Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen Hindenburgufer 247 24106 Kiel

0 9. MAI 2000

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE - Meerestechnik und Küsteningenieurwesen -

Schlußbericht zum Forschungsvorhaben MTK 0607

# Erfassung von Sedimenten geringer Dichte

Teilprojekt Geologisch-sedimentologische Charakterisierung

FORSCHUNGS- UND TECHNOLOGIEZENTRUM

WESTKÜSTE



von

Dr. H.-C. Reimers Dr. K. Ricklefs Dr. M. Störtenbecker Techn. Ang. E. Grenzer Techn. Ang. B. Meier

№33985-Lit.

Büsum November 1998

# Inhaltsverzeichnis

1 Finlaitung	
	1
1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung	1
1.2 Projektstruktur	2
1.3 Stand der Forschung	3
Lage der Untersuchungsgebiete	4
2 Methodik	6
2.1 Probennahme und Feldmessungen	6
2.1.1 Schwebstoff- und Sedimentbeprobung	6
2.1.2 CDT-Sonden-Profil	6
2.2 Laborarbeiten	7
2.2.1 Schlämm- und Siebanalysen	8
2.2.2 Laseroptische Partikelanalysen	8
2.2.3 Kohlenstoffgehalt	0
2.3 Verfahren der Datenanalyse und -auswertung	0
2.3.1 Korngrößenverteilungen und -statistiken	0
2.3.2 Analyse der mineralischen Komponenten und der Korngestalt	1
2.4 Zeitlicher Ablauf	1
3 Darstellung und Interpretation der Ergebnisse	2
3.1 Ergebnisse des Meßeinsatzes im Emdener Außenhafen	2
3.1.1 Flocken-/Korngrößenanalyse	2
3.1.2 CTD-Profile	5
3.2 Ergebnisse des Meßeinsatzes in der Unterelbe (Rhinplatte)	7
3.2.1 Ergebnisse der Korngestalt- und Mineralkomponentenanalyse 1	8
3.2.2 Analyse der Korngrößen und des organischen Kohlenstoffgehaltes	0
	U
4 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick	2
4.1 Faziesräume von Sedimenten mit geringer Dichte	2
4.2 Ausblick	4
5 Literaturverzeichnis	5
6 Anhang I: Darstellung der Kernprofile	7
7 Anhang II: Datenanhang 32	5
8 Erfolgskontrollbericht	7

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Struktur des Gesamtprojektes mit den beteiligten Projektpartnern sowie den Aufgaben und Zielen
Abb. 2: Ausschnitt eines Echolotschriebs, der im Bereich der Tideeider aufgenommen
wurde
Abb. 3: Lage der Kernpositionen des Meßeinsatzes im Emder Außenhafen und in der Ems am 20. und 30. Oktober 1007 (Komprofile s. Anhang)
Enis an 29. und 50. Oktober 1997 (Kempforne S. Annang).
Abb. 4: Lage der Kernpositionen des Meßeinsatzes an der Rhinplatte in der Unterelbe         am 22. April 1998 (Kernprofile s. Anhang).         5
Abb. 5: Flußdiagramm zum Ablauf der Laborarbeiten
Abb. 6: Vergleichende Darstellung der verwendeten Korngrößenmaße
Abb. 7: Funktionsweise des CIS-Lasergranulometers (LOT GmbH 1989)
<ul> <li>Abb. 8: REM-Aufnahme von Suspensionsflocken aus dem Emder Außenhafen (links).</li> <li>Der gesamte Bildausschnitt wird von einer Flockenstruktur eingenommen, die aus kleineren Aggregaten aufgebaut ist. REM-Detailaufnahme von Suspensionsflocken aus dem Emder Außenhafen (rechts). Die Vernetzung einzelner Partikelaggregate über Schleimfäden ist deutlich zu erkennen</li></ul>
Abb. 9: Korngrößenverteilung der unbehandelten Suspensionsprobe E (Höhe Randzelbrücke). Die einer Glockenkurve angenäherte Verteilung spricht für eine Sortierung der Partikel durch Transportvorgänge
<ul> <li>Abb. 10: Korngrößenverteilung der unbehandelten Fluid Mud-Probe E (Höhe Randzelbrücke). Die breite Kurvenform ohne eindeutiges Maximum ist ein Indiz für ein präsedimentäres Gefüge, in dem bereits ein mehr oder weniger intensiver Zusammenhalt zwischen allen Teilchen besteht</li></ul>
Abb. 11: Sediment- und Suspensionsprofil im Kernrohr der Position E: "Höhe Randselbrücke". Im Hintergrund ist die Einfahrt zu Nesserlander Schleuse zu erkennen
Abb. 12: Ergebnisse der CTD-Sondenmessung auf dem Profil durch den Emder Außenhafen zwischen Mole (K1) und Nesserlander Schleuse (K14)
<ul> <li>Abb. 13: Mikroskopaufnahmen der Suspensionsproben aus dem Kern C an der Rhinplatte. Der obere Teil zeigt eine Übersichtsaufnahme der unbehandelten Probe C1, der untere Teil eine Ausschnittvergrößerung</li></ul>
Abb. 14: Anteile der Hauptmineralkomponenten in der Grobfraktion (> 63 μm) der Kerne A bis D aus der Unterelbe

Abb. 15: Sandanteile (Gew% > 63 μm), Feststoffkonzentrationen und Anteile an         partikulärem Kohlenstoff in den Suspensionsproben der Kerne A bis D aus der         Unterelbe.	0
Abb. 16: Korngrößenverteilung der mit H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> und Ultraschall behandelten Suspensionsprobe A1 aus der Unterelbe (Rhinplatte)	1
<ul> <li>Abb. 17: Korngrößenverteilung der mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und Ultraschall behandelten</li> <li>Suspensionsprobe C1 aus der Unterelbe (Rhinplatte). Sie ist gegenüber der</li> <li>Probe A1 deutlich an Feinkornanteilen (Ton und Silt) abgereichert. Die einer</li> <li>Glockenkurve angenäherte Verteilung spricht für eine Sortierung der Partikel</li> <li>durch Transportvorgänge. 2</li> </ul>	2
<ul> <li>Abb. 18: Vergleichende Darstellung der Parameter Feinkornanteil (Gew% &lt; 63 μm) und POC der aussagekräftigsten Kerne von der Rhinplatte und aus dem Emder Außenhafen.</li> </ul>	3
Abb. 19: Schichtenfolge im Kern A des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt	7
Abb. 20: Schichtenfolge im Kern C des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt	8
Abb. 21: Schichtenfolge im Kern D des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt	9
Abb. 22: Schichtenfolge im Kern E des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt	0
Abb. 23: Schichtenfolge im Kern A der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.	1
Abb. 24: Schichtenfolge im Kern B der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.	2
Abb. 25: Schichtenfolge im Kern B von der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.	3

Abb. 26: Schichtenfolge im Kern D von der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil	1.
sind die Vol%-Anteile der Kornklassen $0 - 20 \mu m$ , $20 - 63 \mu m$ und $> 63 \mu m$	1
dargestellt	. 34
Abb. 27: Korngrößenparameter (Angaben in µm) und der Gehalt des partikulären	
organischen Kohlenstoffes (POC) der Proben aus dem Emder Außenhafen	. 35
Abb. 28: Korngrößenparameter (Angaben in $\mu$ m) und der Gehalt des partikulären	

organischen Kohlenstoffes (POC) der Proben aus der Unterelbe (Rhinplatte)....... 36

### Vorwort

In Gewässern, in denen komplexe Suspensions- und Sedimentschichtungen vorliegen, konnte bisher die Tiefenlage der Gewässersohle durch hydrographische Vermessungen mit herkömmlichen akustischen Verfahren nur unzureichend genau detektiert werden. Unklar ist auch welche Materialparameter und -eigenschaften diese Detektionsproblematik im einzelnen bedingen. Ein Beitrag zur Klärung dieser Fragen sollten die Ergebnisse des KFKI-Verbundprojektes "Erfassung von Sedimenten geringer Dichte" liefern.

