Kuratorium für Forschung im Kösteningenieurwesen Hindenburgufer 247 24106 Kiel



BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFAHRT UND HYDROGRAPHIE M23 GEOLOGIE/GEOPHYSIK

Abschlußbericht

KFKI-Forschungsvorhaben "Materialinventur an der deutschen Nordseeküste"

Förderungsnummer: FKZ 03 KIS 306



Projektleitung: Dr. Klaus Figge

Wissenschaftliche Bearbeitung: Dr. Manfred Zeiler

Hamburg, 31. Dezember 1998

№33605 - dit.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung

1	Einführung		
2	Ziels	setzung	5
3	Mate	erial und Methoden	7
	3.1 3.2 3.3 3.4 3.5	Datengrundlage Positionierung und Lotung Reflexionsseismik Sedimentbeprobung Geostatistik	7 8 8 11 11
4	Ausv	vertung	12
	4.1 4.2 4.3	Positionsumwandlung und Tiefenbeschickung Korrelation von Reflexionsseismik und Bohrungen Geostatistische Auswertung	12 12 14
5	Erge	ebnisse	16
	5.1 5.2 5.3 5.4	Reflexionsseismische Profile und Bohrungen Mächtigkeitsverteilung der nordseezeitlichen Sande Volumenberechnung der nordseezeitlichen Sande Wiederholungsvermessung	16 21 25 25
6	Disk	ussion	29
	6.1 6.2	Geologische Verhältnisse Hinweise zur küstennahen Sedimentdynamik	29 31
7	Schlu	ußfolgerung und Ausblick	33
8	Liter	ratur	34
Dan	iksagung	g	37

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten KFKI-Forschungsvorhabens sollte vor der deutschen Nordseeküste das Volumen der Lockersedimente, die ständigen Umlagerungsprozessen am Meeresboden durch Seegang und Strömung unterworfen sind, ermittelt werden. Der Tiefenbereich erstreckt sich von der Niedrigwasserlinie außerhalb der Wattgebiete bis zur SKN -20 m-Isobathe. Die Basis der mobilen Lockersedimente wurde auf einem reflexionsseismischen Profilnetz mit einem Abstand von zwei Breiten- und drei Längenminuten hochauflösend erfasst und unter Verwendung von 31 neuen Vibrobohrungen sowie alter Bohrdaten auskartiert. Mit Hilfe geostatistischer Verfahren wurden die Mächtigkeiten auf ein 1 km-äquidistantes Raster extrapoliert und der Schätzfehler als zweifache Standardabweichung berechnet. Anschließend konnte das Volumen der mobilen, umlagerungsfähigen Lockersedimente unter Angabe des 95%-igen Vertrauensbereiches ermittelt werden.

Die Mächtigkeitsverteilung weist eine dreizonale, küstenparallele Gliederung auf. Zwischen Amrum und Wangerooge findet man zwischen der Niedrigwasserlinie und 10 m Wassertiefe (Zone 1) die größte Sedimentakkumulation mit Mächtigkeiten bis max. 10 ± 2.5 m. In Zone 2 (bis 15 m Wassertiefe) läßt sich mit Ausnahme der Helgoländer Bucht ein Streifen mit geringer Bedeckung von 0.4 bis 1.5 m ausgliedern, der auf die Dominanz erosiver Prozesse in dieser Tiefenzone hinweist. In Wassertiefen über 15 m können die Sedimentmächtigkeiten auf 2 bis 3 m zunehmen (Zone 3). Im schleswigholsteinischen Küstenvorfeld wird diese Gliederung von küstennormalen pränordseezeitlichen Rinnen unterbrochen, die ebenso wie die Amrumbank als Sedimentfänger für umlagerungsfähiges Material wirken.

Das Volumen der nordseezeitlichen Sedimente beträgt im Untersuchungsgebiet 18 ± 11 Mrd m³. Da das gesamte Küstengebiet nicht synoptisch vermessen werden konnte, ist das Ergebnis aufgrund ständiger Umlagerungsprozesse zwischen einzelnen Meßgebieten mit einem gewissen Fehler behaftet. Um diesen Fehler zu quantifizieren, wurde ein Gebiet westlich von Eiderstedt/Dithmarschen nach einem Jahr wiederholt reflexionsseismisch vermessen. Der Volumenvergleich beider Meßfahrten zeigt, daß Umlagerungsprozesse die Volumenberechnung nicht signifikant beeinflusst haben.

1 Einführung

Die Kenntnis der Sedimentdynamik vor der deutschen Nordseeküste ist von grundlegender Bedeutung im Zusammenhang mit Maßnahmen des Insel- und Küstenschutzes, küstenwasserbaulicher Tätigkeiten sowie der Beurteilung von Standsicherheiten maritimer Bauwerke und nachhaltiger meeresbergbaulicher Aktivitäten. Die Veränderungen des Meeresbodens resultieren aus dem Zusammenspiel von Sedimentverfügbarkeit und Energiespektrum des Transportmediums, d.h. es muß umlagerungsfähiges Lockersediment in ausreichender Menge und Zusammensetzung vorhanden sein, um unter entsprechenden hydrodynamischen Bedingungen morphologische Strukturen aufbauen zu können (BELDERSON et al. 1982). Dieses Formeninventar wird von Umlagerungsprozessen auf unterschiedlichen Zeitskalen gesteuert (ANTIA 1996; SWIFT et al. 1979). Numerische Sedimenttransportmodelle können derzeit die simulierte Morphodynamik bestenfalls zweidimensional an die natürlichen Veränderungen anpassen (DE VRIEND 1997; LI & AMOS 1995). In vielen Fällen werden aussagekräftige Prognosen dadurch limitiert, daß die Ausgangsmengen des umlagerungsfähigen Materials nicht bekannt sind.

Sedimentverteilungskarten der Deutschen Bucht beinhalten lediglich die Korngrößenzusammensetzung der oberen 10 Zentimeter (FIGGE 1981), die nur zum Teil ein Abbild der Sedimentumlagerung widerspiegeln und lokal den geologischen Aufbau des anstehenden transgredierten Untergrundes durchpausen. Aus diesem Grund ist eine dreidimensionale Darstellung der umlagerungsfähigen Lockersedimente Voraussetzung, um anhand ihrer Verbreitung und Mächtigkeiten über die entsprechende Hintergrundinformation für die dargelegte Problematik zu verfügen.

Auf der Basis reflexionsseimischer Profile und Kernbohrungen des Bundesamtes für Seeschiffahrt und Hydrographie (BSH) aus den Jahren 1975 bis 1995 (FIGGE, unveröff. Daten) sowie publizierten Ergebnissen aus küstennahen Teilgebieten (z.B. AHRENDT & TABAT 1994; STREIF 1990; KÖSTER 1979; LUDWIG & FIGGE 1979) wurde ein geologisches Modell des deutschen Küstenvorfeldes entwickelt (Abb. 1), auf das die Planung der Projektdurchführung beruhte. Es beschreibt einen unterschiedlichen Aufbau für beide Küstenabschnitte von Niedersachsen und Schleswig-Holstein. Zwischen Borkum und der Elbmündung steigt der pränordseezeitliche Untergrund relativ gleichmäßig zur Küste an und streicht auf den ostfriesischen Inseln an der Oberfläche aus. Darüber liegt eine nordseezeitliche Sandauflage mit teilweise mächtigen Sandrücken zwischen SKN -15 und -25 m, die in größeren Wassertiefen zu einer 1 bis 2 m mächtigen Sanddecke ausdünnt. Im Gegensatz dazu ist der pränordseezeitliche Untergrund zwischen der Elbmündung und Sylt wesentlich deutlicher strukturiert und nur von einer geringmächtigen, relativ strukturlosen Sandauflage bedeckt. Die auf der Basis dieser Sedimentverteilung abgeleitete paläogeographische Entwicklung postuliert eine erst spät überflutete Landoberfläche vor Schleswig-Holstein, die großflächig betrachtet heute noch überwiegend abrasiven Prozessen unterliegt. Dagegen stellt das niedersächsische Küstenvorfeld ein Akkumulationsgebiet dar, in dem das Sedimentangebot ausreicht, um signifikante morphologische Strukturen aufzubauen.

E





W

ı



Abb. 1: Geologisches Modell zum Aufbau des niedersächsichen und schleswigholsteinischen Küstenvorfeldes (ohne Maßstab).

2 Zielsetzur g

Das Forschungsvorhaben zielte auf eine Bestandsaufnahme der nordseezeitlichen Lockersedimente im deutschen Küstenvorfeld ab. Unter dem Begriff "nordseezeitliche Lockersedimente" werden in diesem Forschungsvorhaben die holozänen Meeressande einschließlich des Transgressionskonglomerats an ihrer Basis verstanden, die im Zuge des Meeresspiegelanstiegs durch Aufarbeitung des Untergrundes akkumuliert wurden und der rezenten Sediment- und Morphodynamik vor der Nordseeküste unterworfen sind. Der Feinkornanteil kann in diesen Sedimenten regional stark variieren und z.B. im Schlickgebiet südöstlich von Helgoland Gewichtsanteile bis zu 80% erreichen (FIGGE 1981). Im Liegenden der nordseezeitlichen Sedimente trifft man in einigen Bohrungen auf alte, holozäne Wattablagerungen, die aus einer Wechsellagerung von Schluff/Ton und Feinsand bestehen und hier in die pränordseezeitliche Phase gestellt werden.

Im einzelnen standen folgende Zielsetzungen im Vordergrund:

- Kartierung der Verteilung und Mächtigkeit der holozänen Meeressande sowie
- Quantifizierung ihres Volumens.

Das Untersuchungsgebiet umfaßt das Küstenvorfeld von Borkum bis Sylt (Abb. 2). Der Tiefenbereich erstreckt sich von der Niedrigwasserlinie außerhalb der Wattgebiete bis zur SKN -20 m-Isobathe ausgehend von der Annahme, daß innerhalb dieser Zone die größte Sedimentdynamik infolge physikalischer Prozesse stattfindet (FÜHRBÖTER 1979). Damit wird allerdings nicht ausgeschlossen, daß nennenswerte Umlagerungsprozesse auch in Bereichen tiefer als SKN -20 m stattfinden, die aber im Verhältnis vernachlässigt werden können.



- BSH Hamburg
- IfG Kiel (DFG-Projekt "Sandbewegung im deutschen Küstenraum")
- NLfB Hannover
- BAW Hamburg-Rissen, WSA Emden, WSA Wilhelmshaven, WSA Bremerhaven, NLÖ/FSK Norderney, StAIK Norden, ALR Husum, LANU S-H Flintbek

Seismogramme

-BSH Hamburg

Abb. 2: Untersuchungsgebiet mit Lage bereits vorhandener Seismogramme und Bohrungen.

3 Material und Methoden

Um Fehler durch morphodynamische Prozesse möglichst gering zu halten, sollte das gesamte Vorfeld der deutschen Nordseeküste betrachtet werden. Da eine synoptische Aufnahme aufgrund eingeschränkter Logistik nicht zu realisieren ist, und die Arbeiten auf See stark witterungsabhängig sind, wurde ein Teil der Vermessungkampagne als Auftragsarbeiten durch das Institut für Geowissenschaften (IfG) und das Forschungsund Technologiezentrum (FTZ) Westküste der Christian-Albrechts-Universität (CAU) zu Kiel wahrgenommen.

Die Durchführung des Vorhabens unterscheidet sich deutlich von der im Antrag skizzierten Vorgehensweise, da wegen guter Witterungsverhältnisse während der meisten Ausfahrten und des Einsatzes eines tiefgeschleppten Chirp Sonar-Systems, das weniger anfällig auf Seegang reagiert, ein verhältnismäßig enges Profilnetz vermessen werden konnte. Dadurch erübrigte sich der ursprüngliche Ansatz, repräsentative Gebiete auszuwählen und die Ergebnisse auf entsprechende Küstenabschnitte zu extrapolieren.

3.1 Datengrundlage

Für das Forschungsvorhaben konnte bei den zuständigen Ämtern und meereswissenschaftlichen Forschungsinstituten auf umfangreiches Datenmaterial in den Archiven zurückgegriffen werden. Größtenteils handelt es sich um Bohrkernbeschreibungen in unterschiedlicher Qualität. Ein Teil der Kernbohrungen konzentriert sich auf den unmittelbaren Strandbereich und die Fahrwasserrinnen (Abb. 2). Gerade diese sind aufgrund der Unzugänglichkeit des Vorstrandbereiches für die am BSH eingesetzten Meßverfahren unverzichtbar, um die Mächtigkeitsverhältnisse im Küstennahbereich (SKN 0 bis -10 m) abzuschätzen.

Am BSH existieren eine Reihe im Rahmen von Routine-Ausfahrten aufgenommener Seismogramme aus den Jahren 1975 bis 1995, von denen einige im Untersuchungsgebiet liegen (Abb. 2). In vielen Fällen ist jedoch eine mangelnde Qualität aufgrund schlechter Witterungsverhältnisse während der Vermessungfahrten oder meßtechnischer Einschränkungen älterer Systeme festzustellen. Daneben erreichte das eingesetzte Meßverfahren (Boomer) nicht die notwendige Auflösung in den oberen Bereichen des Meeresbodens, so daß die Neuaufnahme eines Profilnetzes im Küstenvorfeld erforderlich war.

Seismogramme lagen für das Seegebiet vor Sylt am IfG Kiel vor, die im Rahmen der Prospektion von Spülsand aufgenommen und für die Kartierung der vornordseezeitlichen Basis neu ausgewertet wurden.

