 1) insgesamt 16 kurze Kerne entnommen und sedimentologisch untersucht. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 zusammengefaßt. Die Sedimente dieser vier Gruppen (A – D) unterscheiden sich vor allem in ihrer Korngrößenzusammensetzung, was in dem Korngrößen-Klassifizierungsdiagramm nach F.P. SHEPARD, 1954 (Abb. 15) deutlich zum Ausdruck kommt. Während der Tongehalt (Fraktion < 0,002 mm) nur ganz geringfügig (30 auf 25 Gew.-%) von A nach D abnimmt, zeigt der Sandgehalt (Fraktion 0,063 – 2,00 mm) einen merklichen Anstieg von 23 auf 48 Gew.-%. Dagegen zeigt der Siltgehalt (0,002 – 0,063 mm) eine ebenso merkliche Abnahme von 47 auf 27 Gew.-%.

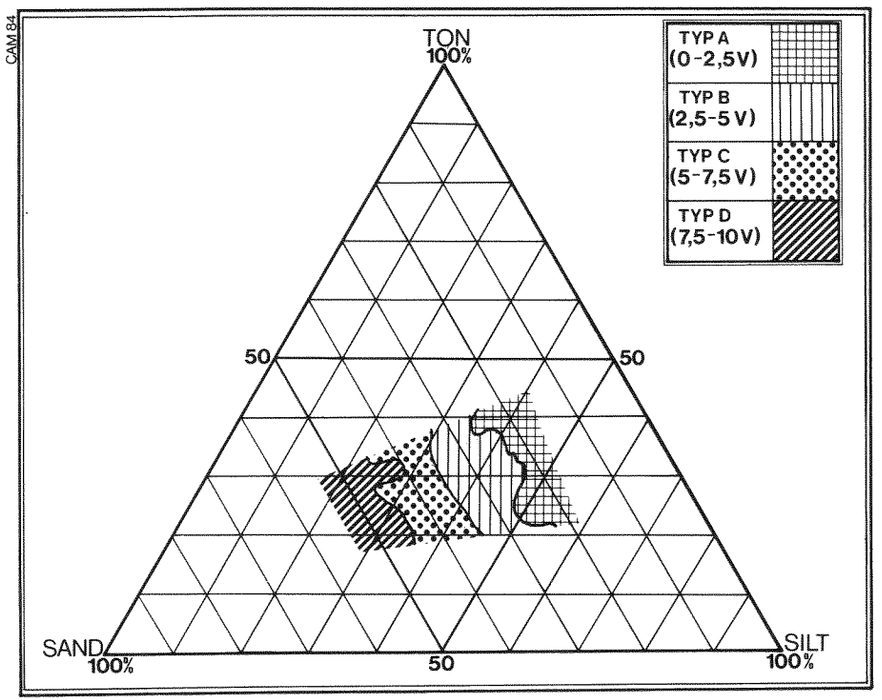


Abb. 15: Korngrößenzusammensetzung der Sedimenttypen A – D (nach F.P. SHEPARD, 1954)

Entsprechend dem zunehmenden Sandgehalt von A nach D zeigt auch das spezifische Gewicht des trockenen Sediments eine Zunahme von 2,42 auf 2,53 gcm^{-3}. Eine ebenfalls zunehmende Tendenz ist beim karbonatisch gebundenen und hier als CO umgerechneten Kohlenstoffgehalt erkennbar (0,4 – 0,8 %).

Dagegen nimmt der Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) von 4,4 auf 2,2 % und der Gesamtschwefelgehalt (S) des Sediments von 1,48 auf 0,9 % in der Reihenfolge von A nach D ab.

Obwohl an den hier untersuchten Kernen selbst keine Porositätsbestimmungen vorgenommen worden sind, kann aufgrund von Untersuchungen in der Kieler Bucht (F.-C. KÖGLER, 1967) anhand von Sedimenten vergleichbarer Korngrößenzusammensetzung eine von A nach D abnehmende Porosität (80 auf 50 %) gefolgert werden.