Dem Projektleiter Herrn VDir. Dr. J. Behrens (BfG) danken wir für sein Engagement und für seine konstruktive Leitung des Forschungsprojekts.

Für die erfolgreiche Zusammenarbeit danken wir den Firmen EDEN, VORRATH & PARTNER und DR. GREISER UND PARTNER.

Des weiteren gilt unser besonderer Dank dem Niedersächsischen Hafenamt Emden für die Unterstützung bei den Probennahmen und Messungen auf der Ems und im Emder Hafen, die im Oktober des vergangenen Jahres durchgeführt wurden.

Beim Wasser- und Schiffahrtsamt Hamburg bedanken wir uns für die freundliche Unterstützung bei der Durchführung der Probennahme auf der Rhinplatte im April diesen Jahres.

# 1 Einleitung

Das interdisziplinäre Forschungsvorhaben "Erfassung von Sedimenten geringer Dichte", an dem die Firmen EDEN, VORRATH & PARTNER und DR. GREISER UND PARTNER sowie das Forschungs- und Technologiezentrum Westküste der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel beteiligt waren, hatte zwei grundlegende Ziele (s.a. Kap. 1.2):

- Die Erprobung und Anwendung eines akustischen Verfahrens zur eindeutige Detektion und Klassifizierung von Sedimenten geringer Dichte. Verwendete wurde das DSLP-Verfahren (Detection of Sediment-Layers and Properties) der Fa. EDEN, VORRATH & PARTNER.
- 2. Die Ermittlung von Indikatoren zu Beschreibung von Sedimenten geringer Dichte. Die erfaßten Materialparameter und –eigenschaften sollten in erster Linie zur Verifizierung der akustischen Messungen, die mit dem DSLP-Verfahren gemacht wurden, dienen.

### 1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Aufgaben der AG Küstengeologie / Küsteningenieurwesen des Forschungs- und Technologiezentrums im Rahmen dieses Projekts (s.a. Kap. 1.2) bestanden in:

- der Entnahme von Sedimentkernen, deren Beschreibung sowie Beprobung aus optisch abgrenzbaren Sedimentschichten und der darüberliegenden Schwebstoffsuspension im Emder Außenhafen und an der Rhinplatte (Unterelbe),
- der Aufnahme von CTD-Tiefenprofilen unter Berücksichtigung der Meßparameter Temperatur, Leitfähigkeit (Salinität) und Trübung an den Beprobungspositionen im Emder Außenhafen sowie in
- Laboruntersuchungen zur sedimentologischen Charakterisierung von anstehendem Sediment, Fluid Mud und Suspension: Korngrößenverteilungen, Korngestalt, Flockenaufbau, Mineralogie und Gehalt an organischem Kohlenstoff (POC).

Da bereits zahlreiche Untersuchungen zur Bestimmung der nautischen Tiefe und der sedimentologischen Eigenschaften von Sedimenten geringer Dichte vorliegen (s. Kap. 1.3), waren aus den Untersuchungsergebnissen dieses Teilprojektes keine grundsätzlich neuen Erkenntnisse im Bereich der sedimentologischen Grundlagenforschung zu erwarten. Vielmehr bestand die Aufgabe in der Erfassung notwendiger Materialparameter, die zur Auswertung der hydroakustischen Meßsignale unbedingt erforderlich sind.

# 1.2 Projektstruktur

Die nachfolgende Darstellung zeigt die Aufgaben des Forschungs- und Technologiezentrums Westküste (FTZ) innerhalb des Gesamtprojektes sowie seine Verknüpfung mit den Projektpartnern.



Abb. 1: Struktur des Gesamtprojektes mit den beteiligten Projektpartnern sowie den Aufgaben und Zielen.

### 1.3 Stand der Forschung

Wie bereits in Kapitel 1.1 angedeutet liegen bereits eine ganze Reihe von Untersuchungen zur Bestimmung der nautischen Tiefe und der sedimentologischen Eigenschaften des Fluid Mud vor (z. B. GRESIKOWSKI et al. 1996, PARKER & HOPPER 1994, PATZOLD & WOLTERING 1996, RECHLIN 1996, WURPTS et al. 1996).

Auch die Arbeitsgruppe Küstengeologie / Küsteningenieurwesen des FTZ konnte in der Vergangenheit bereits mehrfach Erfahrungen mit der Erfassung besonders feinkörniger, fließfähiger Sedimente und Suspensionen vor allem im Bereich des Eider-Ästuars sammeln (RICKLEFS 1989). Die Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt eines Echolotschriebs, der in der Tideeider mit einem herkömmlichen Echolot aufgezeichnet wurde. Die von links nach rechts an Höhe zunehmende Struktur mit unscharfer Untergrenze erwies sich bei der Beprobung als ein sehr feinkörniges Sedimentpaket mit engem Kornspektrum, das noch nicht merklich verfestigt war.



Abb. 2: Ausschnitt eines Echolotschriebs, der im Bereich der Tideeider aufgenommen wurde.

Sehr intensive Untersuchungen zur Verbreitung und den Eigenschaften sowohl von Fluid Mud als auch von Suspensionen mit besonders hohen Feststoffkonzentrationen wurden von KINEKE und STERNBERG (1995, 1996) im Bereich des Amazonas-Schelfs durchgeführt. Ihren Ergebnissen zu Folge verhält sich Fluid Mud extrem unterschiedlich im Gegensatz zu geringer konzentrierten Suspensionen und hat zudem einen erheblichen Einfluß auf den Sediment/Wasseraustausch sowie auf das Transport- und Sedimentationsverhalten.

Eine Abhängigkeit der Sedimentationsgeschwindigkeit feinkörniger Partikel von der Konzentration des suspendierten Materials ist bereits seit vielen Jahren bekannt (KRONE 1972, BURT & STEVENSON 1983, DELO & OCKENDON 1992). Unter Naturbedingungen beginnt ab einer Feststoffkonzentration von 2 g / 1 ein Phänomen, das als *hindered settling* bezeichnet wird. Dabei kommt es zu intensiven Wechselwirkungen zwischen den Partikeln und dem sie umgebenden Fluid. Während die Sinkgeschwindigkeit von Partikeln bei Konzentrationen zwischen 2 und 10g / 1 zunimmt, erfolgt oberhalb dieses Wertes eine deutliche Abnahme der Sinkgeschwindigkeit (PEY 1994).