Zusätzlich konnte auf Kartenmaterial zur Verteilung der Oberflächensedimente im Maßstab 1 : 250000 des Deutschen Hydrographischen Institutes (FIGGE 1981) und 1 : 100000 des Militärgeographischen Amtes zurückgegriffen werden. Daten zur Korngrößenverteilung von Oberflächensedimenten lagen abrufbereit in der Meeresumweltdatenbank (MUDAB) des Deutschen Ozeanographischen Datenzentrums (DOD) am BSH vor.

Vorhandene Bohrdaten und Seismogramme wurden bei der Kartierung der Basis der nordseezeitlichen Sande herangezogen, um die seismostratigraphischen Tiefenlagen zu überprüfen.

3.2 Positionierung und Lotung

Zur Ermittlung der geographischen Positionen (bezogen auf ED 50) wurde ein Differential GPS (Sercel NR51) im Real Time-Verfahren benutzt. Als Referenzstation dichte der Sender Helgoland. Generell wird der Positionsfehler mit zunehmender Entfernung von der Referenzstation größer. Entlang der deutschen Küste ist mit einer Fehlerbreite von 1 bis 3 m zu rechnen. Die Positionsdaten wurden von der Software des reflexionsseimischen BSH-Meßsystems automatisch hinsichtlich der Lage des Schleppfisches zur Position der Empfangsantenne korrigiert. Im Fall der CAU-Positionsdaten wurden die Korrekturen nachträglich durchgeführt. Für die Bestimmung der Lottiefe wurde das Vermessungslot des jeweiligen Forschungsschiffes eingesetzt.

3.3 Reflexionsseismik

Es wurde das einkanalige Chirp Sonar "X-Star" (EdgeTech) eingesetzt, um die ersten 10 m unterhalb des Meeresbodens hochauflösend (40 cm) zu erfassen. Bei einer Fahrt von 5 kn über Grund und von 8 Schußsignalen pro Sekunde wurde mit dem Chirp Sonar alle 30 cm ein vom Meeresboden reflektiertes Schallsignal aufgezeichnet. Von seiten der CAU kam ein Boomer-Schleppsystem (EG&G) in Verbindung mit einem Sonar Enhancement System (GeoAcoustics) zum Einsatz, das vor allem die Basis mächtiger küstennaher Sandkörper vor Schleswig-Holstein aufzeichnen sollte. Die Schußfolge wechselte zwischen 2 bis 3 Signalen pro Sekunde, so daß bei 4 kn Fahrt über Grund der Meeresboden etwa im Meterabstand vermessen wurde. Technische Daten und Konfigurationen beider Meßsysteme sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Seismogramme wurden auf Thermodruckern (EPC) ausgedruckt und gleichzeitig digital im SEG-Y-Format (BARRY et al. 1975) auf magnetoptischen Disketten (BSH) bzw. Exabyte-Bändern oder Cassetten (CAU) gespeichert. Die digital aufgezeichneten Rohdaten wurden teilweise einem Post-Processing unterzogen, das aus Seegangskorrektur (Jittering) und Tiefenverstärkung (Time Varied Gain, TVG) bestand.

Reflexionsseismische Untersuchungen geben den Aufbau des Meeresbodens nicht in wahren Tiefen wieder, sondern in Zweiwegelaufzeiten (Two Way Traveltimes, TWT). Diese wurden mit P-Geschwindigkeiten (v_p) von 1500 m/s in der Wassersäule (DRESEN et al. 1985) bzw. 1600 m/s in den Nordseesedimenten (MÖLLER 1984; SCHIRMER et al. 1979) in Tiefenmeter umgerechnet.

In der offenen Nordsee wird der erste markante Reflektor der Boomer-Seismogramme

generell als Grenze Holozän/Pleistozän definiert (FIGGE 1980). Diese Definition ist nicht konsequent auf die Verhältnisse im Küstenvorfeld zu übertragen, da dieser Bereich geologisch deutlich komplexer aufgebaut ist und vor allem das Auflösungsvermögen des Chirp Sonars weitere Reflektoren über der Holozän/Pleistozän-Grenze abbildet. Aus diesem Grund wird für die vorliegende Arbeit der Begriff "Basisreflektor" eingeführt, der die Basis der nordseezeitlichen Sedimente darstellt und in den Chirp-Seismogrammen nicht immer als markanter Reflektor zu verfolgen ist.

Chirp Sonar	"X-Star" Full Spectrum Sonar (EdgeTech)
Towfish	SB-0512
Pulse Type	frequency modulated (FM)
Pulse Length	20 ms
Bandwidth	2 - 10 kHz
Transmission Rate	8 pulses/s
Trigger In	internal
Trigger Out	5 V positive pulse
A/D Rate	0 m
A/D Sample Rate	32 kHz
Acoustic Power	c. 210 dB re 1 µPa peak at centre frequency of system
Resolution	c. 40 cm for North Sea surface sediments
Tow Height	c. 5 m below sea surface
Boomer System	"Uniboom" (EG&G)
Energy Source	Power Supply Model 232 (EG&G), Pulsar 2002 (Piano)
Sound Source	Model 230 (EG&G)
Pulse Length	0.2 ms (single pulse)
Frequency Spectrum	700 - 5000 Hz
Source Level	107 dB/µbar at 1 m at 300 J
Input Power	1 kJ/s maximum
Input Energy	300 J maximum
Repetition Rate	2 - 3 pulses/s
Receiver	Geopulse 5210A (ORE)
Resolution	c. 150 cm for North Sea surface sediments
Tow Height	at sea surface

 Tabelle 1:
 Technische Daten und Konfiguration der reflexionsseismischen Meßsysteme.

Das Profilraster konnte im Zuge von acht Ausfahrten vermessen werden (Abb. 3), die im Verlauf von 1½ Jahren (November 1996 bis Mai 1998) durchgeführt wurden. Die Vermessung eines Rasters bietet den großen Vorteil, daß an den Schnittpunkten die Tiefenlage der angerissenen Reflektoren überprüft werden kann. Der Rasterabstand wurde auf der Basis folgender Kriterien festlegt:

 das Profilraster mußte innerhalb der verfügbaren Schiffszeiten vermessen werden können und



Abb. 3: Aufgenommenes reflexionsseismisches Meßnetz und Lage der neuen Bohrungen.

der Rasterabstand mußte innerhalb der Reichweite einer geostatistischen Beeinflussung der Zufallsvariablen liegen, um zwischen den Profillinien intrapolieren zu können.

Dazu wurde im November 1996 ein Testgebiet vor der Küste Dithmarschen-Eiderstedt im Abstand von zwei Breiten- bzw. drei Längenminuten vermessen. Die anschließende Analyse ergab, daß dieser Abstand ausreichend war, um die im Projektziel beschriebenen Aufgabe lösen zu können.

3.4 Sedimentbeprobung

Nach einer ersten Auswertung der reflexionsseimischen Profile an Bord wurden vom BSH 19 Kernbohrungen mit einem 6 m langen Vibrocorer (Schmidt) entnommen. In der Mehrzahl der Bohrungen war ein Kerngewinn von über 5 m zu verzeichnen. Der Durchmesser der Sedimentkerne betrug 100 mm. Nach der makroskopischen Beschreibung wurde eine Kernhälfte photographiert und anschließend beprobt. Die CAU setzte während ihrer Ausfahrten einen 3 bzw. 5 m langen Vibrocorer (Hydrowerkstätten) ein und konnte 12 Bohrungen niederbringen. Der maximale Kerngewinn lag bei rund 2.5 m. Die Sedimentkerne wurden teilweise an Bord geöffnet. Die Kernbeschreibung und Beprobung erfolgte am FTZ in Büsum und am IfG in Kiel.

3.5 Geostatistik

Die hohe Datendichte auf den reflexionsseimischen Profilspuren, d.h. alle 200 bis 300 m ein Datenpunkt, und die bestehenden Datenlücken zwischen den einzelnen Profilen bis zu ca. 4 km erfordern hinsichtlich der Extrapolation geschätzter Tiefen und Mächtigkeiten die Anwendung geeigneter geostatistischer Verfahren (Kriging-Verfahren). Für diese Zwecke wurden die Module des Programmpaketes "SAMSTAG" (Surface <u>Approximation and Mapping, Special Techniques for Applied Geosciences</u>) von SCHULZ-OHLBERG (1989) sowie ein Kokriging-Programm (SCHULZ-OHLBERG, pers. Mittlg.) herangezogen.

4 Auswertung

4.1 Positionsumwandlung und Tiefenbeschickung

Die geographischen Positionen wurden mithilfe des am BSH entwickelten FORTRAN-90 Programmes "N1KOOR" (KLÜGER 1994) in Gauß-Krüger-Koordinaten umgerechnet. Obwohl das westliche Untersuchungsgebiet im Grenzbereich zweier Meridianstreifen liegt, wurden für sämtliche Datensätze die Gauß-Krüger-Koordinaten auf den 3. Hauptmeridian (9° E) bezogen.

Die mit der astronomischen Tide und meteorologischen Einflüssen behafteten Lottiefen wurden aus Gründen der Beschickungsproblematik, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann, nach einem vereinfachten Verfahren auf das SKN-Niveau umgerechnet. Dazu wurden die Lottiefen unter Berücksichtigung der Morphologie an den Schnittpunkten des Profilrasters auf das entsprechende SKN-Niveau der neuesten BSH-Arbeitskarten aus den Jahren 1989 bis 1997 korrigiert. Zwischen den einzelnen Kreuzungspunkten wurde linear interpoliert. Mithilfe der BSH-Ringpolygone wurden die SKN-Tiefen anschließend auf Normal-Null (NN) umgerechnet. Beide Verfahren sind nicht unproblematisch, vor allem die Umrechnung auf NN, da die Ringpolygone vom Festland seewärts einfach extrapoliert wurden und nicht die Änderungen der Geoidoberfläche berücksichtigen. Die Umrechnung auf NN wurde für die Belange der Küsteningenieure durchgeführt.

Für die Ermittlung des Sedimentvolumens spielen die beide Problematiken keine Rolle, da hierfür die niveau-unabhängigen Differenzbeträge (= Mächtigkeiten) aus den Seismogrammen herangezogen wurden.

4.2 Korrelation von Reflexionsseismik und Bohrungen

Der Vorteil der Reflexionsseismik liegt in der Zeit- und Kostenersparnis bei großflächigen Vermessungen sowie der Aufzeichnung kontinuierlicher Seismogramme. Die Abbildung seismischer Einsätze (Reflektoren) in den Seismogrammen hängt von akustischen Impedanzunterschieden in den Sedimenten ab, die sich generell auf lithologische Unterschiede in der Korngrößenverteilung und Dichte des Sediments zurückführen lassen (THEILEN et al. 1994). Damit können die Ergebnisse aus Bohrungen über größere Entfernungen verfolgt und auskartiert werden.

In Abb. 4 werden die Tiefenlagen der Reflektoren zusammen mit dem lithologischen Schichtgrenzen in den Bohrungen dargestellt. Im Fall A liegt ein heterogener Schichtaufbau vor, bestehend aus nordseezeitlichen Sanden über einem festen Schluff/Ton. Darunter folgt eine mehrere cm-mächtige Torfschicht, die in eiszeitlichen Beckensand übergeht. Der scharfe Übergang von Sand und Schluff/Ton sowie der Torfhorizont können im Seismogramm als markante Reflektoren wiedergefunden werden. Ebenso kann im Fall eines homogeneren sedimentologischen Aufbau (B) die Basis der nordseezeitlichen Sande über pleistozänen Sanden auskartiert werden. Der "Ghost"-Reflektor





Α

feinsandiger Mittelsand NORDSEEZEITLICHER SAND

Schluff-Ton, fest ALTES WATT- oder LAGUNENSEDIMENT

Torf GRENZE HOLOZÄN-PLEISTOZÄN

mittelsandiger Feinsand EISZEITLICHER BECKENSAND



feinsandiger Mittelsand, schillführend NORDSEEZEITLICHER SAND

Feinsand, kalkfrei EISZEITLICHES SEDIMENT

Abb. 4: Korrelation von seismsichen Reflektoren mit lithologischen Grenzen in den Sedimentkernen. Die Originaltiefenangaben in den Seismogrammen beziehen sich auf die Tiefe unter dem Schleppfisch, der etwa 5 m unter der Wasseroberfläche gezogen wurde.

täuscht einen Reflektor vor, der in Wirklichkeit von Schiffsgeräuschen oder durch den Schiffskörper hervorgerufen wird.

Es kann damit sehr anschaulich gezeigt werden, daß die modernen reflexionsseismischen Verfahren in der Lage sind, die Basis der nordseezeitlichen Sedimente kontinuierlich in verhältnismäßig kurzer Zeit auszukartieren.

4.3 Geostatistische Auswertung

Geostatistische Verfahren finden im Bereich der Geowissenschaften immer größere Anwendung, wenn es darum geht, punktuell verteilte Daten in die Fläche zu übertragen. Die bekannteste geostatistische Methode ist "Kriging", mit der räumlich-abhängige Variablen optimal geschätzt werden können. Genaugenommen umschreibt der Begriff "Kriging" nicht ein einzelnes, sondern eine Vielzahl von Verfahren wie z.B. einfaches, gewöhnliches, universelles, diskunktives Kriging, etc. (JOURNEL & HUIJBRECHTS 1978), deren gemeinsames Ziel es ist,

- die unter bestimmten Voraussetzungen bestmögliche Abschätzung einer Variablen an Punkten, an denen diese Variable nicht bekannt ist, aus benachbarten Werten zu finden, und
- den Fehler, der bei dieser Approximation gemacht wird, abzuschätzen.