Ein Vergleich zwischen Korngröße und Echostärke (Abb. 16) zeigt deutlich, daß sich Sandgehalt und Echostärke direkt proportional zueinander verhalten, Silt- und

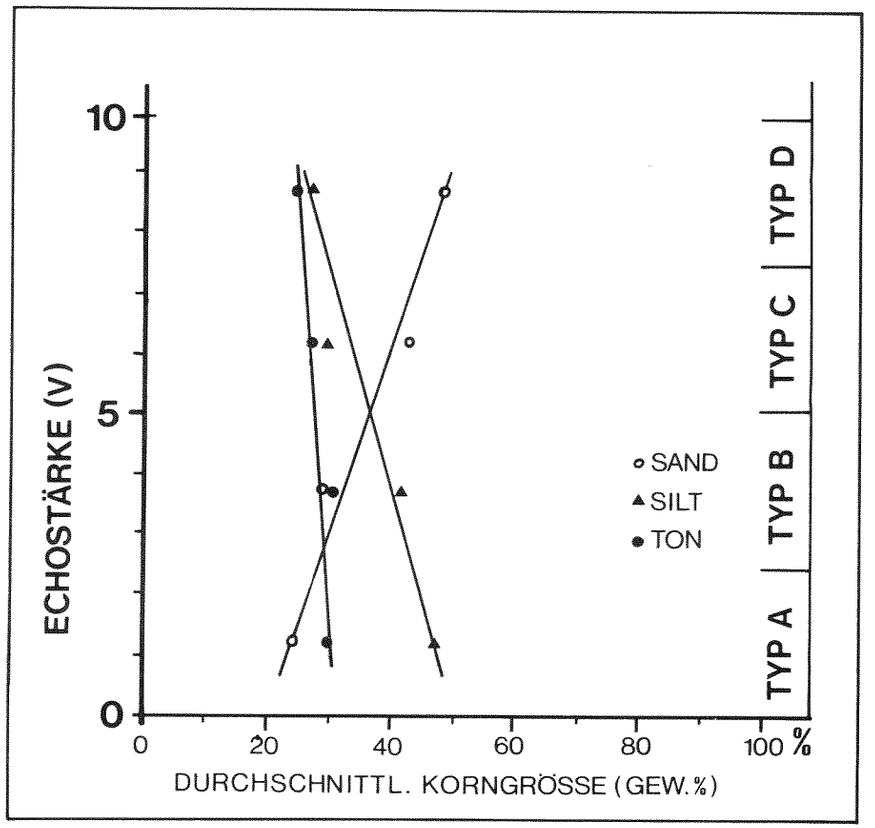


Abb. 16: Abhängigkeit der Echostärke von der Korngrößenfraktion

Tongehalt jedoch umgekehrt proportional. Dieser Befund deckt sich mit den von R. DIETRICH (1976) an Kernen der Kieler Bucht gefundenen Beziehungen zwischen sedimentphysikalischen Parametern und Echostärke (Abb. 12).

Aufgrund umfangreicher akustisch-sedimentologischer Untersuchungen in Ost- und Nordsee war es möglich, den Zusammenhang zwischen Echostärke und einem vom Ton bis zum Kies reichenden Korngrößenspektrum zu ermitteln. Die gefundenen Beziehungen sind, wie das Diagramm (Abb. 13) zeigt, doppeldeutig. Die Kurve weist eine maximale Echostärke im Feinsandbereich auf, die jedoch sowohl zum Kies (grobkörniger Ast) als auch zum Ton (feinkörniger Ast) hin stark abfällt. Eine exakte physikalische Erklärung hierfür steht gegenwärtig noch aus. Es ist jedoch anzunehmen, daß bei diesem breiten Korngrößenspektrum (0,002 bis > 2,00 mm) die unterschiedlichsten Formen der einzelnen Partikel, ihre gegenseitigen Kontakte, verschiedenen Anziehungskräfte, die daraus resultierende intergranulare Reibung, die elastischen und damit auch die akustischen Eigenschaften dieser normal konsolidierten, unverfestigten Sedimente beeinflussen (E.L. HAMILTON, 1972). Bei der Untersuchung von Scherwellengeschwindigkeiten und verschiedenen sedimentphysikalischen Parametern fand D.T. SMITH (1973) eine Korrelation zwischen Schermodul und Medianwert, der derjenigen zwischen Echostärke und Korngröße sehr ähnlich ist.