### Lage der Untersuchungsgebiete

Die Untersuchungen erfolgten in zwei Meß- und Beprobungskampagnen. Die erste wurde vom 29.-30. Oktober 1997 im Emder Außenhafen und in der Ems durchgeführt. An fünf Positionen wurden Sedimentkerne entnommen. Zeitgleich dazu fanden die akustischen Messungen mit dem DSLP-Verfahren statt. Die Lage der Kernpositionen ist aus der Abbildung 3 zu ersehen. Des weiteren wurde ein kombiniertes Echolot-CTD-Profil von der Nesserlander Schleuse zur Mole gefahren (s. Abb. 3 u. Endb. der Fa. EDEN; VORRATH & PARTNER). Im Rahmen der zweiten Meß- und Beprobungskampagne am 22. April 1998 wurden vier Sedimentkerne in der Unterelbe im Bereich der Rhinplatte entnommen (s. Abb. 4). Auch hier wurden die akustischen Messungen parallel dazu durchgeführt.



Abb. 3: Lage der Kernpositionen des Meßeinsatzes im Emder Außenhafen und in der Ems am 29. und 30. Oktober 1997 (Kernprofile s. Anhang).



Abb. 4: Lage der Kernpositionen des Meßeinsatzes an der Rhinplatte in der Unterelbe am 22. April 1998 (Kernprofile s. Anhang).

## 2 Methodik

In diesem Kapitel werden die im Gelände und im Labor durchgeführten Arbeiten sowie die anschließenden Analysen beschrieben und erläutert.

### 2.1 Probennahme und Feldmessungen

### 2.1.1 Schwebstoff- und Sedimentbeprobung

Die Beprobung der Sedimente und der Suspensionen erfolgte mit zwei Schwereloten von 1 und 2 m Länge. Das Schwerelot mit einer Länge von 2 m war ein sogenanntes Rumohr-Lot, das besonders für die Beprobung von weichen, wenig verfestigten Sedimenten geeignet ist. Parallel zur Kernentnahme wurde die akustischen Vermessung der Sedimentschichten durchgeführt. Bereits unmittelbar nach der Probennahme wurden die im Kernrohr optisch voneinander abgrenzbaren Sedimentschichten vermessen und beschrieben. Von diesen Schichten wurde das Material für die späteren Laboranalysen entnommen (s. Kap. 2.2). Zunächst wurden die Suspensions- und Fluid-Mud-Schichten mit einer Peristaltikpumpe abgepumpt. Darauf erfolgte die Beprobung der festeren Sedimentschichten.

### 2.1.2 CDT-Sonden-Profil

Im Emder Außenhafen wurde parallel zu einem Echolotprofil, das mit einem herkömmlichen Vermessungsecholot und dem DSLP-Verfahren aufgezeichnet wurde, Messungen mit einer CTD-Sonde (Conductivity-Temperature-Depth) durchgeführt. Die Sonde war mit einem Leitfähigkeits- (Salinität), einem Temperatur, einem Druck- und einem Trübungssensor bestückt. Das Profil erstreckte sich von der Nesserlander Schleuse zur Hafenmole (s. Abb. 3).

# 2.2 Laborarbeiten



Der Gang der Laborarbeiten ist dem nachfolgenden Flußdiagramm (Abb. 5) zu entnehmen.

Abb. 5: Flußdiagramm zum Ablauf der Laborarbeiten.

# 2.2.1 Schlämm- und Siebanalysen

Die Schlämm- und Siebanalysen erfolgten nach einem seit Jahren am Geologischen Institut der Universität Kiel, Arbeitsgruppe Küstengeologie, bewährten Verfahren (KÖSTER 1979) (s. Abb. 5).

Gesiebt wird im Trockensiebverfahren nach den Richtlinien der American Society of Testing Materials (ASTM). Die Siebabstufung beträgt in der Regel 0.25 PHI<sup>o1</sup> (s. a. Abb. 6).



Abb. 6: Vergleichende Darstellung der verwendeten Korngrößenmaße.

# 2.2.2 Laseroptische Partikelanalysen

Um die Korngrößenfraktionen der überwiegend sehr feinkörnigen Sedimente und Suspensionen zu bestimmen, wurden diese mit einem Lasergranulometer untersucht. Das verwendete CIS-Lasergranulometer ist ein aus der industriellen Produktüberwachung stammendes Partikel-Analysegerät (computerized inspection system). Mit Hilfe eines laseroptischen Verfahrens werden die Korngrößen und die Partikelzahl erfaßt (LOT GmbH 1989):

Ein Laserstrahl wird durch ein schnell rotierendes Prisma dermaßen abgelenkt, daß eine kreisförmige Strahlenebene in der Probenzelle entsteht. Diese wird von einer Photozelle detektiert. Kreuzt ein Partikel den Strahlengang, so wird über die Abschattungsdauer der Photozelle und die Rotationsgeschwindigkeit des Laserstrahls dessen Kugel-Äquivalent-Durchmesser auf folgende Weise bestimmt :

$$S = V \cdot T$$

mit S = Korndurchmesser  $[\mu m]$ 

V = Rotationsgeschwindigkeit des Laserstrahls [m/s]

T = Abschattungszeit der Photozelle [ns]

Diese Berechnung beruht auf der Annahme, daß die Bewegung des Teilchens im Strahlengang gegenüber der Rotationsgeschwindigkeit des Laserstrahls zu vernachlässigen ist.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> PHI<sup>o</sup> =  $-\log_2 S$ ; S= Korngröße in mm



Obwohl das Gerät in der Lage ist, zwischen randlich und vollständig erfaßten Partikeln zu unterscheiden, kann es dennoch nicht die Form oder die Lage im Strahlengang erfassen.

Abb. 7: Funktionsweise des CIS-Lasergranulometers (LOT GmbH 1989).

Um später die Korngrößenverteilungen der einzelnen Sedimentproben untereinander vergleichen zu können, war es notwendig, den Durchmesser der <u>Einzelkörner</u> zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden die Sedimentproben vor der eigentlichen Messung entsprechend vorbereitet: Zum einen mußten vorhandene Aggregate gelöst und die Bildung neuer verhindert werden. Dies wurde dadurch erreicht, daß man die Probe mit Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) aufschlämmte, mit Natriumpyrophosphat ( $Na_4P_2O_7 \cdot 10 H_2O$ ) versetzte und mit Ultraschall behandelte. Das Wasserstoffperoxid wirkt dabei als Oxidationsmittel und löst vorhandene organische und anorganische Akkumulate. Das Natriumpyrophosphat verhindert als Anticoagulationsmittel erneute Aggregatbildung, indem es die Austauschflächen mit einwertigen Ionen besetzt.

Zur Bestimmung der Flockengröße wurden die Proben unmittelbar nach dem Meßeinsatz unbehandelten analysiert.

Die Messungen erfolgten im Durchflußverfahren in Form von jeweils zehn 1-minütigen Meßintervallen, bei denen die vorbereiteten Probenmengen quantitativ erfaßt wurden. Während eines solchen 10-minütigen Meßzeitraumes konnten so ca. 30.000 - 80.000 Partikel erfaßt werden. Da es sich bei den Sedimenten hauptsächlich um Suspensionen handelte, wurde ein Meßbereich von 0,5 µm bis 150 µm gewählt<sup>2</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Beim CIS-Lasergranulometer lassen sich zwei Meßbereich mit 0,5 - 150 μm sowie 1 - 300 μm wählen.