Praktisch unterteilt sich die Schätzung mit Kriging in drei Schritte:

- 1. Strukturanalyse
 - zur Berechnung eines experimentellen Variogrammes
- 2. Anpassung einer Modellfunktion an das entsprechende Variogramm
 - zur Ableitung des entsprechenden Autokovarianzmodells
- 3. Kriging
 - zur Berechnung der Schätzwerte, z.B. an den Knotenpunkten eines regelmäßigen Gitters
 - zur Berechnung der Schätzvarianz für jeden Schätzwert.

Eine ausführliche Beschreibung der Verfahren und Anwendung von Kriging findet z.B. bei WACKERNAGEL (1998) oder JOURNEL & HUIJBRECHTS (1978).

Kriging bietet sich als optimales lineares Schätzverfahren für die exakte Interpolation einer ortsabhängigen Variablen auf ein systematisches rechtwinkliges Datengitter an (DAVID 1977). Auf diese Weise kann die Variable z.B. in Form von Isolinien oder als Raster dargestellt werden. Im konkreten Fall wurde universelles Kriging eingesetzt, um die Wassertiefe auf ein 1 km-äquidistantes Gitter zu interpolieren.

Eine Erweiterung des Kriging-Konzeptes stellen Kokriging-Verfahren dar (JOURNEL & HUIJBRECHTS 1978). Mit diesen ist es möglich, eine Variable mit Hilfe einer anderen (oder mehrerer anderer) optimal zu schätzen. Voraussetzung dabei ist, daß eine Korrelation zwischen den Variablen beobachtet werden kann. Kokriging-Verfahren werden oftmals dann eingesetzt, wenn die Hauptvariable in einigen Bereichen des Untersuchungsgebietes nicht ausreichend vermessen werden konnte, Werte einer Nebenvariablen

im Bereich der Datenlücken jedoch vorliegen. In der vorliegenden Arbeit wurde die Korrelation zwischen der Mächtigkeit der nordseezeitlichen Sedimente (Hauptvariable) und der Wassertiefe (Nebenvariable) genutzt, um die Sedimentdicke mit universellem Kokriging unter Zuhilfenahme der Wassertiefe auch dort abzuschätzen, wo die Hauptvariable aus methodischen Gründen nicht auskartiert werden konnte.

Abb. 5 zeigt das Kreuzvariogramm der beiden Größen im Untersuchungsgebiet südlich des 54. Breitengrades. Die Genauigkeit der Schätzung konnte dadurch besonders im Küstennahbereich (SKN 0 bis -10 m) erhöht werden. Die Sedimentmächtigkeit wurde wie die Wassertiefe an den Knotenpunkten eines 1 km-äquidistanten Gitters berechnet. Da sich für jeden Schätzwert aus der minimierten Kokriging-Schätzvarianz die Standardabweichung ableiten läßt, kann zusätzlich der Schätzfehler und damit das 95%-ige Vertrauensintervall (zweifache Standardabweichung) der Gitterwerte angegeben werden. Durch Aufsummierung der Gitterzellen (1000 m × 1000 m × Sedimentmächtigkeit in m) erhält man auf bequeme Weise das Gesamtvolumen der nordseezeitlichen Sedimente im Untersuchungsgebiet.



Abb. 5: Experimentelles Kreuzvariogramm von Sedimentmächtigkeit und Wassertiefe für die Richtungen N-S und 73.5°E-103.5°W im Untersuchungsgebiet südlich des 54. Breitengrades und das angepaßte sphärische Variogramm-Modell mit den Parametern Reichweite a = 1400 m, Schwellenwert C = -1.0 m², Anisotropiewinkel α = 90° und Anisotropiefaktor r = 0.27.

5 Ergebnisse

5.1 Reflexionsseismische Profile und Bohrungen

Im folgenden werden repräsentative Seismogramme zusammen mit Bohrungen vorgestellt, um die Sedimentverteilung und den geologischen Aufbau des Küstenvorfeldes zu beschreiben. Die Auswertung der Seismogramme stellte die Eingangsdaten für die geostatistische Analyse bereit, auf deren Basis die Mächtigkeitsverteilung modelliert und die Volumenberechnung durchgeführt wurde.

Abb. 6 zeigt einen küstenparallelen Schnitt auf dem 8. östlichen Längengrad vor den nordfriesischen Inseln. Allgemein ist die nordseezeitliche Sedimentbedeckung zwischen 55°06' N und dem nördlichen Teil der Amrumbank geringmächtiger als im südlichen Anschlußgebiet. In westlicher Verlängerung von Listland (Sylt) wird eine Rinne im pränordseezeitlichen Untergrund angeschnitten, deren Basis als seismisch starker Einsatz in den Sedimentechogrammen gut zu verfolgen ist. Sie entspricht in der Bohrung VC 2019 einer markanten lithologischen und stratigraphischen Grenze (Torfschicht = Grenze Holozän/Pleistozän). Auffallend ist der konvexe Verlauf des Meeresbodens zwischen der Rinne und etwa 54°55' N. In diesem Bereich nimmt die Mächtigkeit des marinen Holozäns auf 2 bis 3 m zu. Von Norden kommend ist die Basis der nordseezeitlichen Sedimente im nördlichen Teil der Amrumbank dicht unter dem Meeresboden zu verfolgen. Südlich etwa 54°37' N läßt sich ein schwacher, stellenweise unterbrochener seismischer Einsatz verfolgen, der südlich der Amrumbank in einen starken Reflektor übergeht und anhand der Bohrung VC 2013 mit der Basis der Nordseesedimente korreliert werden kann.

In den beiden folgenden Abbildungen sind W-E verlaufende Seismogramme auf 54°56' N bzw. 54°44' N vor Sylt dargestellt, die wesentliche Merkmale dieses Küstenabschnitts beinhalten. In Profil 317 (Abb. 7) ist sehr anschaulich zu belegen, daß die Sedimentmächtigkeit ab etwa -15 m NN mit der Tiefe zunimmt. Landwärts bis -10 m NN ist eine äußerst geringe Sedimentdicke festzustellen, wobei der Basisreflektor weitgehend der Morphologie des heutigen Meeresbodens folgt. Bei 7°54' E deutet sich ein aufgesetzter Sandrücken an, der in Profil 303 (Abb. 8) wesentlich markanter ausgebildet ist. Oft ist zu beobachten, daß derartige morphologische Strukturen im Bereich von pränordseezeitlichen Rinnen auftreten, wo die Sedimentmächtigkeiten im Vergleich zum Umfeld zunehmen (s.a. Abb. 6).

Vor der niedersächsischen Küste dagegen kann in einem WSW-ENE verlaufenden Schnitt zwischen -15 und -20 m NN eine mächtige Sandbedeckung in Form von Zungenriffen (REINECK 1984) im westlichen Teil bzw. in Form von Sandzungen (REI-NECK 1984) östlich des Jade-Ästuars auskartiert werden (Abb. 9). Zwischen 7°03' und 7°33' E vor der Inselkette zwischen Juist und Langeoog dünnt die Sedimentdecke deutlich bis auf 40 cm aus. Auffallend ist die starke Gliederung des Meeresbodens, die fast durchgehend mit dem strukturierten pränordseezeitlichen Untergrund korrespondiert. Nach den Ergebnissen aus den Bohrungen VC 2009 bis 2012 liegen die nordseezeitlichen Sande, die in der Regel mit einem Transgressionskonglomerat einsetzen, über einer



Abb. 6: Küstenparalleler Schnitt (Seismogramme 258 und 312) mit den Bohrungen VC 2013 und VC 2019 vor der nordfriesischen Küste.



Abb. 7: Küstennormaler Schnitt (Seismogramm 317) mit Bohrungen VC 2022 und VC 2023 vor Sylt (Höhe Westerland). Legende siehe Abb. 9, Lageplan siehe Abb. 10.



54°43.982' N 07°57.896' E

7° E 8° E 9° E







Küstenparalleler Schnitt (Seismogramme 239 und 265) vor der niedersächsischen Küste. Abb. 9:





Feinsand, kalkfrei, geröllführend PLEISTOZÄN

5.00

Abb. 10: Küstennormaler Schnitt (Seismogramm 275) mit Bohrung VC 2010 vor Norderney (Westkopf). Legende siehe Abb. 11.

8° E

7° E

9° E



Mächtigkeitsverteilung der nordseezeitlichen Sedimente.

Wechsellage aus feinkörnigen Sedimenten. Eine Ausnahme stellt das Gebiet vor Norderney dar, wo unter einer geringmächtigen Feinsand-Schluff-Wechsellage pleistozäne Feinsande erbohrt wurden.

Ein N-S verlaufender Schnitt auf 7°09' E (Abb. 10) verdeutlicht, daß die Sedimentdecke aus Nordsanden in einer Wassertiefe von -10 bis -15 m NN auf ca. 40 cm ausdünnt und erst in größeren Tiefen (unter -15 m NN) über einer pränordseezeitlichen Kuppe (Basis eines Zungenriffs) auf 2 bis 3 m Mächtigkeit anschwillt. Ein tiefer gelegener Reflektor, der gut mit einer pleistozänen Feinsandlage aus der Bohrung VC 2010 in Einklang bringen ist, belegt, daß in diesem Küstenabschnitt unter einer dünnen Auflage aus nordseezeitlichen Mittelsanden pleistozäne Feinsande anstehen.

5.2 Mächtigkeitsverteilung der nordseezeitlichen Sande

Die Mächtigkeitsverteilung der nordseezeitlichen Sedimente ist in Abb. 11 für das deutsche Küstenvorfeld dargestellt. Die Farbskala gibt die Mächtigkeiten in Meter-Intervallen wieder. Die Isolinien repräsentieren die Wassertiefen in Meter auf NN bezogen. Zusätzlich ist das seismische Meßnetz dargestellt, auf dessen Basis die Mächtigkeitsverhältnisse mit Kokriging auf einem 1 km-äquidistanten Gitter interpoliert bzw. auf den landwärtigen Anschlußbereich bis zur Niedrigwasserlinie extrapoliert wurden. Bohrungen (blau) im Strand- und Vorstrandbereich wurden als Stützpunkte für die Extrapolation herangezogen.

Die großräumige Verteilung der nordseezeitlichen Sedimente läßt sich in drei küstenparallele Zonen gliedern (Abb. 12):



Abb. 12: Dreizonale, küstenparallele Gliederung des Küstenvorfeldes auf der Basis der Verteilung mobiler Lockersedimente.

- Zone 1: erstreckt sich im küstennahen Bereich zwischen Amrum und Wangerooge von der Niedrigwasserlinie (außerhalb der Wattgebiete) bis etwa -10 m NN. Hier treten die größten Mächtigkeiten (bis 10 m) an mobilem Lockersedimenten im gesamten Untersuchungsgebiet auf. Typisches morphologisches Element sind die langegestreckten Sandzungen im Sinne REINECKS (1984), die sich über den gesamten Tiefenbereich dieser Zone verfolgen lassen. Zwischen dem "Helgoländer Schlickgebiet" und Wangerooge geht Zone 1 fließend in die seewärts anschließende Zone 3 über (s.u.).
- Zone 2: reicht von seiner seewärtigen Grenze in ca. -15 m NN bis zur Niedrigwasserlinie vor Sylt und den ostfriesischen Inseln. Im Küstenvorfeld zwischen Amrum und Eiderstedt schließt sie landwärts in einer Wassertiefe von 10 m unmittelbar an Zone 1 an. Charakteristisch für diese Zone ist die dünne Sedimentbedeckung, die unter 1.5 m liegt und in Extremfällen bis auf 40 cm abnehmen kann. Dieses ausgeprägte Sedimentdefizit ist insbesondere im Vorstrandbereich einiger Inseln für eine negative Sandbilanz verwortlich.

Größere Mächtigkeiten im Raum Juist-Langeoog sind auf Verfüllungen pränordseezeitlicher Rinnen zurückzuführen.

Im schleswig-holsteinischen Küstenvorfeld unterbrechen W-E streichende, pränordseezeitlichen Rinnensysteme westlich Listland (Sylt), in Verlängerung von Norder- und Süderaue sowie der Eider diese geringmächtige Sedimentauflage. Die Rinne der Ureider endet ziemlich abrupt bei ca. 8°15' östlicher Breite in -15 m NN.

Zone 3: umfasst den Bereich zwischen -15 und -20 m NN. Hier akkumulieren nordseezeitliche Sedimente in 2 bis etwa 5 m mächtigen Sandrücken, wobei die Zungenriffe vor der niedersächsischen Küste und der südliche und mittlere Teil der Amrumbank vor Schleswig-Holstein die größten Mächtigkeiten aufweisen. Die Verhältnisse im schleswig-holsteinischen Küstenvorfeld verdeutlichen, daß sich seewärts eine geringmächtige (1 bis 1.5 m) Sedimentbedeckung anschließt. Reflexionsseimische Vermessungen von BSH-Routineuntersuchungen bestätigen diesen Trend für das seewärtige Anschlußgebiet.

Die Mächtigkeitsangaben sind in den nordfriesischen Seegaten zu groß, was auf Limitation der Kokriging-Abschätzung für den Küstennahbereich zurückzuführen ist. Trotz der morphologischen Vorgaben konnten das Kokriging-Verfahren die Mächtigkeiten nicht realistisch über die Wassertiefe abschätzen. Dies liegt darin begründet, daß die morphologischen Strukturen z.T. <1 km sind und deshalb nicht mehr aufgelöst werden können.