Die Echostärke in Verbindung mit dem dazugehörigen Sedimentechogramm-Ausschnitt ermöglicht jedoch eine eindeutige Aussage darüber, ob der Sediment-Typ zu dem grob- oder feinkörnigen Ast des Diagramms (Abb. 13) gehört. Nur im ersten Fall zeigt das Sedimentechogramm keine Eindringung in den Meeresboden. Demzufolge gehören die untersuchten Oberflächensedimente der Kieler Förde zu dem feinkörnigen Ast (Ton bis Feinsand).

Da auf den Sedimentechogrammen des Untersuchungsgebietes eine Untergliederung in spätglaziale und holozäne Sedimente nicht möglich ist, wird die gesamte, über dem Geschiebemergel lagernde Sedimentabfolge hier als „postglaziales Sediment" zusammengefaßt. Hierbei handelt es sich überwiegend um Aufarbeitungsprodukte pleistozänen Geschiebemergels, der als Kliff die Kieler Bucht und Kieler Förde umsäumt, oder auch mit unterschiedlicher Mächtigkeit unter dem Meeresboden vorkommt.

Der Geschiebemergel mit seinem breiten, von Blöcken bis zur Tonfraktion reichenden Korngrößenspektrum wird vor allem durch Wellentätigkeit erodiert. Die einzelnen Komponenten werden dann, zusätzlich auch durch Strömungen, entsprechend ihrem hydraulischen Transportverhalten umgelagert. Darauf und auf die geologisch-hydrographischen Bedingungen soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese Fragen für die benachbarte Kieler Bucht von E. SEIBOLD et al. (1971) ausführlich behandelt worden sind.

Die gegenüber der Wassertiefe asymmetrische Sedimentverteilung in der Außenförde (Abb. 6) ist auf die unterschiedliche Exposition beider Ufer gegenüber den vorherrschenden hydrographischen Verhältnissen (Wellentätigkeit, Strömungen) zurückzuführen. Nicht die häufiger auftretenden Westwinde, sondern die Ostwinde mit ihrem längeren Anlaufweg bestimmen hier das Geschehen.

Östlich der 10 m-Tiefenlinie, in flacheren Wassertiefen, treten vor allem Sande und gröberes Material auf (E. SEIBOLD et al., 1971, Abb. 6). Nach Westen hin fällt

der Osthang relativ flach bis zum Tiefsten (16 m) ab. Der Sedimenttyp D tritt hier bis etwa 14 m Wassertiefe auf. Daran schließen sich streifenförmig die Sedimenttypen C bis A (abnehmender Sandgehalt) an. Auf dem Westufer tritt der Sedimenttyp B bis etwa zur 10 m-Tiefenlinie auf. Alle anderen Sedimenttypen liegen im flacheren, nicht mehr untersuchten Tiefenbereich. Mit zunehmender Verengung der Außenförde nach SSW, zur Friedrichsorter Enge, überwiegen die sandreicheren Sedimenttypen C und D. Die Ursache dafür dürfte in der „Trichterwirkung" dieser Enge (Strömungen und Schiffsbetrieb) zu suchen sein.

In der Innenförde (Abb. 6) bei maximalen Wassertiefen von 16,5 m tritt der Sedimenttyp A und B nur nördlich der Schwentinemündung und dann vor allem randlich in Gebieten mit geringer Wasserbewegung auf. Den Sedimenttyp C gibt es hier unterhalb der 10 m-Tiefenlinie nur im Osten. Nach Süden in Richtung Hörn tritt nur noch C und schließlich Sedimenttyp D auf.

4.2 Mächtigkeit der postglazialen Sedimente

Wie die Untersuchungen von E. TAPFER (1940) ergeben haben, gelangten in der vorwiegend durch weichseleiszeitliche Gletscher geprägten Kieler Förde im Spätglazial verschiedenartige limnische (Seekreide, Tone, Torfe) und im Holozän marin-brackische Sedimente (Muschelschill, Schlick, Sande) zur Ablagerung. Ein die Torfe überlagernder Horizont marinen Molluskenschills und der Beginn des Pinus-Maximums bilden nach TAPFER die Basis des Holozäns.