### 2.2.3 Kohlenstoffgehalt

Die bei weitem wichtigste Karbonatverbindung in marinen, fluvialen Sedimenten ist das Kalziumkarbonat (CaCO<sub>3</sub>). Seine Gehalte können zwischen 0 und 100 % variieren. In geringen Mengen können auch Magnesiumkalzit, Dolomit und einige andere Karbonate vorhanden sein. Die Karbonatgehalte sind fast ausschließlich biogenen Ursprungs.

Die Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff (POC) variieren zwischen << 0,1 % in stark oxischen Sedimentschichten und 4% in vorwiegend schlickigen anoxischen Lagen. Da organisch gebundener Kohlenstoff maßgeblich an den diagenetischen Prozessen, insbesondere in den frisch abgelagerten obersten Sedimentschichten, beteiligt ist, sollte die Bestimmung dieser Kenngröße (POC) weitere Informationen über die Eigenschaften der Sedimente mit geringer Dichte liefern.

Für die Bestimmung der Karbonatgehalte wird das  $CO_2$  benutzt, das bei der Säurebehandlung oder bei der thermischen Zersetzung freigesetzt wird. Karbonat- $CO_2$  wird durch Säurezugabe zur eingewogenen Probe freigesetzt. Organisch gebundener Kohlenstoff (POC) wird durch Glühen der Probe im  $O_2$  - Strom zu  $CO_2$  oxidiert. Da hierbei auch das Karbonat- $CO_2$  quantitativ freigesetzt wird, ergibt sich die Menge an POC aus der Differenz der Ergebnisse der Glühbestimmung und der Karbonat- $CO_2$  - Bestimmung.

Das  $CO_2$  wird nach Reinigung in eine Bariumperchloratlösung eingeleitet, die auf einen pH-Wert von ca. 10 eingestellt ist. Die hierdurch bewirkte Erniedrigung des pH-Wertes wird coulometrisch auf den Ausgangs-pH-Wert zurücktitriert. Die dafür benötigte Elektrizitätsmenge ist ein unmittelbares Maß für die in der Bariumperchloratlösung absorbierte Menge an  $CO_2$ .

### 2.3 Verfahren der Datenanalyse und -auswertung

### 2.3.1 Korngrößenverteilungen und -statistiken

Im Rahmen der Untersuchungen wurden 120 Sedimentproben mit dem Lasergranulometer analysiert. Das Ergebnis jeder Messung wird in einer 0,5  $\mu$ m Stufung ausgegeben, woraus sich bei einem Meßbereich von 0,5 - 150  $\mu$ m 300 Korngrößenintervalle ergeben. Die daraus resultierende Datenmenge ist in der Form der Rohdaten unüberschaubar und macht somit eine geeignete Zusammenfassung bzw. Parametrisierung der Meßwerte erforderlich.

Der Anteil bestimmter Kornklassen am Gesamtsediment, auch in der Form eines 3-Komponentensystems (s. Abbildungen neben den Kernprofilen im Anhang), wurde für die Daten der Partikelanalyse mit dem Programm FraPhi, das am FTZ entwickelt wurde, berechnet. Die Anzahlverteilung wird dabei in eine Volumenverteilung umgerechnet. Aus dieser Volumenverteilung können die korngrößenstatistischer Parameter *Modal-* und *Medianwert* direkt ermittelt werden. Die Parameter *Mittlere Korngröße* und *Sortierung* werden nach der Momenten-Methode (TUCKER 1985; MCMANUS 1991) berechnet: Sie geben einen schnelleren Überblick über die Korngrößenverteilung und damit auch über bestimmte Eigenschaften eines Sediments.

Das 1. Moment ist die mittlere Korngröße:  $\overline{X} = \sum f m \Phi / 100$ 

Das 2. Moment gibt die Standardabweichung, bezogen auf die Korngrößenverteilung, also die Sortierung an:  $\sigma = \sqrt{\sum f (m \Phi - \overline{X})^2 / 100}^{(3)}$ 

### 2.3.2 Analyse der mineralischen Komponenten und der Korngestalt

Die Bestimmung der mineralischen Komponenten und der Korngestalt der Partikel und Flokken in den Suspensionsproben erfolgte durch Analyse unter verschiedenen Mikroskopen. Für die sehr feinkörnigen Proben aus dem Emder Außenhafen wurde ein Rasterelektronenmikroskop, für die deutlich grobkörnigeren Suspensionen aus der Unterelbe ein lichtoptisches Mikroskop gewählt.

### 2.4 Zeitlicher Ablauf

Die Entnahme sowie die sedimentologische Ansprache und Beprobung der 5 Kerne im Emder Außenhafen und in der Ems erfolgte am 29. und 30. Oktober 1997 von dem Meßschiff "Delphin" aus. Während dieses Geländeeinsatzes wurden ebenfalls die CTD-Sondenprofile aufgenommen.

Am 22. April 1998 wurden in der Unterelbe in Höhe der Rhinplatte 4 Sedimentkerne mit einem modifizierten "Rumohr-Lot"<sup>4</sup> von dem Meßschiff "Twielenfleeth" aus entnommen. Auch hier erfolgte die sedimentologische Ansprache und Beprobung bereits an Bord.

Die Auswertung des Probenmaterials (Korngrößen-und POC-Analysen sowie der Mikroskopund REM-Aufnahmen) und der CTD-Messungen ist abgeschlossen. Da an Position B (Emder Fahrwasser) von 0-180 cm lediglich Wasser ohne Suspension oder Fluid Mud mit dem Kernrohr entnommen wurde und von 180-200 cm bereits anstehender Schlick folgte, wurden hier keine Laboruntersuchungen vorgenommen.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>In den Formeln 1 u. 2 steht f für den prozentualen Anteil jeder Korngrößenfraktion, bezogen auf das Gesamtgewicht/-volumen der Probe und m  $\Phi$  für den mittleren Wert einer jeden Korngrößenfraktion (in Phi-Einheiten).

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Besondere Form des Schwerelots, die besonders für weichere Sedimente geeignet ist.

# 3 Darstellung und Interpretation der Ergebnisse

# 3.1 Ergebnisse des Meßeinsatzes im Emdener Außenhafen

# 3.1.1 Flocken-/Korngrößenanalyse

Unter Anwendung gebräuchlicher Korngrößenanalyseverfahren, d. h. bei vollständiger Dispergierung des bindigen Materials und der Bestimmung der Korndurchmesser von einzelnen Sand-, Schluff- und Tonpartikeln, weisen alle Proben eine sehr ähnliche Zusammensetzung auf (siehe Tab. 1). Unterschiede sind kaum vorhanden, es zeigt sich jedoch eine gewisse Tendenz zur Vergröberung des Materials zum Liegenden hin.

Die in den Proben ermittelten Gesamtgehalte an organischem Kohlenstoff (TOC) liegen mit 3 bis 4 % in einem sehr engen Spektrum, was in Anlehnung an die granulometrischen Ergebnisse die starke Ähnlichkeit der untersuchten Proben unterstreicht. Eine vollständige graphische Zusammenstellung der Kernbeschreibungen und der Laboruntersuchungen (CIS-Lasergranulometrie und POC) befindet in Anhang.