In Abb. 13 ist der Schätzfehler als zweifache Kokriging-Standardabweichung (95% Vertrauensintervall) der Sedimentmächtigkeit dargestellt. Auf den Profillinien bewegt sich der Fehler zwischen 0.5 bis 1 m, der auf maximal 1.5 m innerhalb des Meßnetzes

ansteigen kann. Eine Ausnahme stellen Abschnitte auf den Profilen dar, in denen der Basisreflektor nicht angerissen werden konnte. In diesem Bereichen liegt der Schätzfehler ebenso wie im küstennahen Anschlußgebiet bei 2.0 bis 2.5 m. Im Schlickgebiet südöstlich von Helgoland konnte der Basisreflektor infolge des Gaseffeffekts nicht auskartiert werden.

5.3 Volumenberechung der nordseezeitlichen Sande

Abb. 14 zeigt das Volumen der Teilgebiete und des gesamten deutschen Küstenvorfeldes zusammen mit den einzelnen Schätzfehlern. Volumen und Fehler wurden durch Addition der jeweiligen Mächtigkeiten bzw. der zweifachen Kokriging-Standardabweichung der Gitterzellen ermittelt. Von den Teilgebieten weist der Küstennahbereich (A) erwartungsgemäß das größte Volumen von 4 bis 14 Mrd m³ auf. Das mittlere Gesamtvolumen der nordseezeitlichen Sedimente beträgt 18 Mrd m³ im Untersuchungsgebiet und schwankt innerhalb des 95%-igen Vertrauensbereiches zwischen 7 bis 29 Mrd m³.



Abb. 14: Volumen und Schätzfehler (95% Vertrauensintervall) der nordseezeitlichen Sedimente.

5.4 Wiederholungsvermessung

Wegen der Morphodynamik tritt in der Mächtigkeitsverteilung ein Fehler auf, weil das gesamte Untersuchungsgebiet von Borkum bis Sylt nicht syoptisch bzw. innerhalb einer Vermessungskampagne aufgenommen werden kann. Um diesen Fehler zumindest in seiner Größenordnung abzuschätzen, wurden vier küstenparallele Profile im Seegebiet vor Eiderstedt/Dithmarschen im Mai 1998 reflexionsseismisch neu vermessen, um anhand der Änderungen in der Mächtigkeitsverteilung ein Maß für die Variabilität anzugeben. Die Auswahl des Gebietes mußte sich logistischen Rahmenbedinungen unterwerfen, d.h. der zur Verfügung stehenden Schiffszeit und dem Einsatzgebiet.

In Abb. 15 sind die Mächtigkeitsverhältnisse in diesem Gebiet für den Vermessungszeitraum November 1996/März1997 (rot) und Mai 1998 (grün) dargestellt. Die Differenzen aus beiden Aufnahmen (Abb. 16) verdeutlichen, daß größtenteils die Abweichungen im Bereich zwischen 0 und 1 m liegen, mit Ausnahme der Südgrenze, wo Unterschiede in der Sedimentmächtigkeit bis zu 2.5 m auftreten können. Dies erklärt sich durch Verlagerung der Sedimentkörper um 500 bis 750 m innerhalb eines Jahres, wie ein Vergleich in Abb. 15 verdeutlicht.

Die Volumenberechnung für den Vermessungszeitraum 1996/97 und 1998 ergibt 516.4 bzw. 519.0 Mio m³. Damit weicht die Differenz von 2.6 Mio m³ um weniger als 1% vom mittleren Volumen (517.7 Mio m³) ab. Es ist davon auszugehen, daß dieser Fehler im Bereich zwischen Dithmarscher Bucht und Jade-Ästuar aufgrund der höheren Sedimentdynamik größer ausfallen wird, aber sich immer noch signifikant unter dem Schätzfehler bewegt.





6 Diskussion

6.1 Geologische Verhältnisse

Schleswig-holsteinisches Küstenvorfeld

Im Küstenvorfeld Schleswig-Holsteins fällt die Basis der nordseezeitlichen Sande außer in den verfüllten pränordseezeitlichen Rinnen (s.u.) - mit der stratigraphischen Grenze Holozän/Pleistozän zusammen. Die Sedimentverteilung bestätigt im wesentlichen die Vorstellung über den geologischen Aufbau dieses Seegebietes (s. Abb. 1), das eine großräumige Verebnungsfläche darstellt, die überwiegend erosiven Prozessen unterworfen ist.

Es können drei große pleistozän-frühholozäne Rinnensyteme nachgewiesen werden, die in westlicher Richtung zum Elbe-Urstromtal entwässert haben und auf dem Festland als Abflußwege für Schmelzwässer weiterverfolgt werden können (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974):

Küstenvorfeld von Listland (Sylt): Eine markante Rinnenstruktur wird als westliche Fortsetzung der NNW-SSE verlaufenden Nordfriesischen Rinne von DITTMER (1951) gedeutet. Entgegen den Vorstellungen von KÖSTER (1979) muß die Schmelzwasserrinne erst nördlich der Insel nach Westen abbiegen, da in den Chirp-Seismogrammen keine Hinweise auf einen Durchbruch südlich des Salzsandes gefunden werden konnten.

 Küstenvorfeld zwischen Amrum und Süderoogsand:
 In Verlängerung der Norder- und Süderaue findet sich im Untergrund ein ausgeprägtes Rinnensystem, das ebenso wie das pleistozäne Eidertal von einer tieferen, präquartären Rinne (-100 bis -200 m NN) vorgezeichnet wird (HINSCH 1977).

Küstenvorfeld von Eiderstedt:

Das Tal der Ureider, das auf dem Festland der Nordmannrinne von DITTMER (1951) entspricht und in Höhe des Sperrwerks bei Tönning durch zahlreiche Bohrungen nachgewiesen ist (RUCK 1969), läßt sich als breite Schmelzwasserrinne bis etwa 8°15' östlicher Breite nachweisen. Westlich davon ist die Rinne bis zur Talsohle abrasiven Prozessen zum Opfer gefallen. Eine vermutete Landverbindung zwischen Eiderstedt und Helgoland (WOLDSTEDT & DUPHORN 1974) sowie der Verlauf einer Schmelzwasserrinne westlich von Norder- und Süderaue (Abb. 11) sprechen entgegen früherer Vorstellungen von TIETZE (1983) und FIGGE (1980) dafür, daß die Ureider südlich von Helgoland in ihren Verfluter mündete.

Die von KÖSTER (1979) gezeichnete geologische Situation, daß die gesamte Amrumbank als Rest einer pleistozänen Moräne aufzufassen ist, muß für den südlichen Bereich dieser Untiefe revidiert werden. Nach unseren reflexionsseismischen Ergebnissen sowie Bohrunterlagen des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLfB) besteht der südliche Teil aus einem mächtigen nordseezeitlichen Sandpaket. Nur im mittleren und nördlichen Bereich steht der pleistozäne Untergrund als subaquatische Hochlage (Untiefe) in Form von Moränenmaterial unter einer geringen Sandbedeckung an. Diese ungewöhnliche Sandakkumulation, die in dieser Form und Ausbildung nicht erwartet worden war, wirft Fragen zum küstennahen Sedimenttransport auf, die nachfolgend eingehender diskutiert werden sollen.

Niedersächsisches Küstenvorfeld

Die Verhältnisse vor der niedersächsischen Küste bestätigen ebenfalls die in Kap. 1 beschriebene modellhafte Vorstellung zum geologischen Aufbau dieses Küstenabschnitts, jedoch mit der Einschränkung, daß die nordseezeitlichen, mobilen Sande eine geringere Bedeckung aufweisen als ursprünglich angenommen.

In den Zungenriffen (engl.: shoreface-connected sand ridges) konnte nicht die erwartete Mächtigkeit von rund 6 m auskartiert werden, da nach den reflexionsseismischen und Bohrergebnissen nur die oberen 2 bis 3 m als nordseezeitliche Sande in dem hier definierten Sinn (umlagerungsfähiges Lockermaterial) angesprochen werden können. Ein Vibrokern (VC 2007), der im Kammbereich eines Zungenriffs vor Baltrum nieder-gebracht wurde, wies ab einer Teufe von 2.5 m Schluff- und Tonlagen auf, die gegen eine Sedimentation unter den hydrodynamischen Bedingungen der heutigen Nordsee sprechen.

Auf der Basis neuer Bohrergebnisse ist der zweiteilige, küstenferne Aufbau des Meeresbodens, nämlich nordseezeitliche Sande über pleistozänem Geschiebelehm, nicht auf das Küstenvorfeld übertragbar. In einer früheren Phase des Meeresspiegelanstiegs stellten sich zunächst in den Schmelzwasserrinnen, später dann im gesamten Küstenabschnitt Sedimentationsverhältnisse ein, die neben Torf überwiegend limnisch-brackische Schluffe bis Tone, z.T. in Wechsellagerung mit Feinsanden oder feinsandige Beckensedimente zur Abgelagerung brachten, über die im Verlauf des Holozäns die heutige Nordsee transgredierte (STREIF 1990). Aus diesem Grund entspricht die Basis der nordseezeitlichen Sedimente in diesem Seegebiet nicht der stratigraphischen Grenze Holozän/Pleistozän, so daß sie sich nicht in den Isolinienplan der Holozänbasis von STREIF (1990) einhängen läßt. Gleiches gilt für die pränordseezeitlichen Rinnenfüllungen vor Schleswig-Holstein.

Im westlichen Teil des niedersächsischen Küstenvorfeldes konnte in rund 6 m Teufe das Hangende des Geschiebelehms erbohrt werden (VC 2011). Die geographische Lage des Bohrpunktes legt nahe, daß es sich um die Fortsetzung des Oldenburgisch-Ostfriesischen Geestrückens handelt. Seewärts stehen in nordwestlicher Verlängerung im Bereich des Borkum-Riffgrundes Restsedimente dieses saalezeitlichen Geschiebemergels unmittelbar am Meeresboden an (LABAN 1995; BÄSEMANN 1979).

6.2 Hinweise zur küstennahen Sedimentdynamik

Die dreizonale, küstenparallele Gliederung der nordseezeitlichen Sedimentverteilung resultiert aus der komplexen Wechselwirkung küstennormaler und küstenparalleler Sedimentumlagerungen, die innerhalb der einzelnen Zonen unterschiedlichen Einfluß auf die Mächtigkeitsverhältnisse haben. Es lassen sich auf diese Weise Bereiche mit unterschiedlichen Akkumulationsraten und vermutlich auch Transportraten ausgrenzen.

- Zone 1: I. Wassertiefen zwischen 0 bis -10 m NN kommt es im Raum Amrum-Wangerooge trotz des abrasiven Einflusses von Brandung und Strömung zu einer Kompensation von Nettoverlusten durch eine küstenparallele Sedimentzufuhr. Das Sedimentangebot (positive Sedimentbilanz) reicht aus, um unter den hydrographischen Verhältnissen des Makrotidals signifikante morphologische Strukturen wie z.B. Sandzungen im Sinne REINECKS (1984) und Sandbänke (z.B. Vogelsand, Gelbsand, u.a.) aufzubauen, die einer ausgeprägten Morphodynamik unterliegen (HOFSTEDE 1997; GÖHREN 1971). Im Gebiet der Theknobssände ist eine nennenswerte Akkumulation von nordseezeitlichen Sanden zu beobachten, die aus einem südwärts gerichteten küstenparallelen Sedimenttransport resultiert. Das Material stammt aus der Erosion der Insel Sylt sowie der Umlagerung von vorgespülten Sanden.
- Zone 2: In einem Tiefenbereich bis -15 m NN dominieren mit Ausnahme der inneren Deutschen Bucht generell erosive Prozesse, die anzeigen, daß die Küstenerosion in diesem Bereich ansetzt. Die Tiefenlage der Abrasionsfläche wird von der Morphologie des Küstenvorfeldes bestimmt und liegt vor Schleswig-Holstein topographisch höher (bei etwa -10 m NN) als vor der niedersächsischen Küste (bis -15 m NN), die deutlich steiler abfällt.
- Zone 3: Unterhalb -15 m NN wird die Sedimentzufuhr durch einen küstennormalen Transport aus Zone 2 bzw. 1 erklärt. Dabei ist der Akkumulationsstreifen vor der niedersächsischen Küste an die älteren Kerne der Zungenriffe bzw. vor der schleswig-holsteinischen Küste an pränordzeitliche Rinnen im Untergrund gekoppelt (s.u.). Küstenparalleler Sedimenttransport kann in dieser Zone nicht ausgeschlossen werden, dürfte aber im Verhältnis eine untergeordnete Rolle hinsichtlich der Sedimentakkumulation spielen.
 Im Übergangsbereich von Zone 1 und 3 zwischen Elbe- und Jade-Ästuar kommen feinsandige, weiche Lockersedimente mit einem hohen Fein-

kommen feinsandige, weiche Lockersedimente mit einem hohen Feinkornanteil vor. Einschließlich der Nordergründe, die bis in 20 m Wassertiefe mächtige Sandzungen ausbilden, weist dieser Raum eine positive Sedimentbilanz auf. Damit treten Erosionsprozesse, die entlang der restliche Nordseeküste vor allem in einem Tiefenbereich bis 15 m wirksam sind, für dieses Gebiet in den Hintergrund. Die reflexionsseismischen Ergebnisse ergaben außerdem Hinweise darauf, daß pränordseezeitliche Rinnensysteme als Sedimentfalle wirken und dadurch größere Mengen an umlagerungsfähigem Material immobilisieren. Die Rinnen akkumulieren über ihr Verfüllungspotential hinaus Nordseesande in Form flacher, lang gestreckter Sandrücken. Ältere Boomer-Aufzeichnungen aus den Datenbeständen des BSH belegen, daß diese Strukturen lagestabil sind und keine Wandersandfelder darstellen. Es können sich folglich in Wechselwirkung mit der pränordseezeitlichen Morphologie Akkumulationsherde im offenen Küstengewässer ausbilden, die umlagerungsfähigen Sand in einem Ausmaß fixieren, das in dieser Form nicht erwartet worden war. Welche Prozesse dafür verantwortlich sind, ist unklar.