Detailliertere sedimentologische Untersuchungen in Verbindung mit ^{14}C-Altersbestimmungen, mit palynologischen und Diatomeenuntersuchungen an 12 langen Schwerelot- und Vibratorkernen werden gegenwärtig von L. SIMANOWSKI (1985) im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt. Aus diesem Grund braucht hier auf die Sedimente und Fragen des Meeresspiegelanstiegs nicht weiter eingegangen werden. Es sollen lediglich die Ergebnisse der akustogeologischen Kartierung behandelt werden (Abb. 7). Dabei ist jedoch unbedingt zu berücksichtigen, daß der Meeresboden der gesamten Kieler Innen- und Außenförde durch anthropogene Einflüsse (Wasserbauvorhaben, Schiffsbetrieb, Kriegseinwirkungen) mehr oder weniger stark beeinträchtigt worden ist.

Der Geschiebemergel, der in Wassertiefen von mehr als 10 m von jüngeren Sedimenten überlagert wird, tritt in den Sedimentechogrammen als markanter Reflektor in Erscheinung. Sobald jedoch die Mächtigkeit des holozänen, marin-brackischen Schlicks (entspricht dem Oberflächen-Sedimenttyp A) 4 bis 6 m überschreitet, tritt der sogenannte „Becken-Effekt" auf (M. WHITICAR (1978)). Bei diesem „Becken-Effekt" werden die Schallimpulse an Methangasbläschen im Sediment diffus reflektiert und so am weiteren Eindringen in das Sediment gehindert. Frühere Untersuchungen haben ergeben, daß dieses Phänomen sowohl in der Kieler Bucht (K. HINZ et al., 1971) als auch im Bornholm-Becken bei Schlickmächtigkeiten von 6 – 12 m und nur im Bereich von größeren rinnen- oder beckenförmigen Eintiefungen in den Geschiebemergeln auftritt. In der Kieler Förde tritt der „Becken-Effekt" jedoch schon bei Schlickmächtigkeiten von 4 bis 6 m auf. Auch hier können größere Eintiefungen in den Geschiebemergel angenommen werden.

Von der Hörn bis zu den Kanalschleusen sind die „postglazialen Sedimente" geringmächtig (< 2 m) und nur in einem schmalen (200 m), von der Schwentinemündung zu den Kanalschleusen verlaufenden Streifen, treten Mächtigkeiten zwischen 2 und 4 m auf. Hierbei dürfte es sich um einen alten, zusedimentierten Schwentine-Flußlauf, der nach Norden in tiefer gelegene Gebiete hin entwässert hat, handeln.

Von den Kanalschleusen nach NE, zur Friedrichsorter Enge hin, werden die postglazialen Sedimente mächtiger als 4 m. Die tatsächliche Mächtigkeit in diesem ca. 800 m breiten Streifen ist wegen des „Becken-Effekts" nicht feststellbar. Dasselbe gilt auch für das Verbreitungsgebiet der mehr als 4 – 6 m mächtigen „postglazialen Weichsedimente," das von der Friedrichsorter Enge nach Norden bis auf die Höhe der Strander Bucht und von dort mit NE-Richtung in die Kieler Bucht verläuft.

5. Gesamtüberblick

Die Kieler Förde stellt eine langgestreckte rinnenförmige Erweiterung der Kieler Bucht in südlicher Richtung dar. Sie erstreckt sich über eine Distanz von ca. 19 km von etwa 54°27, 4'N bis 54°18,7'N. Ihre primäre Bodengestalt erhielt sie während der letzten beiden Eiszeiten. Ihre heutige Form ist einerseits durch postglaziale Sedimentfüllungen bedingt, andererseits jedoch durch mannigfaltige anthropogene Einflüsse, durch die vor allem während der letzten 130 Jahre an vielen Stellen die Bodengestalt und die Uferzonen total verändert wurden. Dies zeigt ein Vergleich von Kartenausschnitten der Kieler Innenförde (Abb. 1). Daher sind morphologische Verbindungen zwischen submarinen Bodenformen und Oberflächenformen des umgebenden Festlandes nur selten erkennbar. Zur Erfassung der bathymetrischen, morphologischen und sedimentologischen Verhältnisse im Fördebereich wurden in den Jahren 1980 bis 1984 mit den vier Forschungsschiffen des Instituts für Meereskunde an der Universität Kiel zahlreiche Vermessungsfahrten und Sedimentprobenentnahmen durchgeführt (Geographische Lage der Vermessungs- und Sedimentechogramm-Kurse s. Abb. 2–4).