	Korngrößen	nanteil der Frakt	tion [Gew.%]	11.5
Position/ Probe	< 63 µm	< 5 μm an < 63μm	< 5 μm an < 20μm	Medianwert <sub>.</sub> [µm]
A Suspension	100,0	53,7	57,2	5
A Fluid Mud	100,0	51,0	58,8	6
A Anst, 160-185	98,2	36,2	46,7	9
A Anst, 185-200	90,0	31,9	40,8	10
C Suspension	100,0	46,9	55,9	7
C Fluid Mud	100,0	42,8	49,6	7
C Anst, 171-178	90,0	32,0	41,7	13
C Anst, 178-200	96,1	29,2	39,1	12
D Suspension	100,0	42,3	47,7	7
D Fluid Mud	100,0	55,3	58,9	11
D Anst, 172-200	100,0	32,5	32,9	10
E Suspension	100,0	48,2	52,2	6
E Fluid Mud	100,0	48,7	54,2	6
E Anst. 175-200	100,0	41,9	48,7	7

**Tab. 1**: Aufstellung der Meßdaten aus der CIS-Korngrößenanalyse der mit Hilfe von Ultraschall dispergierten Suspensions-, Fluid Mud- und Schlickproben des Emder Außenhafens.

Da Tonteilchen aber nicht als einzelne Partikel, sondern als Partikelagglomerate transportiert werden, ist versucht worden, das Größenspektrum dieser Schwebstoffflocken zu erfassen. Weit aussagekräftiger als reine Kornverteilungskennwerte (siehe Tab. 2) ist in diesem speziellen Fall die übergreifende Betrachtung der gesamten Korngrößenverteilungskurve. In den Abbildungen 9 und 10 sind diese Verteilungen von Suspension und Fluid Mud an Position E (Höhe Randselbrücke) exemplarisch gegenübergestellt (s. Abb.11). Es kann deutlich zwischen beiden Materialien unterschieden werden. Die Korngrößenverteilung der Suspension nähert sich eher einer Glockenkurve mit einem ausgeprägten Maximum an, was für eine Sortierung der Partikel durch Transportvorgänge spricht. Der erst durch vorsichtiges Aufschütteln analysierbar gemachte Fluid Mud ist hingegen durch eine breite Verteilungskurve ohne deutliches Maximum gekennzeichnet. Dies weist darauf hin, daß bereits ein präsedimentäres Gefüge ausgebildet ist, das Material also nicht mehr an Transportvorgängen teilnimmt. Es besteht ein mehr oder weniger intensiver Zusammenhalt zwischen allen Teilchen, der künstlich durch das Aufschütteln aufgebrochen wurde. Wie die Verklebungen von Partikeln zu größeren Flockenbzw. Gefügeeinheiten aussehen kann, zeigen die REM-Aufnahmen von Suspensionsflocken (Abb. 8).

Tab. 2: Aufstellung der Meßdaten aus der CIS-Korngrößenanalyse der unbehandelten Sus-pensions- und Fluid Mud-Proben des Emder Außenhafens.

CIS-Korngröße	enanalyse, unb	ehandelte Prober	1		
	Korngrößen	anteil der Frakti	on [Gew.%]	spez. Kennwe	rte [µm]
Position/ Probe	< 63 µm	< 5 μm an < 63μm	< 5 μm an < 20μm	Medianwert	max. Korngröße
A Suspension	99,2	17,8	27,2	15	75
A Fluid Mud	93,9	22,6	34,6	17	100
C Suspension	80,6	4,4	23,5	46	110
C Fluid Mud	86,1	22,9	33,5	18	110
D Suspension	84,8	5,3	18,1	37	140
D Fluid Mud	98,1	26,0	34,5	11	80
E Suspension	81,8	6,5	22,0	39	140
E Fluid Mud	94,3	25,9	36,8	14	100



Abb. 8: REM-Aufnahme von Suspensionsflocken aus dem Emder Außenhafen (links). Der gesamte Bildausschnitt wird von einer Flockenstruktur eingenommen, die aus kleineren Aggregaten aufgebaut ist. REM-Detailaufnahme von Suspensionsflocken aus dem Emder Außenhafen (rechts). Die Vernetzung einzelner Partikelaggregate über Schleimfäden ist deutlich zu erkennen.



Abb. 9: Korngrößenverteilung der unbehandelten Suspensionsprobe E (Höhe Randzelbrücke). Die einer Glockenkurve angenäherte Verteilung spricht für eine Sortierung der Partikel durch Transportvorgänge.



Abb. 10: Korngrößenverteilung der unbehandelten Fluid Mud-Probe E (Höhe Randzelbrükke). Die breite Kurvenform ohne eindeutiges Maximum ist ein Indiz für ein präsedimentäres Gefüge, in dem bereits ein mehr oder weniger intensiver Zusammenhalt zwischen allen Teilchen besteht.



Abb. 11: Sediment- und Suspensionsprofil im Kernrohr der Position E: "Höhe Randselbrücke". Im Hintergrund ist die Einfahrt zu Nesserlander Schleuse zu erkennen.

# 3.1.2 CTD-Profile

Um über die Kernentnahmen hinaus auch Informationen über die großräumigen Verhältnisse im Wasserkörper zu erhalten, wurden auf einem 1,4 km langen Meßprofil zwischen der Mole zum Emder Fahrwasser (Position K1) und der Nesserlander Schleuse (Position K14) die Parameter Temperatur, Leitfähigkeit (Salinität) und Trübung mit Hilfe einer CTD-Sonde erfaßt (siehe Abb. 12).



-10

-12-

Ó



K-1 ģ

Abb. 12: Ergebnisse der CTD-Sondenmessung auf dem Profil durch den Emder Außenhafen zwischen Mole (K1) und Nesserlander Schleuse (K14).

Es wird ersichtlich, daß mit Hilfe der Meßdaten die Tiefenlage der Grenze Fluid Mud / Suspension deutlich ermittelt werden konnte. Innerhalb des Fluid Mud zeigen die Sondendaten jedoch einen kontinuierlichen Temperaturanstieg von über 5 °C auf. Ob es sich bei diesem Phänomen um reale Daten oder etwa Fehlmessungen bzw. einen Fehler in der Temperaturerfassung der CTD-Sonde handelt, konnte nicht zweifelsfrei geklärt werden. In diesem Zusammenhang ist geplant, bei zukünftigen Meßkampagnen einen weiteren, unabhängig arbeitenden Temperatursensor einzusetzen.

Außerdem zeigte sich, daß die im Zuge der Kernentnahmen ermittelten Schichtmächtigkeiten deutlich von den Ergebnissen sowohl der CTD-Messungen als auch der hydroakustischen Erfassungen abwichen. Aus diesem Grund wurde das Kernentnahmegerät (Schwerelot) bis zum nächsten Meßeinsatz modifiziert.