Besonders deutlich wird der Einfluß von subaquatischen Erhebungen auf die Sedimentdynamik im Fall der Amrumbank, in deren Südbereich bis rund 6 m mächtige Nordseesande angehäuft wurden. Unter Berücksichtigung der Hauptströmungsrichtungen in diesem Seegebiet liegt die Vermutung nahe, daß der pleistozäne Höhenrücken in Lee umlagerungsfähige Sande angehäuft hat. Das Material stammt mit ziemlicher Sicherheit aus der Aufarbeitung der Insel Sylt, die sich früher etwa 10 km weiter seewärts erstreckt hat (KÖSTER 1979). Damit wirken pleistozäne Hochlagen oder die alten Kerne der niedersächsischen Zungenriffe als Sedimentfänger für mobile, umlagerungsfähige Sande, die durch Akkumulation im offenen Küstengewässer der küstennahen Sedimentdynamik entzogen sind.

Die Wiederholungsvermessung veranschaulicht, daß sich die Dynamik der niedersächsischen Zungenriffe wesentlich von morphodynamischen Prozessen im Referenzgebiet vor Eiderstedt/Dithmarschen unterscheidet. Die Zungenriffe bewegen sich unter Beibehaltung ihres sedimentologischen Aufbaus (LUDWIG & FIGGE 1979) in horizontaler Richtung (SWIFT et al. 1977; FIGGE, unveröff. Daten), wobei maximale Versetzungsbeträge von 100 bis 200 m/a erreicht werden können (ANTIA 1996). Die vorliegenden Ergebnisse belegen, daß nur eine Hülle aus nordseezeitlichen Sanden um einen älteren, weitgehend lagestabilen Kern pendelt. Im Gegensatz dazu werden die Sandzungen im südlichen Teil des Referenzgebietes als Gesamtstruktur um 500 bis 750 m/a umgelagert. Vermutlich bleibt auch in diesem Fall der sedimentologische Aufbau der Sandzungen erhalten. In jedem Fall zeigen die Ergebnisse die Grenzen der Vergleichbarkeit morphodynamischer Prozesse entlang der deutsche Nordseeküste auf, die in engem Zusammenhang mit der verfügbaren Sedimentmenge stehen.

7 Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Verbindung moderner reflexionsseismischer Methoden mit geeigneten geostatistischen Auswerteverfahren hat gezeigt, daß geologisch ausgerichtete Forschungsansätze wesentlich zur tieferen Kenntnis der Sediment- und Morphodynamik in Küstengewässern beitragen können und gegenüber aufwendigen Bohrungen den Vorteil erheblicher Zeit- und Kostenersparnis aufweisen. Die Kartierung des pränordseezeitlichen Untergrundes bietet im Zusammenhang mit der Sediment- und Morphodynamik des Küstenvorfeldes einen großen Vorteil gegenüber rein morphologisch ausgericheteten Forschungsansätzen, die ausschließlich auf Tiefenvermessungen fußen. Aufgrund der Tatsache, daß die Basis der nordseezeitlichen Sedimente lagestabil bleibt, sofern sie nicht am Meeresboden ansteht und erosiven Prozessen unterliegt, können Mächtigkeitsveränderungen bei wiederholten Vermessungen herangezogen werden, um den küstennahen Sedimenthaushalt, also Akkumulation und Erosion, zu quantifizieren. Damit werden Beschickungsprobleme bzw. die unzureichend bekannte Lage von Normalnull umgangen.

Auf der Basis eines relativ engmaschigen Meßnetzes konnte für das gesamte deutsche Küstenvorfeld der Nordsee die Mächtigkeitsverteilung der mobilen Lockersedimente anhand prozessierter Daten dargestellt und eine Volumenberechnung inklusive Fehlerabschätzung durchgeführt werden. Die Sedimentverteilung weist für das Untersuchungsgebiet eine dreizonale küstenparallele Gliederung auf, die den bisherigen Kenntnisstand über den Sedimenttransport in der Deutschen Bucht erweitert. Auf diesem Ansatz beruhend erscheint es dem Bearbeiter sinnvoll, das Profilnetz vor der deutschen Nordseeküste in einem Zeitintervall von 5 bis 10 Jahren erneut zu reflexionseismisch vermessen, um anhand eines Vergleich der unterschiedlichen Mächtigkeitsverteilungen Aussagen über kleinräumige Sedimentumlagerungen im Küstenvorfeld treffen zu können. Auf dieser Grundlage könnten dann z.B. Sedimenttransportraten und -richtungen ermittelt werden.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die mit diesem Bericht vorgelegte Karte zur Mächtigkeitsverteilung der nordseezeitlichen Sedimente (Abb. 11) einen großmaßstäblichen Überblick über die Verhältnisse vor der gesamten deutschen Nordseeküste gibt und im Fall von Detailfragen keine Spezialuntersuchungen ersetzen kann und will.

8 Literatur

- Ahrendt K. & Tabat W. (1994) Ein Vierteljahrhundert sedimentologischer Forschung vor der Küste Sylts/Deutsche Bucht. *Meyniana*, **46**, 11-36.
- Antia E.E. (1996): Rates and patterns of migration of shoreface-connected sandy ridges along the southern North Sea coast. *Journal of Coastal Research*, **12**, 38-46.
- Barry K.M., Cavers D.A. & Kneale C.W. (1975) Recommended standards for digital tape formats. *Geophysics*, **40**, 344-352.

Belderson R.H., Johnson M.A. & Kenyon N.H. (1982) Bedforms. In A.H. Stride (ed.) *Off-shore Tidal Sands*, Chapman & Hall, 27-57.

David M. (1977) Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier.

- De Vriend H.J. (1997) Evolution of marine morphodynamic modelling: Time for 3-D? Deutsche Hydrographische Zeitschrift, 49, 331-341.
- Dittmer E. (1951) Das Eem des Treenetals. Schriften des naturwissenschaftlichen Vereins Schleswig-Holsteins, 25, 91-99.
- Dresen L., Gebrande H., Harjes H.-P., Hubral P. & Miller H. (1985) Seismische Verfahren. In (F. Bender, ed.) Angewandte Geowissenschaften. Band II: Methoden der Angewandten Geophysik und mathematische Verfahren in den Geowissenschaften, 157-298.
- Figge K. (1980) Das Elbe-Urstromtal im Bereich der Deutschen Bucht (Nordsee). *Eiszeitalter und Gegenwart*, **30**, 203-211.
- Figge K. (1981) Begleitheft zur Karte der Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht 1: 250000 (Nr. 2900). Deutsches Hydrographisches Institut, 13 S.
- Führböter A. (1979) Sandbewegung im Küstenraum Rückschau, Ergebnisse und Ausblick. In DFG-Forschungsbericht Sandbewegung im Küstenraum. Rückschau, Ergebnisse und Ausblick, 11-46.
- Göhren H. (1971) Untersuchungen über die Sandbewegung im Elbmündungsgebiet. Hamburger Küstenforschung 19, 71 S. u. 45 Abb.
- Hinsch W. (1977) Basis des glaziären Pleistozäns in Schleswig-Holstein bzw. Oberkante des Präquartärs, Maßstab 1 : 250000. Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein.
- Hofstede J.L.A. (1997) Process-related analysis for the North Frisian supratidal sands (Germany). *Journal of Coastal Research*, **13**, 1-7.

Journel A.G. & Huijbrechts C.J. (1978) Mining Geostatistics. Academic Press.

- Klüger H. (1994) *Beschreibung zum Programm N1KOOR von N11*. Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie, 7 S.
- Köster R. (1979) Dreidimensionale Kartierung des Seegrundes vor den Nordfriesischen Inseln. In DFG-Forschungsbericht Sandbewegung im Küstenraum. Rückschau, Ergebnisse und Ausblick, 146-168.
- Laban C. (1995) The Pleistocene glaciations in the Dutch sector of the North Sea. A synthesis of sedimentary and seismic data. Doctoral Thesis Univ. Amsterdam, 194 S.
- Li M. & Amos C.L. (1995) SEDTRANS92: A sediment transport model for continental shelves. *Computer and Geoscience*, **4**, 533-554.
- Ludwig G. & Figge K. (1979) Schwermineralvorkommen und Sandverteilung in der Deutschen Bucht. *Geologisches Jahrbuch*, **D32**, 23-66.
- Möller L. (1984) Seismische Untersuchungen in Sedimenten der Nordsee: Dispersion und Dämpfung von Grenzschichtmodellen. *Hamburger Geophysikalische Einzelschriften*, **A79**, 1-113.
- Reineck H.E. (1984) Aktuogeologie klastischer Sedimente. Kramer, 384 S.
- Ruck K.W. (1969) Ein geologisches Profil durch die Eidermündung. Meyniana, 19, 113-118.
- Schirmer F., Schmalfeldt B. & Siebert J. (1979) Schallgeschwindigkeit und Impedanz des oberen Meeresbodens in Gebieten der Nordsee, des Skagerraks, des Kattegats und der Ostsee. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, **32**, 279-288.
- Schulz-Ohlberg J. (1989) Die Anwendung geostatistischer Verfahren zur Interpretation von gravimetrischen und magnetischen Felddaten. Wissenschaftlich-Technische Berichte, 1989-6, Deutsches Hydrographisches Institut, 140 S.
- Streif H.J. (1990) Das ostfriesische Küstengebiet. Slg. Geol. Führer, Bd 57. Gebr. Borntraeger, 376 S.
- Swift D.J., Parker G., Lanfredi N.W., Perillo G. & Figge K. (1978) Shoreface-connected sand ridges on American and European shelves: A comparison. *Estuarine, Coastal and Marine Science*, 7, 257-273.
- Theilen F., Kallerhoff W. & Posewang J. (1994) Untersuchungen zur Optimierung des Küstenschutzes auf Sylt, Phase II: Kartierung des Kaolinsandes vor Sylt. Unveröff. Abschlußbericht, Institut für Geophysik der Universität Kiel, 13 S.

Tietze G. (1983) Das Jungpleistozän und marine Holozän nach seismischen Messungen nordwestlich Eiderstedts/SchleswigHolstein. Unveröff. Diss. Univ. Kiel, 118 S.

Wackernagel H. (1998) Multivariate Geostatistics. Springer, 291 S.

Woldstedt P. & Duphorn K. (1974) Norddeutschland und angrenzende Gebiete im Eiszeitalter. Koehler, 500 S.

DANKSAGUNG

Dieses Forschungsvorhaben wurde in vielerlei Hinsicht von verschiedenen Bundes- und Landesbehörden sowie Forschungseinrichtungen unterstützt.

Zunächst gilt unser Dank folgenden Personen, die uns großzügigen Zugriff auf ihre Bohrarchive gewährten: Dipl.-Ing. F.-P. Eißfeldt (Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste, Hamburg-Rissen), Dipl.-Geogr. D. Steen (Wasser- und Schiffahrtsamt, Emden), Dipl.-Ing. Götschenberg (Wasser- und Schiffahrtsamt, Wilhelmshaven), Dipl.-Ing. H. Müller (Wasser- und Schiffahrtsamt, Bremerhaven), Dr. H.-J. Streif (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover), Dipl.-Ing. G. Ragutzki (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Forschungstelle Küste, Norderney), Dipl.-Ing. H.-G. Coldewey (Staatliches Amt für Insel- und Küstenschutz, Norden), Dipl.-Ing. D. Schaller (Amt für ländliche Räume, Husum), Dr. H. Temmler (Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holsteins, Flintbek) und Dr. K. Schwarzer (Institut für Geowissenschaften der Universität Kiel).

Für die engagierte Unterstützung während der Arbeiten auf See sind wir R. Kunze, R. Paar, Y. Arik, Frau L.P. Wang sowie den Kapitänen W.M. Fietz, H. Brunn, W. Ohl und den Besatzungen der FS "GAUSS", VWFS "WEGA" und FK "LITTORINA" zu besonderem Dank verpflichtet.

Dr. K. Schwarzer, L. Rupprecht, Dr. F. Theilen und sein Mitarbeiterstab (alle Institut für Geowissenschaften, Kiel) sowie Dr. K. Ricklefs (Forschungs- und Technologiezentrum Westküste, Büsum) danken wir für die professionelle Unterstützung im Rahmen des geleisteten Forschungsauftrages.

Unser herzlicher Dank gebührt Dr. J. Schulz-Ohlberg (Bundesamt für Seeschiffahrt und Hydrographie, Hamburg), der das Projekt mit seinem Rat begleitet, uns bei der geostatistischen Auswertung unterstützt und zum erfolgreichen Abschluß des Vorhabens beigetragen hat.

Schließlich danken wir dem Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI), das dieses Projekt aus Mitteln des Bundesministers für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) finanziell über einen Zeitraum von drei Jahren gefördert hat.