Die Untersuchungen brachten folgende Hauptergebnisse:

(1) Die Kieler Förde besitzt ein für Gletscherzungenbecken mit sub- und periglazialen Schmelzwasserrinnen typisches Relief (vgl. Tiefenkarte Abb. 5).

(2) Beide Teile der Förde (Innen- und Außenförde) werden von einer zentralen Längsrinne durchzogen, deren Relief hier im Längsprofil (Abb. 8) und in mehreren Querprofilen (Abb. 9) dargestellt ist. Die Wassertiefen im Bereich der Rinne nehmen von 8 m (Hörn) nach Norden hin nahezu kontinuierlich zu und betragen in Höhe der Gaardener Dockanlagen etwa 12 m, nördlich der Friedrichsorter Schwelle 14 m und bei Tonne 1 über 18 m.

(3) Die topographischen Verhältnisse im Bereich von Innen- und Außenförde sind in vier Profilserien (Abb. 10 a-d) wiedergegeben. Hieraus ist zu erkennen, daß die Hangneigungen zu beiden Seiten der Rinne unterschiedlich sind. Sie erreichen an den Rändern der wenigen tiefen Einsenkungen (Wittlingkuhle, Bereich der Gaardener Schwimmdocks etc.) extreme Werte von ca. 20°. Im Bereich der Außenförde treten größere Neigungsunterschiede zwischen West- und Ostseite der Rinne auf. Hier liegen auch die größten, dem Ufer vorgelagerten Bereiche von Sandablagerungen mit Tiefen < 6 m.

(4) Die Sedimentlotregistrierungen (Beispiel s. Abb. 11) wurden ergänzt durch Echostärkenmessungen. Auf dieser Grundlage konnte eine Karte der Verbreitung der Oberflächensedimente der Kieler Förde erstellt werden (Abb. 6). Die hierfür relevanten Zusammenhänge zwischen Echostärke und sedimentphysikalischen Parametern wurden graphisch dargestellt (Abb. 12–14); eine Zuordnung der Sedimente zu vier Typen (Abb. 15) bildet die Basis für die Erstellung der o.a. Sedimentkarte.

(5) Die Sedimentechogramme zeigen, daß der Geschiebemergel bei Sedimentmächtigkeiten von bis zu 4 bis 6 m als markanter Reflektor in Erscheinung tritt; sobald jedoch der marin-brackige Schlick diese Mächtigkeiten überschreitet, tritt der sog. „Becken-Effekt" auf, der in diesen Bereichen keine exakten Angaben über die Schlickmächtigkeiten erlaubt. Dennoch wurde versucht, die Mächtigkeit der Oberflächensedimente so genau wie möglich zu kartieren (Abb. 7). Die 2 – 4 m mächtige Sedimentfüllung einer von der Schwentinemündung in Richtung Holtenauer Schleusen verlaufenden Rinne kann als Relikt eines ehemaligen Schwentine-Flußverlaufes angesehen werden.

6. Schlußbemerkung

Wie eingangs erwähnt, kann es sich bei dieser generellen Untersuchung über Bodengestalt und Sedimente der Kieler Förde nur um einen ersten Versuch handeln, die heterogenen Befunde über die beiden Fördeteile und ihre Einzelbereiche miteinander zu vergleichen. Daß die Darstellung – vor allem im Bezug auf die Mächtigkeit der postglazialen Sedimente – lückenhaft bleiben mußte, ließ sich leider nicht vermeiden.

Zur genauen sedimentologischen Untersuchung der Flachbereiche der Förde (< 10 m) standen keine geeigneten Hilfsmittel zur Verfügung, so daß diese Fördeteile einer späteren Bearbeitung vorbehalten bleiben müssen.