### 3.2 Ergebnisse des Meßeinsatzes in der Unterelbe (Rhinplatte)

Im Gegensatz zu den Kernen aus dem Emder Außenhafen, in denen im Hangenden der festen Sohle zunächst Fluid Mud und dann eine Suspensionsschicht vorgefunden wurde, folgte in den Kernen der Rhinplatte oberhalb der optisch erkennbar festen Sedimentschichten unmittelbar die Suspensionsschicht. Deren Feststoffkonzentrationen lagen mit Werten von über 25 g / l an den Positionen A und B bis zu 14 – 15 g / l an den Positionen C und D (s. Abb. 15) um ein vielfaches über denen im Emder Außenhafen (10-100-fach höher).

Ein großer Teil des Sestons in den Kernen der Rhinplatte sedimentierte bereits während der Probennahme innerhalb kurzer Zeit. Da im Kernrohr aber eine optisch klar erkennbare Grenze zwischen dem frisch sedimentierten Material und der konsolidierten Sohle bestehen blieb, konnte die Beprobung der Suspensionen auch noch nach einer Standzeit der Kernrohre von mehr als einer Stunde erfolgen ohne die ursprünglichen Schichtungsverhältnisse zu verfälschen. Diese verzögerte Beprobung ergab sich aus den kurzen zeitlichen Abständen zwischen den Kernentnahmen, die nur die Grobansprache und Vermessung der Sedimentprofile zuließen. Eine rasche Abfolge der hydroakustischen Messungen und Kernentnahmen war jedoch erforderlich, da der einsetzende Ebbstrom den Einsatz der Schwerelote zunehmend erschwerte.

# 3.2.1 Ergebnisse der Korngestalt- und Mineralkomponentenanalyse

Im Gegensatz zu den Suspensionsflocken aus dem Emder Außenhafen konnten aufgrund der größeren Einzelkorndurchmesser an den Proben aus der Unterelbe auch lichtmikroskopische Aufnahmen und Analysen durchgeführt werden.

Der obere Teil der Abbildung 13 zeigt eine Übersichtsaufnahme der unbehandelten Probe C1, in der vorwiegend Quarzkörner mit wenig spherischer sowie angularer bis subangularer Korngestalt (POWER 1953) und organische Schwebstoffkomponenten zu sehen sind. Im unteren Teil ist ein Ausschnitt vergrößert dargestellt. Hier ist ein gut gerundetes, spherisches Quarzkorn zu erkennen, das relativ fest in organischem Matrixmaterial eingebunden ist.



Abb. 13: Mikroskopaufnahmen der Suspensionsproben aus dem Kern C an der Rhinplatte. Der obere Teil zeigt eine Übersichtsaufnahme der unbehandelten Probe C1, der untere Teil eine Ausschnittvergrößerung. Die gute Rundung der Quarzkörner mit kleinerem Durchmesser deutet auf ausgeprägte Transportbeanspruchung hin.

Die mineralische Zusammensetzung der Grobfraktion (> 63  $\mu$ m) in der Suspension wurde durch Auszählen der Hauptmineralkomponenten Quarz, Feldspäte und Glimmer sowie des Mikroschills (z.B. Foraminiferen- und Diatomeenskelette) und der stark verfestigten Feinkornaggregate ermittelt. Je Probe wurden 600 – 800 Partikel ausgezählt und bestimmt.





Der Abbildung 14 ist zu entnehmen, daß mit Ausnahme der Kernposition D der Anteil der Quarzkörner in der Suspension von Position A zur Position B zunimmt, wohingegen die Zahl an stabilen Aggregaten deutlich abnimmt. Die Anteile an Feldspäten, Glimmer und Mikroschill verändern sich dagegen nicht signifikant. An der Kernposition D sind die Quarzkornanteile wieder geringer, dafür ist die Zahl der Aggregate um ein vielfaches höher als an der Position C.

# 3.2.2 Analyse der Korngrößen und des organischen Kohlenstoffgehaltes

Eine ähnliche Tendenz wie bei der mineralischen Zusammensetzung der Feststoffpartikel von der Kernposition A zur Position C ist auch im Gewichtsanteil der Sandkornfraktion am Gesamtsediment, im Gehalt an partikulärem organischen Kohlenstoff und in der Feststoffkonzentration zu verzeichnen. Dies geht deutlich aus den in Abbildung 15 dargestellten Meßwerten hervor. Lediglich die Werte der Kernposition D. passen nicht dazu. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, daß zum einen die Kernpositionen auf einem Profil in Richtung zur Elbmündung hin liegen. Die Beprobung begann an der Position A während der Kenterung der Tide. An den folgenden Kernpositionen nahm der einsetzende Ebbstrom immer mehr zu. Zum anderen konnte bei der Beprobung nur der untere Teil der Suspensionsschicht erfaßt werden. In Anbetracht dieser Umstände läßt sich aus den Ergebnissen folgern, daß einerseits mit zunehmender Ebbstromgeschwindigkeit mehr und zudem gröberes Material resuspendiert wird, sich aber andererseits die Suspensionswolke bis in weit höhere Gewässerschichten ausbreitet. Dadurch erniedrigt sich jedoch die Gesamtkonzentration der unteren Suspensionsschicht in der dafür der prozentuale Anteil der Sandkornfraktion (Quarzpartikel) am Gesamtsediment steigt.



**Abb. 15**: Sandanteile (Gew.-% > 63 μm), Feststoffkonzentrationen und Anteile an partikulärem Kohlenstoff in den Suspensionsproben der Kerne A bis D aus der Unterelbe.

Die hoch konzentrierten Suspensionen aus der Unterelbe erwiesen sich als wesentlich instabiler und dünnflüssiger im Gegensatz zu den bis 4 m mächtigen Fluid-Mud-Schichten aus dem Emder Außenhafen. Aus diesem Grund wurden bei den Proben der Rhinplatte nur die Korngrößenverteilung des dispergierten und von organischen Bestandteilen befreiten Materials verglichen. Die Schwebstoffe der bodennahen Suspension an der Position A zeigen eine polymodale Korngrößenverteilung (Abb. 16). Die Hauptmaxima liegen bei etwa 25 µm und 45 µm. Die mittlere Korngröße fällt in den Bereich des ersten Hauptmaximums.





Von der ersten Kernposition A zu den folgenden verschieben sich in der Suspensionschicht die Maxima der Korngrößenverteilung in den grobkörnigeren Bereich (s. Abb. 17). Zudem werden die feinkörnigeren Fraktionen Ton und Silt deutlich abgereichert. Dies spricht dafür, daß mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit gröberes Sediment resuspendiert wird. Gleichzeitig können leichteren Suspensionsflocken und feinkörnige Einzelpartikel, die vorwiegend aus Ton und Silt bestehen<sup>5</sup>, in höhere Gewässerschichten transportiert werden. Auch die mehr einer Glockenkurve angenäherte Verteilung spricht für eine Sortierung der Partikel durch Transportvorgänge.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Die Grenze zwischen Komponenten, die besonders zur Aggregat- oder Flockenbildung neigen, und gröberen Gemengeteilen, die zumeist als einzelne Mineralkörner transportiert werden, legt RICKLEFS (1989) in den Grobsiltkornbereich bei 20 - 30 μm.



Abb. 17: Korngrößenverteilung der mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> und Ultraschall behandelten Suspensionsprobe C1 aus der Unterelbe (Rhinplatte). Sie ist gegenüber der Probe A1 deutlich an Feinkornanteilen (Ton und Silt) abgereichert. Die einer Glockenkurve angenäherte Verteilung spricht für eine Sortierung der Partikel durch Transportvorgänge.