Behörde	Bohrung	Lokalität	Breite		Länge	
			Grad	Minuten	Grad	Minuten
WSA Emden	D10	Hubertgat	53	33.810	6	39.000
WSA Emden	D11	Hubertgat	53	34.417	6	35.933
WSA Emden	D12	Hubertgat	53	34.850	6	32.760
WSA Emden	D22	Hubertgat	53	34.750	6	38.640
WSA Emden	D35	Hubertgat	53	36.300	6	33,100
WSA Emden	D33	Hubertgat	53	35.050	6	29.633
WSA Emden	D14	Hubertgat	53	34 490	6	28 000
WEA Emden	D14 D15	Hubertgat	53	34 750	6	26.850
WCA Emden		Hubertgat	53	34.010	6	20.000
WSA Elillen	D10	nubercyac	53	24.910	6	24.000
WSA Eliiden	D17	Hubertgat	23	34.040	0 C	10 000
WSA Emden	D18	Hubertgat	53	34.733	6	19.090
WSA Emden	D31	westerems	53	37.417	6	23.000
WSA Emden	D32	Westerems	53	37.600	6	25.917
WSA Emden	D33	Westerems	53	36.890	6	28.250
WSA Emden	D3 4	Westerems	53	36.600	6	30.917
FSK Norderney	23/2306	Borkum	53	35.310	6	39.360
FSK Norderney	8/2308	Juist-Ost	53	41.100	7	6.950
FSK Norderney	9/2308	Juist-Ost	53	41.030	7	6.680
FSK Norderney	112/2308	Juist-Ost	53	41.520	7	8.460
FSK Norderney	3/2209	Norderney	53	42.560	7	8.290
FSK Norderney	110/2209	Norderney	53	43.130	7	8.870
FSK Norderney	111/2209	Norderney	53	43.370	7	9.760
FSK Norderney	112/2209	Norderney	53	42.870	7	8.410
FSK Norderney	119/2209	Norderney	53	43.530	7	18.370
FSK Norderney	120/2209	Norderney	53	43.580	7	19.510
FSK Norderney	121/2209	Norderney	53	43.580	7	20.550
StAIK Norden	6	Norderney	53	42.130	7	7.590
StAIK Norden	13	Norderney	53	41.840	7	8.040
StAIK Norden	1	Langeoog	53	45.030	7	26.380
StAIK Norden	2	Langeoog	53	44.910	7	26.410
StAIK Norden	3	Langeoog	53	44.750	7	26.480
StAIK Norden	4	Langeoog	53	44.610	7	26.520
StAIK Norden	5	Langeoog	53	44.380	7	26.490
StAIK Norden	6	Langeoog	53	44.190	7	26.580
StAIK Norden	7	Langeoog	53	44.040	7	26.620
StAIK Norden	, 8	Langeoog	53	44 080	7	27.110
Stalk Norden	9	Langeoog	53	44 270	7	26.670
Statk Norden	10	Langeoog	53	44 720	, 7	26.740
StAIK Norden	10	Langeoog	53	44.720	' 7	26.540
SLAIK Norden	10	Langeoog	53	44.000	7	26,050
Staik Norden		Langeoog	55	43.930	7	20.930
Stalk Norden	B3' alt	Langeoog	23	42.420	1	7.700
FSK Norderney	2/2213	Wangerooge	53	47.470	7	54.310
WSA WHV	73/47	Außenjade	53	48.733	7	57.317
WSA WHV	73/35b	Außeniade	53	45.517	8	2.783
WSA BHV	Bla	Tegeler Plate	53	47.900	8	11.383
WSA BHV	B2a	Tegeler Plate	53	47.900	8	11.667
WSA BHV	RJ	Tegeler Plate	53	47,900	8	11 517
WSA BHV	25 25	It Alto Wager	53	51 900	8	7.508
WSA BHV	RK10	\sim km 107 5	55	48 030	R	8.300
AAPLT TITA	DITTO	1711 TU 1 J	55	10.000	0	0.000

Anhang A1. Verwendete Bohrungen im Küstennahbereich (SKN 0 bis -10 m)

53

49.600

8

6.100

~ km 111.5

WSA BHV

BK11

Behörde	Bohrung	Lokalität	Breite		Länge	
			Grad	Minuten	Grad	Minuten
BAW Küste	S1	Norderelbe	54	1.783	8	13.550
BAW Küste	S3	Norderelbe	54	1.767	8	13.583
BAW Küste	K7a	Gr. Vogelsand	53	59.830	8	28.670
BAW Küste	К8	Gr. Vogelsand	53	59.830	8	28.670
		L				
BAW Küste	S1	Rochelsteert	54	12.700	8	28.300
BAW Küste	S2	Rochelsteert	54	12.800	8	25.700
ALR Husum	1215/4	Hörnum	54	46.770	8	17.600
ALB HUSUM	1215/8	Hörnum	54	46.450	8	16 930
ALB Husum	1215/20	Hörnum	54	45.970	8	17 270
LANU S-H Flintbek	KB1	Hörnum-Odde	54	44.420	8	17.810
LANU S-H Flintbek	KB16	Rantumer Dünen	54	48.330	8	17.490
LANU S-H Flintbek	KB18	Südende Hörnum	54	45 260	8	17 310
LANU S-H Flintbek	KB19	Südende Hörnum	54	44.890	8	17.370
LANU S-H Flintbek	S1	Hörnum-Odde	54	44.470	8	17,690
LANU S-H Flintbek	52	Hörnum-Odde	54	44 730	8	17 390
mille o il l'illicock	52	norman odde	54	11.750	0	17.550
ALR Husum	1015/1	Westerland	54	55.620	8	18.530
ALR Husum	1015/6	Westerland	54	55.710	8	18.590
ALR Husum	1015/14	Westerland	54	55.870	8	18.680
ALR Husum	1015/18	Westerland	54	55.950	8	18.730
ALR Husum	1015/21	Westerland	54	55.990	8	18.750
ALR Husum	1015/26	Westerland	54	56.080	8	18.810
ALR Husum	1015/27	Westerland	54	56.080	8	18.840
ALR Husum	1015/28	Westerland	54	56.070	8	18.860
ALB Husum	1015/32	Westerland	54	56.170	8	18.870
ALR Husum	1015/36	Westerland	54	56.240	8	18,900
ALR Husum	1015/37	Westerland	54	56.240	8	18,920
ALR Husum	1015/38	Westerland	54	56.240	8	18,940
ALR Husum	1015/39	Westerland	54	56.270	8	18,990
ALR Husum	1015/41	Westerland	54	56.320	8	18,960
ALR Husum	1015/44	Westerland	54	56.370	8	19.030
ALR Husum	1015/57	Westerland	54	54.650	8	15.880
ALR Husum	1015/58	Westerland	54	54.600	8	17.200
ALR Husum	1015/59	Westerland	54	54.590	8	17.500
ALR Husum	1015/60	Westerland	54	54.540	8	17.620
ALR Husum	1015/61	Westerland	54	54,170	8	15.310
ALR Husum	1015/62	Westerland	54	54.170	8	16.700
ALR Husum	1015/63	Westerland	54	54.090	8	17.320
ALR Husum	1015/64	Westerland	54	54.060	8	17.370
ALR Husum	1015/65	Westerland	54	53.990	8	14.560
ALR HUSUM	1015/66	Westerland	54	57.020	8	17.340
ALB Husum	1015/67	Westerland	54	56.940	8	18.050
ALB Husum	1015/68	Westerland	54	56 920	8	18 660
ALR HUSUM	1015/69	Westerland	54	56 860	8	18 990
ALR Husum	1015/70	Westerland	54	56 260	8	16 830
ALR Hugum	1015/71	Westerland	54	56 200	8	17 900
ALR Husum	1015/72	Westerland	54	56 110	8	18 460
ALR Husum	1015/73	Westerland	54	56 100	8	18 590
ALR Husum	1015/74	Westerland	54	55 550	R	17 500
	TOT3/14	MCBCCL LAHU	71		U	T1.JUU
ALR Husum	0916/3	Listland	55	3.410	8	24.682
ALR Husum	0916/4	Listland	55	3.158	8	23.775
ALR Husum	0916/6	Listland	55	2.417	8	23.195
ALR Husum	0916/8	Listland	55	1.320	8	22.500
ALR Husum	0916/9	Listland	55	0.860	8	22.190
ALR Husum	0916/10	Listland	55	0.270	8	21.790

Anhang A2. Bohrkernbeschreibungen

VC 2001

Position:	54°21.9858' N / 7°59.9721' E (ED 50)
	R 3434958 H 6026646
Wassertiefe:	21.1 m (Lottiefe)
Datum:	21.03.1997
Uhrzeit:	09:24 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	WEGA 34

Bemerkung: mit zunehmender Sedimenttiefe nimmt der Feinsandanteil des Mittelsandes ab

0 - 18 cm	Wechsellageru Lagen, an der cm)	ng aus schluffigem Feinsand und Schluff-Ton, graugrün, cm-mächtige Basis mm-große Torfreste, im Hangenden Geröll (Durchmesser 2 bis 3		
18 - 34 cm	feinsandiger M	feinsandiger Mittelsand, grau bis gelb, Schill, Tonlinsen		
34 - 84 cm	feinsandiger M	littelsand, grau bis gelb, Gerölle bis 3 mm Durchmesser		
84 - 150 cm	feinsandiger M 142 cm	littelsand, grau bis gelb, stark schillführend, graugrüne Feinsandlinsen Geröll (Durchmesser 3 cm)		
150 - 326 cm	feinsandiger M stor durch Fart 175 cm 280 cm	ittelsand, grau bis gelb, flaseriges, vertikal verlaufendes, flaseriges Mu- bunterschied Gerölle (Durchmesser 3 cm)		
326 - 510 cm	feinsandiger M Farbunterschier 320 cm 399 cm ab 420 cm	littelsand, grau bis gelb, flaseriges, schräg-geschichtetes Muster durch d Geröll (Durchmesser 7 cm) Geröll (Durchmesser 1 cm) mm-große Torfreste		

 Position:
 53°50.20' N / 7°21.97' E (ED 50) R 2589892 H 5968081

 Wassertiefe:
 19 m (Lottiefe)

 Datum:
 04.06.1997

 Uhrzeit:
 17:00 (LT)

 Bearbeiter:
 Dr. Klaus Figge

 Reise:
 GAUSS 297

- 0 185 cm Feinsand
- 185 252 cm Feinsand bis Schluff, Muscheln
- 252 262 cm Grobsand, Tonlinse
- 262 312 cm Grobsand
- 312 323 cm Feinsand
- 323 374 cm Grobsand
- 374 390 cm Feinsand, im oberen Bereich Mittelsand eingewühlt
- 390 404 cm Feinsand mit Schluff-Tonlinsen
- 404 435 cm Feinsand
- 435 445 cm Mittelsand, schluffige Feinsandlinse
- 445 448 cm Mittelsand, bei 448 cm Mittelsand bis Schluff-Ton, Torfreste über Tonlage
- 448 460 cm Feinsand bis Schluff
- 460 475 cm Feinsand bis Schluff, fester Schluff-Ton, mit Sand verwürgte Tonbröckchen
- 475 590 cm schluffiger Feinsand, grau, Einschaltungen von Ton, unregelmäßige Wechsellagerung

Position:	53°52.735' N / 7°31.115' E (ED 50)
	R 3402637 H 5972935
Wassertiefe:	23 m (Lottiefe)
Datum:	07.08.1997
Uhrzeit:	16:05 - 16:38 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 186 cm	feinsandiger Mittelsand, Muschelschill, teilweise ganze Muschelschalen (vor allem an der Basis), gut gerundet und sortiert, grau bei 160 cm kantiger Hornstein (Durchmesser 2 cm)
186 - 435 cm	Schluff-Ton (Klei), fest, olivbraun, schwarze Reduktionszonen (Flasern), feiner Pflan- zenhäksel, im Bereich der Basis Lagen mit Pflanzenresten (Blätter), senkrecht stehen- de (autochthone?) Pflanzenstengel 331-332 cm Lage mit geringem Feinsandanteil
435 - 441 cm	Torflage, Pflanzenreste (Blätter), dunkelbraun bis ocker
441 - 453 cm	Übergangszone Torf (dunkelbraun) - Sand (hellbraun), mit der Tiefe abnehmender Gehalt an organischer Substanz
453 - 574 cm	mittelsandiger Feinsand, kalkfrei, gut gerundet und sortiert, ocker bis grau, z.T. mit bis zu 5 cm lange Pflanzenstengel, feiner Pflanzenhäksel, kantengerundete Kiesel

Position:	53°51.796' N / 7°32.905' E (ED 50)
	R 3404489 H 5971154
Wassertiefe:	21 m (Lottiefe)
Datum:	08.08.1997
Uhrzeit:	09:34 - 10:43 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

Kernbeschreibung:

0 - 48 cm	feinsandiger M schwarze Mitte bei 5 cm	littelsand, grober Muschelschill, gut gerundet, grau, im Topbereich lsande (Schwerminerale?), zur Basis hin zunehmend schluffig Schlufflage
48 - 88 cm	Grobsand-Feink an der Basis Ge 66 - 75 cm	cies (Basiskonglomerat), gut gerundet, hoher Anteil an Muschelschill, erölle (Durchmesser 3 - 4 cm) Grob- bis Mittelsande, gelb-ocker
88 - 372 cm	Schluff-Ton (K 88 - 300 cm bei 170 170 - 190 cm 230 - 240 cm ab 320 cm 360 cm	lei), oben weiche Konsistenz, nach unten hin fest, olivbraun abnehmender Gehalt an Feinsand Scherfestigkeit nimmt ab Muschellage " feiner Pflanzenhäksel Übergang limnisch (kalkfrei) - marin (kalkhaltig), Abnahme der elektr. Leitfähigkeit
372 - 380 cm	Torflage, Pflanz	zenreste (Blätter), dunkelbraun - ocker
380 - 390 cm	Übergangszone Torf (dunkelbraun) - Sand (hellbraun), mit der Tiefe abnehmender Gehalt an organischer Substanz	