Abschließend sei den Kapitänen und Besatzungen der beteiligten Forschungsschiffe „Poseidon", „Alkor", „Littorina" und nicht zuletzt „Sagitta" ein besonderer Dank für ihre aktive Mitarbeit an diesem Projekt ausgesprochen. Vor allem Herrn Kapitän Manthe sei für seinen aktiven Einsatz auch unter manchmal sehr ungünstigen Wetterbedingungen gedankt.

Die Echolotungen an Bord sowie die bathymetrischen Auswertearbeiten an Land wurden unter Mitwirkung von Frau Dipl.-Oz. U. Fiegen und Frau Dipl.-Oz. C. Ketzler durchgeführt. Die Mächtigkeit der postglazialen Weichsedimente (Abb. 7/Außenförde) ist weitestgehend von Frau H. Kassens und Frau E. Vogelsang erstellt worden. Frau Dr. E. Futterer hat die Kerne mit dem „Foram.-Corer" gezielt entnommen und deren sedimentologische Bearbeitung durchgeführt. Die schwierigen EMG-Kalibrierungen wurden von Forschungstauchern des Geologischen Instituts vorgenommen.

Allen Beteiligten sei hier für ihre Mitarbeit herzlich gedankt.

Literaturverzeichnis

DEGN, Ch. und U. MUUSS (1965): Luftbildatlas Schleswig-Holstein. Bd. 1, Neumünster, 185 S.

DEGN, Ch. und U. MUUSS (1966): Topographischer Atlas Schleswig-Holstein. 3. Aufl. Neumünster, 226 S.

DIETRICH, R. (1976): Vergleich von sedimentphysikalischen Parametern und Echostärken in einem Gebiet der westlichen Kieler Bucht. Unveröfftl. Diplomarbeit am Fachbereich Mathematik-Naturwissenschaften der Christian-Albrechts-Universität in Kiel, 89 S.

DRENKELFORT, H. (1973): Ortung und Kommunikation. In: Meerestechnologie. Herausg. H. Victor, München, Thiemig-Taschenbücher, B 45, 296–328

ECKARDT, H. (1899): Alt-Kiel in Wort und Bild. Kiel

FRÄNZLE, O. (1983): Die Reliefentwicklung des Kieler Raumes. Kieler Geogr. Schr., **58**, 15–22

GRIPP, K. (1937): Die Oberflächengestalt Schleswig-Holsteins. Begleitworte zur Höhenschichtenkarte von C. Völsch. Karl Wachholz-Verl., Neumünster

GRIPP, K. (1958): Der Verlauf der rißzeitlichen Endmoränen in Schleswig-Holstein. Meyniana, **7**, 1–4

GRIPP, K. (1964): Erdgeschichte von Schleswig-Holstein. Karl Wachholz-Verl., Neumünster, 411 S.

GROSCHOPF, P. (1937): Diagenetische Beobachtungen an marinen glazialen Sedimenten der Kieler Förde. Geol. Meere u. Binnen-Gew. Bd. 1, 279–290

HAMILTON, E.L. (1972): Compressonal wave-attenuation in marine sediments. Geophysics, Vol. 37, No. 9, 620–646

HINSCH, W. (1979): Rinnen an der Basis des glaziären Pleistozäns in Schleswig-Holstein. In: Eiszeitalter und Gegenwart 29, S. 173–178

HINTZ, R.A. (1958): Die Strandwälle im Gebiet der Kolberger Heide und die Entstehung des Laboer Sandes. Meyniana, **6**, 127– 130

HINZ, K., F.-C. KÖGLER und E. SEIBOLD (1969): Reflexionsseismische Untersuchungen mit einer pneumatischen Schallquelle und einem Sedimentecholot in der westlichen Ostsee, Teil I, Meßmethoden, Instrumentarium, Interpretation. Meyniana, Bd. 19, Kiel, 91–102

HINZ, K., F.-C. KÖGLER, E. SEIBOLD und I. RICHTER (1971): Reflexionsseismische Untersuchungen mit einer pneumatischen Schallquelle und einem Sedimentecholot in der westlichen Ostsee, Teil II: Untersuchungsergebnisse und geologische Deutung. Meyniana, Bd. 21, Kiel, 17–24