### 4 Zusammenfassende Diskussion und Ausblick

#### 4.1 Faziesanalyse von Sedimenten mit geringer Dichte

Anhand der granulometrischen und mineralogischen Untersuchungsergebnisse aus dem Emder Außenhafen und von der Rhinplatte ließen sich zwei grundlegend unterschiedliche Sedimentfaziesbereiche beschreiben. Zwar konnte in beiden Untersuchungsgebieten im Hangenden der festen Sohle eine hoch konzentrierte Suspensionsschicht erfaßt werden, jedoch unterschieden sich diese beiden sowohl durch ihr Festigkeitsverhalten als auch durch ihre Korngrößenzusammensetzung und ihren Gehalt an organischem Kohlenstoff (s. Abb. 18). Noch deutlicher zeigten sich diese Unterschiede in den Sedimenten der festen Sohle.

Die Grenzen und die Mächtigkeit dieser hoch konzentrierten Sedimentsuspensionen ließen sich mit herkömmlichen Vermessungsecholoten bisher nur unzureichend bestimmen.



Abb. 18: Vergleichende Darstellung der Parameter Feinkornanteil (Gew.-% < 63 μm) und POC der aussagekräftigsten Kerne von der Rhinplatte und aus dem Emder Außenhafen.

Im Emder Außenhafen handelte es sich bei der, im Hangenden der konsolidierten Sedimentschichten angetroffene Suspension um eine Fluid-Mud-Lage. Diese zeichnete sich durch starke granulometrische Gleichförmigkeit und ein deutliches intergranulares Strukturgefüge aus. Die Bedeutung von Transport- und Austauschprozessen in hoch konzentrierten Suspensionen für die Detektionsproblematik zeigte sich erst beim zweiten Meßeinsatz an der Rhinplatte. Hier konnte im Gegensatz zu den Proben aus dem Emder Hafen eine hoch konzentrierte bodennahe Suspension erfaßt werden, die starken strömungsbedingten Veränderungen unterlag. Diese Veränderungen wirkten sich sowohl räumlich als auch in der Sedimentzusammensetzung aus. Während der Stauwasserzeit (Kenterpunkt der Tide) hatte diese Suspension am Punkt A (s. Abb. 4 u. 15) eine sehr hohe Konzentration von über 25 g / 1 und die Sedimentpartikel wiesen ein breites Korngrößenspektrum auf. Den Ergebnissen der DSLP-Messungen zur Folge war diese Suspensionsschicht mit 0,5 - 1,5 m eher geringmächtig.

Mit zunehmender Ebbstromgeschwindigkeit verringerte sich die Feststoffkonzentration im bodennahen Bereich. Gleichzeitig verschob sich das Korngrößenspektrum in den grobkörnigeren Bereich. Durch die DSLP-Messungen ließ sich eine Mächtigkeit der Suspensionsschicht von bis zu 5 m bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten nachweisen. Zudem konnte sie mit diesem Verfahren in Schichten unterschiedlicher Konzentrationen unterteilt werden.

Hieraus läßt sich folgern, daß sich die hoch konzentrierte bodennahe Suspension mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit transportbedingt über einen größeren Wassertiefenbereich ausbreitet. Zwar wird an der Sohle weiteres Sediment resuspendiert, dennoch erniedrigt sich die Gesamtkonzentration im bodennahen Bereich. Mit abnehmender Strömungsgeschwindigkeit kann wieder mehr Material absinken und sedimentieren. In den höheren Suspensionsschichten kommt es bei Feststoffkonzentrationen von 2 - 10 g / 1 zu einem bereits von BURT & STEVENSON (1983) beschriebenen beschleunigten Absinken der Partikel. Dadurch erhöht sich aber im sohlnahen Bereich die im Wasser befindliche Feststoffmenge. Ab Konzentrationen von 10 g / 1 setzt laut PEY (1994) das deutlich verlangsamte *hindred settling* ein, so daß sich diese hoch konzentrierte bodennahe Suspensionsschicht über den Verlauf der Stillwasserzeit in ihrer Mächtigkeit weniger verändert. Zu entsprechenden Ergebnissen gelangt auch die Fa. EDEN, VORRATH & PARTNER mit ihren DSLP-Verfahren.

### 4.2 Ausblick

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens konnte an zwei Orten mit unterschiedlicher Detektionsproblematik die Sedimente und Materialeigenschaften, die diese Problematik bedingen, erfaßt werde. Zugleich war es mit dem neuen DSLP-Verfahren möglich die Grenzen und Mächtigkeiten der hoch konzentrierten Suspensionen zu bestimmen. Da es aber bei Sedimenten geringer Dichte viele weiter fazielle Unterschiede gibt, sollten entsprechende Untersuchungen in anderen Gebieten mit ähnlichen Detektionsproblematiken fortgeführt werden.

# 5 Literaturverzeichnis

- BURT T.N. & STEVENSON J.R. (1983): Field settling velocity of Thames mud. Hydraulics Research Ltd, - Wallingford Report IT 251.
- DELO E.A. § OCKENDEN M.C. (1992):Estuarine muds manual. Hydraulics Research Ltd, -Wallingford Report SR 309.
- GRESIKOWSKI, S., HARMS, H., GREISER, N., GAMNITZER, R., WURPTS, R. (1996): Fluid Mud im Emder Außenhafen. - Seine Herkunft und das Transportverhalten, - Hansa, 133(1996), 11:73-76.
- KINEKE, G.C. & STERNBERG, R. W. (1995): Distribution of fuid muds on the Amazon continental shelf, – Marin Geology, **125**:193-233.
- KINEKE, G.C. & STERNBERG, R. W. et al. (1996): Fuid mud processes on the Amazon continental shelf, – Continental Shlf Research, 16: 667-696.
- KÖSTER, R. (1979): Bearbeitung von Sedimentproben zur Bestimmung der Korngrößenverteilung in der Gruppe Küstengeologie des Geologischen Institutes der Universität Kiel (unveröff.).
- KRONE, R.B.(1972): A field study of flocculation as a factor in estuarial shoaling processes. Technical Bulletin, **19**. US Army Corps of Engeneers, Committee Tidal Hydraulics.
- LOT GmbH (1989): CIS-Computergestützte Partikelanalyse.- Teil I: Laseranalyse-Benutzerhandbuch, Version 4.0, Darmstadt.
- MCMANUS, J. (1991):Grain size determination and interpretation. In: TUCKER, M. [Hrsg.] : Techniques in Sedimentology: 63 85; Oxford.
- PARKER, W. R., HOPPER, P. M. (1994): Criteria and Methods to Determine Navigable Depth in Hyperconcentrated Sediment Layers, - Hydro-Port '94: 1211-1224.
- PATZOLD, V., WOLTERING, S. (1996): Rezente Sedimente in norddeutschen Häfen, Hansa, 133 (1996), 12:66-68.
- PEY, K. (1994): Sediment Transport and Depositional Processes. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- POWERS, M.C. (1953): Anew roundness scale for sedimentary particles. Journal of Sediment Petrology, 23: 117-119.