390 - 510 cm mittelsandiger Feinsand, kalkfrei, gut gerundet, ocker bis grau, z.T. mit bis zu 5 cm lange, senkrecht stehende Pflanzenstengel, feiner Pflanzenhäksel

Position:	53°47.495' N / 7°08.833' E (ED 50)
	R 2575560 H 5962808
Wassertiefe:	20.5 m (Lottiefe)
Datum:	08.08.1997
Uhrzeit:	16:05 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 128 cm	feinsandiger Mittelsand, Muschelschill, Muschelschalen, gut gerundet, grau 80 - 128 cm vereinzelte Schluff/Tonlinsen bzwschmitzen
128 - 151 cm	Wechsellagerung von cm-mächtigen Schluff-Tonlagen und mm-mächtigen Feinsandla- gen, kalkhaltig
151 - 368 cm	Feinsand, kalkfrei, vereinzelt Gesteinsbruchstücke und Schluffgerölle, Schnecke 319 - 321 cm mm- bis cm-mächtige Schlufflagen 335 - 353 cm mm- bis cm-mächtige Schlufflagen
368 - 390 cm	mittelsandiger Feinsand, hoher Anteil an dickwandigen Muschelschalen und -schill (Brandungszone?), Macoma, kalkig
390 - 590 cm	Feinsand, kalkfrei, kantige Gerölle (Durchmesser zwischen 0.5 bis 2 cm)

Position:	53°44.500' N / 6°46.994' E (ED 50)
	R 2551634 H 5956925
Wassertiefe:	16 m (Lottiefe)
Datum:	09.08.1997
Uhrzeit:	08:58 - 10:31 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 106 cm	feinsandiger M gut durchlüftet,	ittelsand, hoher Anteil an Muschelschill und -schalen, grau bis ocker, , entlang der Kernwandung graue Reduktionszone, umgelagert?
106 - 310 cm	mittelsandiger zem Schluff, M 203 - 205 cm 270 - 280 cm	Feinsand, dunkelgrau, Linsen von schluffigem Feinsand oder schwar- Iuschelreste Schillanreicherung
310 - 336 cm	Feinsand, zur B	Basis gröber werdend (Mittelsand), Muschelschalen
336 - 355 cm	Grobsand (Trar Muschelschill	nsgressionshorizont), grau, eingeschwemmte mm-mächtige Schlufflage,
355 - 562 cm	Wechsellagarur lagen kalkhaltig 355 cm 380 cm 435 cm 490 - 520 cm	ng aus mm- bis cm-mächtigen Schluff- und Feinsandlagen, Schluff- 30° Neigung aufgewölbte Schlufflage Holzstück (Länge 4 cm) Horizont aus grobsandigem Mittelsand, Muschelschill
562 - 600 cm	Geschiebelehm de kleine Bruch	, bis 5 cm große Gerölle in kalkfreier feinkörniger Matrix, am Kernen- nstücke von Muschelschalen

,

VC 2012

53°45.284' N / 6°53.999' E (ED 50)
R 2559107 H 5975166
16 m (Lottiefe)
09.08.1997
16:06 - 16:24 (LT)
Dr. Manfred Zeiler
GAUSS 302

0 - 79 cm	Fein- bis Mittelsand, Muschelschill und -schalen im oberen Bereich, Schlufflinsen, grau46 - 48 cm Mittelsand-Horizont
79 - 123 cm	mittelsandiger Grobsand (Transgressionhorizont), hoher Schillanteil
123 - 180 cm	Schluff-Ton (Klei), fest, kalkfrei 123 - 133 cm bioturbat, mit Fein- und Grobsand verfüllt
180 - 190 cm	Torfhorizont, Holzreste, schwarz
190 - 419 cm	Feinsand, kalkfrei, im oberen Bereich von dunkelbraun über hellbraun in graubraun übergehend, Pflanzenhäksel 380 cm braune Schlieren aufgrund von fein verteiltem organischem Material
419 - 600 cm	Fein- bis Mittelsand, kalkfrei, schluffige Sandlinsen, hellgrau

Anhang 2

VC 2013

Position:	54°31.230' N / 7°59.912' E (ED 50)
	R 3435137 H 6043797
Wassertiefe:	15 m (Lottiefe)
Datum:	11.08.1997
Uhrzeit:	12:25 - 12:53 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 140 cm	feinsandiger Mittelsand, zur Basis hin zunehmender Anteil an Muschelschill und - schalen, gut gerundet, vermutlich umgelagerter Sand, grau, um Muscheln gelbbraun
140 - 193 cm	mittelsandiger Feinsand, geringer Schillanteil, schluffige Sandflasern, grau
193 - 355 cm	mittelsandiger Feinsand, etwas schluffreicher, höherer Anteil an Muscheln und Schill als hangende Schicht, dunkelgrau 254 - 255 cm Muscheln/Schill in Horizonten angereichert 295 - 300 cm " 329 - 334 cm "
355 - 555 cm	Feinsand, grau, gut sortiert und gerundet363 cmmm- bis cm-mächtige Schlufflagen/-linsen380 - 395 cm"465 - 480 cm"526 cm"489 cmHolzstück
555 - 565 cm	Mittelsand, gut sortiert, Muschelschill, grau

Position:	54°34.061' N / 8°05.640' E (ED 50)
	R 3441386 H 6048965
Wassertiefe:	16 m (Lottiefe)
Datum:	11.08.1997
Uhrzeit:	19:20 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

Bemerkung: H₂S-Geruch nach Bergung

0 - 548 cm	feinsandiger M	littelsand, kalkfrei, mm-große Holz- und Pflanzenreste
	0 - 2 cm	Anreicherung mm-großer Holzreste
	50 - 100 cm	schräg durchlaufende Zone mit Muschelschalen, Schill, z.T. schwarz
		gefärbt (Reduktionszone)
	360 - 440 cm	Mittelsand, gut sortiert

Anhang 2

VC 2015

Position:	54°43.982' N / 7°57.896' E (ED 50)
	R 3433309 H 6067486
Wassertiefe:	15 m (Lottiefe)
Datum:	12.08.1997
Uhrzeit:	13:00 - 13:19 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 92 cm	feinsandiger M	ittelsand, grau, nach unten zunehmender Schillgehalt und Korngröße
92 - 101 cm	Transgressions	konglomerat, bis 5 cm große, gut bis kantengerundete Gerölle
101 - 584 cm	Wechsellagerun nimmt nach un Schlufflagen 101 - 114 cm 190 cm 495 cm 512 - 513 cm 567 cm	ng aus mm- bis cm-mächtigem Feinsand und Schluff-Ton, Schluffanteil ten hin zu, Feinsand zur Basis hin gröber werdend, teilweise verwürgte Gerölle nach unten verschleppt mm-mächtige Wechsellagen aus Schluff und Torf mm-mächtige Torflage Holzstück harte Schluff/Torflage

Position:	54°50.978' N / 7°51.012' E (ED 50)
	R 3426131 H 6080580
Wassertiefe:	20 m (Lottiefe)
Datum:	12.08.1997
Uhrzeit:	18:05 - 18:16 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

Bemerkung: sehr schneller Bohrvortrieb (~ 20 sec), nur 446 cm Kerngewinn, obwohl laut Anzeige des Steuergerätes der Vibrocorer 6 m tief ins Sediment eindrungen ist

0 - 77 cm	feinsandiger Mittelsand, grau, Muscheln und Schill, schluffige, schwarze Feinsandlin- sen (Reduktion) 50 - 65 cm oxidiert, gelbbraun
77 - 134 cm	Feinsand, schillhaltig, gut sortiert, partienweise Schluffe mit hohem organischen Anteil, hellgrau
134 - 400 cm	schluffiger Feinsand, dunkelgrau, stark schillführend150 - 400 cmweiche Konsistenz (Nässe)210 - 213 cmreine Schillage, darunter abnehmende Schillgehalte335 cmcm- mächtige Lage von kleinen Schnecken350 cm"390 cm"
400 - 420 cm	 Wechsellagerung von Feinsand und Schluff-Ton 405 Anreicherung von Muschelschalen 410 "
420 - 446 cm	Torfhorizont, geschichtet, Reste von Blättern u.a. Pflanzenresten, dunkel- bis hell- braun, fest

Anhang 2

VC 2017

54°27.124' N / 7°50.920' E (ED 50)
R 3425308 H 6036328
20 m (Lottiefe)
14.08.1997
08:21 - 08:55 (LT)
Dr. Manfred Zeiler
GAUSS 302

0 - 247 cm	mittelsandiger kieshaltig, Sch	Feinsand, hellgrau, Schluffschmitzen, Basisfläche 70° geneigt, fein- ill
	41 cm	Feinsandlage
	145- 150 cm	n
247 - 567 cm	Feinsand, brau	n, bei 262 cm Geröll (Durchmesser von 4 cm), mm-mächtige, organi-
	sche Lagen	
	292 - 305 cm	Einschaltungen aus feinsandigem Mittelsand mit Geröllen
	316 - 318 cm	Gerölle, Durchmesser zwischen 2 bis 4 cm
567 - 580 cm	Feinsand, von darüberliegende	dunkel- nach hellbraun übergehend, am Top V-förmiger Einschnitt mit em Feinsand verfüllt

Position:	54°41.632' N / 8°06.044' E (ED 50)
	R 3442001 H 6063006
Wassertiefe:	15 m (Lottiefe)
Datum:	14.08.1997
Uhrzeit:	15:00 - 15:16 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

Bemerkung: Der Bohrkern ist hochgradig gestört. Vermutlich wurde durch ein sekundäres Vakuum, das beim Austreiben des Plastik-Liners entstand, der obere Teil ins Kernrohr gezogen und der Kern insgesamt gestreckt. Beim Hieven des Vibrocorers trat Kernverlust des unteren Teils durch Auslaufen auf. Beim Ausspülen des Kernrohrs wurden dm-mächtige Schluffpakete (ca. 45 cm Länge) geborgen, die Feinsandlagen ausgespült. Am Top fehlen damit mindestens 0.5 m.

420 cm mächtig	Wechsellagerung aus cm- bis dm-mächtigen Schluff- und Feinlagen, unter- schiedlich mächtige Lagen, leicht schluffiger, gut sortierter Feinsand
dazwischen	Kern abgerissen
ca. 100 cm mächtig	feinsandiger Mittelsand, gut gerundet und sortiert, Muscheln (Macoma balti- ca?) wahrscheinlich eingespült

Position:	55°03.171' N / 8°00.012' E (ED 50)
	R 3436088 H 6103054
Wassertiefe:	19 m (Lottiefe)
Datum:	15.08.1997
Uhrzeit:	08:35 - 09:20 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 37 cm	schwach mittelsandiger Feinsand mit starken humosen Anteilen, dunkelbraun bis schwärzlich, mäßig bis schlecht sortiert und klassiert		
37 - 103 cm	mittelsandiger Feinsand, braun bis hellbraun, schwarzfleckig, an der Basis in feinsan- digen Mittelsand übergehend, mäßig bis schlecht sortiert und klassiert		
103 - 116 cm	feinsandiger Mittelsand, braun		
116 - 135 cm	mittelsandiger Feinsand (gekappter Podsol?, Ae-Horizont fehlt, Bs-Horizont gut ausge- bildet), hellbraun, Basisneigung ca 15°, mäßig bis schlecht sortiert und klassiert		
135 - 168 cm	Torf, dunkelbraun bis schwärzlich		
168 - 187 cm	mittelsandiger Feinsand mit organischer Substanz		
187 - 570 cm	feinsandiger Mittelsand (anmooriger Gley von 187 - 310 cm?), Feinkies-Anteil nach unten abnehmend bis 315 cm teilweise braun- und schwarzfleckig, nach unten hin grau 315 - 320 cm grobkiesige Gerölle, Durchmesser zwischen 1.5 bis 4 cm 465 - 570 cm wellige und oval geformte Sedimentstrukturen, vertikaler Verlauf		

Anhang 2

VC 2020

Position:	54°56.729' N / 8°06.106' E (ED 50)
	R 3442426 H 6091014
Wassertiefe:	16 m (Lottiefe)
Datum:	15.08.1997
Uhrzeit:	13:15 - 13:28 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

Kernbeschreibung:

0 - 5 cm	schluffiger Feinsand, hellgrau, Holzreste (bis 2 cm Größe), Muschelschill
5 - 229 cm	Grobsand, gelbbraun, zur Basis hin Zunahme des Schillgehaltes und -größe, an der Basis Anreicherungen von Muscheln und Schill
229 - 415 cm	feinsandiger Schluff, im oberen Bereich höherer Feinsandanteil, in feinsandigen Schluff übergehend, glimmerhaltig 240 cm mm-mächtige Lagen aus Holz- und Pflanzenresten, schluffhaltig 302 cm " 322 cm "
415 - 440 cm	Grobsand, grau, gut sortiert
440 - 477 cm	feinsandiger Schluff, Feinschichtung durch braun-grauen Farbunterschied, weiche Kon- sistenz, Basisneigung ca. 30°
477 - 493 cm	schluffiger Feinsand, braun
493 - 512 cm	Schluff-Ton, fest, dunkelbraun, glimmerhaltig, flaserige Schichtung, übergehend in einen Feinsand, dunkelbraun, glimmerhaltig, Holzreste (4 cm Länge)
512 - 541 cm	schluffiger Feinsand, fest, glimmerhaltig, Holzreste