HOLLER, P.R. (1981): Veränderung der sedimentphysikalischen Eigenschaften mit zunehmender Sedimentauflast in Tiefseesedimenten der westlichen Antarktis. – Dipl. Arb. Teil I, 86 S., Kiel

KÄNDLER, R. (1959): Hydrographische Beobachtungen in der Kieler Förde 1952–1957. Kieler Meeresforsch. 15

KLUG, H. (1969): Küstenlandschaften zwischen Kieler Förde und Fehmarn-Sund. In: Schleswig-Holstein, ein geogr.-landeskundl. Exk.-Führer, Kiel, 147–159

KÖGLER, F.-C. (1967); Geotechnical properties of recent marine sediments from the Arabian Sea and the Baltic Sea. In: Marine Geotechnique, Ed. A. Richards, University of Illinois Press, Urbana, 170–176

KÖGLER, F.-C. und B. LARSEN (1979): The West Bornholm Basin in the Baltic Sea: Geological structure and quaternary sediments. Boreas 8/79, 1–22

KORTUM, G. (1983): Die Kieler Innenförde im 19. und 20. Jahrhundert. Eine hafengeographische Skizze. Kieler Geogr. Schr., **58**, 99–121

KREY, J. (1942): Nährstoff- und Chlorophyll-Untersuchungen in der Kieler Förde 1939. Kieler Meeresforsch. 4

LIEDTKE, H. (1981): Glaziale Rinnen und glaziale Tiefrinnen. In: Bochumer Geogr. Arb. 40, S. 7–19

MUUSS, U. und M. PETERSEN (1971): Die Küsten Schleswig-Holsteins. Neumünster, 132 S.

PRANGE, W. (1978): Der letzte weichselzeitliche Gletschervorstoß in Schleswig-Holstein – das Gefüge überfahrener Schmelzwassersande und die Entstehung der Morphologie. Meyniana, Bd. 30, Kiel, 61–75

SEIBOLD, E., N. EXON, M. HARTMANN, F.-C. KÖGLER, H. KRUMM, G.F. LUTZE, R.S. NEWTON und F. WERNER (1971): Marine Geology of Kiel Bay. VIII. Int. Sed. Congr. Guidebook, Frankfurt a.M. (Kramer); 209–235

SHEPARD, F.P. (1954): Nomenclature on sand-silt-clay rations. Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 14, 151–158

SIMANOWSKI, L. (1985): Die postglazialen Sedimente der Kieler Förde. Unveröffentl. Diplomarbeit am Fachbereich Mathematik-Naturwissenschaften der Christian-Albrechts-Universität in Kiel, 94 S.

SCHWENKE, H. und J. ULRICH (1969): Die Kieler Bucht. Schleswig-Holstein; ein geogr. -landeskundl. Exk.-Führer, Kiel, 174–184

SMITH, D.T. (1973): Acoustic and mechanical loading of marine Sediments. – In: Marine Science 1: Physics of Sound in marine Sediments, 41–61. Plenum Press, New York and London, 567 S.

STRUCK, R. (1932): Die Oberflächenformen Schleswig-Holsteins und ihre Entstehung. Franz Westphal Verlag, Lübeck, 31 S.

TAPFER, E. (1940): Meeresgeschichte der Kieler und Lübecker Bucht im Postglazial. Geologie der Meere und Binnengewässer, Bd. 4, 113– 244

WEBER, C.A. und J. MESTORF (1904): Wohnstätten der älteren neolithischen Periode in der Kieler Förde. 43. Bericht des Museums vaterländischer Altertümer bei der Universität Kiel, Verl. Lipsius & Tischer, Kiel, 1–24

WHITICAR, M.J. (1978): Relationships of institial gases and fluids during early diagenesis in some marine sediments. – Diss. 152 S., Kiel

Anschriften der Verfasser

Dr. F.-C. Kögler
Geologisch-Paläontologisches Institut
der Universität Kiel
Olshausenstr. 40–60
D-2300 Kiel 1

Wiss. Dir. Dr. J. Ulrich
Institut für Meereskunde an der
Universität Kiel
Düsternbrooker Weg 20
D-2300 Kiel 1