541 - 558 cm Ton-Schluff, sehr fest, braun

Position:	54°58.317' N / 8°08.997' E (ED 50)
	R 3445549 H 6093922
Wassertiefe:	16 m (Lottiefe)
Datum:	16.08.1997
Uhrzeit:	10:56 - 11:37 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 160 cm	Schluff-Feinsand, glimmerhaltig, hellgrau, seidiger Glanz, nach unten hin überwiegt ab 20 cm Feinsand, gut sortiert, glimmerhaltig, Seeigelbruchstücke, Schill, Wurmbau- ten (Lanice)
160 - 169 cm	Mittelsand, grober Schill, Geröll (bis 3 cm Durchmesser), kalkfrei
169 - 178 cm	Schluff-Ton, Feinschichtung, glimmerhaltig, kalkfrei
178 - 188 cm	Feinsand, gut sortiert, hellgrau, kalkfrei
188 - 194 cm	Schluff-Ton, Feinschichtung, glimmerhaltig, kalkfrei
194 - 303 cm	Feinsand, unterschiedlich hohe Schluffgehalte
303 - 309 cm	feinsandiger Schluff, glimmerführend, fest, braun
309 - 399 cm	Feinsand, glimmerführend, hellgrau bis ocker, Schichtung durch Glimmeranreicherun- gen, Schluffgehalt nimmt nach unten ab
399 - 431 cm	Mittelsand, Feinkiesanteil, gut sortiert, glimmerfrei
431 - 467 cm	schwach schluffiger Feinsand, weich, glimmerführend, Schichtung
467 - 520 cm	Feinsand, gut sortiert, fest
520 - 530 cm	Holz

Position:	54°56.058' N / 7°53.960' E (ED 50)
	R 3429434 H 6089954
Wassertiefe:	18.5 m (Lottiefe)
Datum:	16.08.1997
Uhrzeit:	17:07 - 17:11 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

Bemerkung: H₂S-Entwicklung nach Kernentnahme

Kernbeschreibung:

0 - 125 cm	mittelsandiger Feinsand, Muscheln, Schill, grau		
125 - 149 cm	Mittelsand, gut	gerundet, Geröll bis 4 cm Durchmesser, Schill	
149 - 371 cm	schluffiger Fei (Austernschale) 276 - 280 cm 305 cm	nsand, Muscheln, Schill, grau, Anreicherung von Schill an der Basis Pflanzenhäksel Schlufflage	
371 - 387 cm	Torf, schluffig,	schwärzlich	
387 - 470 cm	Feinsand, ocke	r bis braun, Übergang zum Torf mit Farbwechsel hell- bis dunkelbraun	
470 - 500 cm	fein- his grobsa	ndiger Mittelsand gut gerundet, grobsandige Elintkörner. Pflanzenreste	

470 - 500 cm fein- bis grobsandiger Mittelsand, gut gerundet, grobsandige Flintkörner, Pflanzenreste im oberen Bereich

Anhang 2

VC 2023

Position:	54°56.155' N / 7°56.993' E (ED 50)
	R 3432677 H 6090085
Wassertiefe:	17 m (Lottiefe)
Datum:	16.08.1997
Uhrzeit:	17:59 - 18:07 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 5 cm	schluffige Feinsandauflage, Gerölle bis 4 cm Durchmesser, Muscheln
5 - 50 cm	Feinsand, mit Grobsand verfüllter Gang, gut gerundet, Windkanter? (4 cm Länge), Schill
50 - 225 cm	schluffiger Feinsand, weich, Muscheln, Schill 101 - 104 cm cm-mächtige Schluff/Tonlagen, dunkelbraun 220 - 222 cm Schillanreicherung
225 - 275 cm	schwach schluffiger Feinsand (gekappter Podsol?), Manganoxide, humoser Anteil
275 - 585 cm	Feinsand, in Mittelsand übergehend, schlecht sortiert, hellgrau bis ocker

Position:	54°22.194' N / 8°06.001' E (ED 50)
	R 3441494 H 6026945
Wassertiefe:	19.5 m (Lottiefe)
Datum:	17.08.1997
Uhrzeit:	12:43 - 13:02 (LT)
Bearbeiter:	Dr. Manfred Zeiler
Reise:	GAUSS 302

0 - 15 cm	feinsandiger Mittelsand, grau bis ocker, Muscheln, Schill
15 - 53 cm	Mittelsand, hellgrau, Gerölle bis 5 cm Durchmesser 50 - 53 cm Kiesanteil
53 - 77 cm	Mittelsand in taschenförmig neben Feinsand 68 - 77 cm Kiesanteil
77 - 115 cm	Feinsand, gut sortiert, geröllführend 91 - 111 cm 10 cm großer Flint, kantengerundet
115 - 410 cm	Feinsand, gut sortiert, schillführend, fein verteilter Pflanzelhäksel, Nester und Lagen aus Schill
410 - 420 cm	Keil aus Schill und Feinsand neben Schluff-Ton (s.u.)
420 - 470 cm	Schluff-Ton, fest, 10 cm tiefe Gänge, mit Feinsand verfüllt, an der Basis einge- schwemmte Torfflasern
470 - 482 cm	Torf, schwärzlich mit gelbbraunen Flasern
482 - 583 cm	Feinsand, braun-ocker, Pflanzenreste, Nässe

VC 2030 (IfG 1)

Position:	54°23.881' N / 8°18.138' E (ED 50)
	R 3454672 H 6029926
Wassertiefe:	11 m (Lottiefe)
Datum:	15.04.1997
Uhrzeit:	keine Angabe
Bearbeiter:	Dr. Klaus Schwarzer
Reise:	POSEIDON 227

0 - 8 cm	fast ausschließlich Schill mit wenig Fein- bis Mittelsand
8 - 18 cm	Fein- bis Mittelsand, ungeschichtet 18 cm scharfe Grenze
18 - 28 cm	Feinsand, fast schillfrei, grünlich-grau
28 - 70 cm	schluffiger Feinsand, Schillagen, schwarzgrau 68 - 78 cm besonders dicht
70 - 85 cm	schluffiger Feinsand, geringerer Schillanteil, schwache Schichtung 81 - 83 cm Wurmgänge mit oxidierten Rändern
85 - 113 cm	schluffiger Feinsand, etwas gröber, gut sortiert, relativ wenig Schill
113 - 116 cm	Mittelsand, grünlich, wenig Schill
116 - 122 cm	Mittelsand, wenig Schill, dunkelbraun bis schwarz, Torfbröckchen
122 - 128 cm	Schluff-Ton, Sandeinschaltungen, Schill, Pflanzenreste (Wurzeln), altes Wattsediment?

VC 2031 (IfG 5)

Position:	54°17.921' N / 8°19.169' E (ED 50)
	R 3455682 H 6018858
Wassertiefe:	15 m (Lottiefe)
Datum:	17.04.1997
Uhrzeit:	keine Angabe
Bearbeiter:	Dr. Klaus Schwarzer
Reise:	POSEIDON 227

Bemerkung: ab 30 cm H_2 S-Entwicklung

0 - 7 cm	Feinsand, durchlüftet, Schill
7 - 19 cm	Feinsand, grauschwarz, wenig Schill
19 - 29 cm	Schillhorizont mit Feinsand, gradiert
29 - 30 cm	Schlufflinse
30 - 39 cm	Feinsand, wenig Schill, Schichtung durch grau-schwarzen Farbwechsel
39 - 45 cm	Fein- bis Mittelsand, viel Schill, teilweise ganze Muschelschalen, lagiger Aufbau

VC 2032 (IfG 7)

54°19.842' N / 8°24.036' E (ED 50)
R 3460993 H 6022374
keine Angabe
22.05.1997
11:46 (UTC)
Dr. Klaus Schwarzer
LITTORINA 05/97

0 - 8 cm	Fein- bis Mittelsand, Oxidationszone, wenig Schill	
8 - 47 cm	Feinsand, Rippelschichtung, hellgrau, wenige, 2 bis 3 mm-mächtige Schlufflagen, schwarz	
47 - 57 cm	Mittelsand, Muschelschalen 53 cm schwarzer Horizont aus Schill- und Schlufflinse	
57 - 106 cm	Wechsellagerung aus Schluff-Ton und Feinsand, Schillbruch, pflanzliche Reste in Schluff-Tonlagen, olivgrau	
106 - 164 cm	Wechsellagerung aus Schluff-Ton und Mittelsand (dominiert) 137 - 143 cm stark bioturbat 157 - 159 cm Flint mit 2 cm Durchmesser	
164 - 174 cm	Mittel- bis Grobsand, gut bis schlecht gerundete Kiese (Restsediment-Charakter) 164 - 166 cm Schill	
174 - 240 cm	Feinsand, braun bis ocker (pleistozäne Beckensande?)200 - 213 cmerhöhter Schluffanteil, Rippelschichtung, Gerölle185 cmbis zu 5 cm große Gerölle205 cm"	

VC 2033 (IfG 8)

Position:	54°21.456' N / 8°23.982' E (ED 50)
	R 3460960 H 6025369
Wassertiefe:	keine Angabe
Datum:	22.05.1997
Uhrzeit:	12:14 (UTC)
Bearbeiter:	Dr. Klaus Schwarzer
Reise:	LITTORINA 05/97

0 - 10 cm	Mittelsand, Schill, gelbbraun
10 - 96 cm	Feinsand, mm-mächtige Schillagen, teilweise Pflanzenhäksel in Schmitzen, grau
96 - 105 cm	Feinsand, hoher Schillanteil, Pflanzenhäksel, mm- bis cm-mächtiger lagiger Aufbau, grau
105 - 109 cm	Grobsand, Aufarbeitungshorizont mit Schill
109 - 124 cm	Feinsandlagen mit Schluff-Tonhorizonten, zur Basis hin gröber werdend, Schill, Pflanzenhäksellagen

VC 2034 (IfG 9)

Position:	54°22.998' N / 8°24.000' E (ED 50)
	R 3461004 H 6028229
Wassertiefe:	keine Angabe
Datum:	22.05.1997
Uhrzeit:	13:58 (UTC)
Bearbeiter:	Dr. Klaus Schwarzer
Reise:	LITTORINA 05/97

0 - 2 cm	Feinsand, braun	
2 - 4 cm	Schluff-Ton, olivgrau	
4 - 31 cm	 Fein- bis Mittelsand, zur Basis gröber werdend, an der Basis Schill, teilweise ganze Schalen 4 - 10 cm Schluff-Tonflasern, Lagen steil aufgebogen 	
31 - 56 cm	Wechsellagerung aus bis zu 2 cm-mächtigen Schluff-Ton (dominerend) und Feinsand, Rippelschichtung in Feinsandlagen	
56 - 60 cm	Schillage mit Feinsand, Auskolkung in tiefere Schichten	
60 - 64 cm	Wechsellagerung aus Schluff-Ton und Feinsand	
64 - 68 cm	Wechsellagerung aus Schluff-Ton und Feinsand mit hohem organischen Anteil (Pflan- zenhäksel)	
68 - 71 cm	Schillage	
71 - 186 cm	Wechsellagerung aus Schluff-Ton und Feinsand, zur Basis nimmt Schluff-Tonanteil zu und Schillgehalt ab 120 - 123 cm Schillage	
186 - 188 cm	Mittel- bis Grobsand (Quarzsand mit nicht gerundeten Kiesen), gut sortiert, gut gerundet, Muschelschalen	
188 - 230 cm	Schluff-Tonlagen (steif) mit wenig Feinsandeinschaltungen, minimale Schillgehalte, Pflanzenreste in Schluff-Tonlagen	
230 - 262 cm	Mittel- bis Grobsand, kantige Feinkiesanteile, im tieferen Bereich Tonschmitzen, Schill, teilweise ganze Hydrobien	

VC 2035 (IfG 10)

R 3457611 H 6013639	
Wassertiefe: 15.5 m (Lottiefe)	
Datum: 23.05.1997	
Uhrzeit: keine Angabe	
Bearbeiter: Dr. Klaus Schwarzer	
Reise: LITTORINA 05/97	

0 - 15 cm	Feinsand, Schill, hellbraun, zur Basis dunkler, bioturbat
15 - 23 cm	Wechsellagerung aus Schluff-Ton und Feinsand, Schill, nicht bioturbat
23 - 33 cm	Schill mit wenig Feinsand
33 - 36 cm	Fein- bis Mittelsand, wenig Schill, schwarz
36 - 45 cm	Grobsand, Schill, nicht geschichtet, schlecht gerundet
45 - 96 cm	Wechsellagerung von Fein- und Mittelsand mit Schill 85 cm 5 mm-mächtiges dunkles Band

VC 2036 (IfG 11)

54°14.372' N / 8°21.003' E (ED 50)
R 3457611 H 6012255
15.5 m (Lottiefe)
23.05.1997
keine Angabe
Dr. Klaus Schwarzer
LITTORINA 05/97

- 0 20 cm Fein- bis Mittelsand, Benthosorganismen
- 20 45 cm Fein- bis Mittelsand, Schlicklagen, zur Basis hin zunehmend

Anhang 2

VC 2041 (IfG 16)

54°16.015' N / 8°21.003' E (ED 50)
R 3457639 H 6015303
keine Angabe
25.05.1997
keine Angabe
Dr. Klaus Schwarzer
LITTORINA 05/97

- 0 14 cm Feinsand, durchlüftet, bioturbat, Schill, braun
- 14 31 cm Feinsand mit Schluff-Tonlagen, Schill, bioturbat, schwarz
- 31 47 cm Wechsellagerung von Schluff-Ton und Feinsand, Schill, Pflanzenhäksel in Schluff-Tonlagen, grau