- RECHLIN, D. (1996): Bestimmung der nautischen Tiefe in Hauptschlickgebieten, Hansa, 133(1996), 7:76-83.
- RICKLEFS, K. (1989): Zur Sedimentologie und Hydrographie des Eider-Ästuars.- Berichte-Reports, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel, 35: 182 S., 85 Abb., 3 Tab., Kiel.
- TUCKER, M. (1985): Einführung in die Sedimentpetrographie.- 265 S. 219 Abb., 20 Tab.; Stuttgart (Enke).
- WURPTS, R., GAMNITZER, R., GRESIKOWSKI, S., HARMS, H., GREISER, N. (1996): Fluid Mud im Emder Außenhafen. - Konsequenzen für die Baggertechnik und -strategie, - Hansa, 133(1996), 11:78-86.



Abb. 19: Schichtenfolge im Kern A des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.



Abb. 20: Schichtenfolge im Kern C des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.



Abb. 21: Schichtenfolge im Kern D des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.



Abb. 22: Schichtenfolge im Kern E des Emder Außenhafens. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen 0 – 20 μm, 20 – 63 μm und > 63 μm dargestellt.



Abb. 23: Schichtenfolge im Kern A der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen  $0 - 20 \,\mu\text{m}$ ,  $20 - 63 \,\mu\text{m}$  und > 63  $\mu\text{m}$  dargestellt.



Abb. 24: Schichtenfolge im Kern B der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen  $0 - 20 \ \mu m$ ,  $20 - 63 \ \mu m$  und > 63  $\ \mu m$  dargestellt.



Abb. 25: Schichtenfolge im Kern B von der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen  $0 - 20 \ \mu m$ ,  $20 - 63 \ \mu m$  und > 63  $\ \mu m$  dargestellt.



Abb. 26: Schichtenfolge im Kern D von der Rhinplatte. Rechts neben dem Kernprofil sind die Vol.-%-Anteile der Kornklassen  $0 - 20 \ \mu m$ ,  $20 - 63 \ \mu m$  und  $> 63 \ \mu m$  dargestellt.

# 7 Anhang II: Datenanhang

-	1		-	-	1	-	-	-	-	-		-	-	-	-		-
POC [%]	3.42	3.19	3.72	3.18	3.33	3.7	3.55	2.66	2.5	2.6	3.7	3.96		3.77	3.55	3.61	3.98
Sortierung	6.73	8.78		18.6	13	11.2	7.92		34.9	24.9	8.84	6.19			5.93	6.23	
Mittelwert	7.79	9.24		18.8	14.1	11.7	9.72		34.5	25.7	9.78	7.28			7.64	7.82	
Medianwert	5.45	5.75		10.08	8.53	6.35	6.85		17.51	15.07	6.16	5.14			5.64	5.63	
Modalwert	4.75	4.25		55.35	45.76	4.25	5.25		89.03	55.35	4.75	4.75			4.75	4.25	
> 100 µm									4.01								
63 - 100 µm				1.27					18.23	12.19							
40 - 63 µm		0.92		16.34	9.02				11.88	12.68	0.38						
20 - 40 µm	8.13	9.89		14.43	16.82	19.74	1.52		13.96	19.6	13.79	6.57			4.02	6.7	
10 - 20 µm	13.94	16.93		18.18	19.79	15.77	22.83		11.61	15.08	17.8	14.35	-		21.3	16.74	
0 - 10 µm	77.93	72.26		49.79	54.37	64.49	66.01		40.32	40.45	68.02	79.08			74.68	75.37	
3ew% < 63 μm	100	100		98.74	100	100	90.36		77.77	87.81	66.66	100	100		100	100	100
0	Emden A1	Emden A2	Emden A3	Emden A4	Emden A5	Emden C1	Emden C2	Emden C3	Emden C4	Emden C5	Emden D1	Emden D2	Emden D3	Emden D4	Emden E1	Emden E2	Emden E3

Abb. 27: Korngrößenparameter (Angaben in µm) und der Gehalt des partikulären organischen Kohlenstoffes (POC) der Proben aus dem Emder Außenhafen.

	Gew% < 63 µm	0 - 10 µm	10 - 20 µm	20 - 40 µm	40 - 63 µm	63 - 100 µm	> 100 µm	Modalwert	Medianwert	Mittelwert	Sortierung	POC [%]
Rhinplatte A1	95.36	30.36	18.49	25.46	21.05	4.64	0	45.76	20.62	25	19.3	4.22
Rhinplatte A2	55.05	5.15	5	18.21	26.69	27.93	17.02	66.94	57.74	61.6	32.8	1.52
Rhinplatte A3	78.81	16.78	11.71	22.09	28.23	20.66	0.53	60.87	39.44	40.8	27.3	1.73
Rhinplatte A4	54.82	5.07	5.45	16.44	27.86	25.82	19.36	130.2	58.65	63.9	35.5	1.61
Rhinplatte A5	70.87	6.7	6.8	19.03	38.34	22.98	6.15	45.76	49.59	51.1	26.9	1.63
Rhinplatte A6	68.29	7.86	7.7	20.16	32.57	28.48	3.23	55.35	48.42	50	27.2	2.18
Rhinplatte A7	34.28	3.09	2.53	7	21.66	31.52	34.2	118.4	84.99	81.1	35.5	0.56
Rhinplatte B1	87.15	27.95	17.13	23.92	18.15	12.85	0	41.61	22.95	28.9	23.4	3.79
Rhinplatte B2	76.16	15.73	11.84	24.38	24.21	21.94	1.9	50.33	39.16	41.4	27.4	3.28
Rhinplatte B3	43.93	4.93	4.48	12.32	22.2	34.16	21.91	97.9	68.4	68.8	34.5	1.21
Rhinplatte B4	35.37	4.61	3.29	10.15	17.32	34.7	29.93	118.4	79.98	17	36.5	1.33
Rhinplatte B5	50.72	9.94	7.06	13.98	19.74	30.46	18.82	97.9	61.65	61.6	35.1	1.26
Rhinplatte B6	41.4	6.59	4.45	10.63	19.73	32.97	25.63	118.4	72.5	71.4	36.1	1.36
Rhinplatte C1	76.19	14.78	10.51	21.75	29.15	17.48	6.33	55.35	44.18	44	29.4	3.52
Rhinplatte C2	68.52	6.66	5.81	21.32	34.73	29.67	1.81	50.33	50.19	50.5	24.7	1.59
Rhinplatte C3	51.88	8.59	6.78	16.16	20.35	35.33	12.79	89.03	60.34	58.9	33	1.42
Rhinplatte C4	48.56	5.67	5.07	15.48	22.34	29.76	21.68	60.87	65.1	67.2	36.2	1.34
Rhinplatte C5	71.72	17.52	12.09	18.02	24.09	21.41	6.87	45.76	42.83	44.2	31.4	2.38
Rhinplatte C6	52.17	8.05	6.48	15.83	21.81	22.29	25.54	118.4	61.93	67	40.3	0.81
Rhinplatte C7	44.33	6.02	4.71	14.08	19.52	32.31	23.36	97.9	71.08	63.9	37.3	0.55
Rhinplatte D1	89.19	25.34	15.97	20.07	27.81	10.81	0	50.33	27.51	30.8	22.4	4.69
Rhinplatte D2	48.07	5.67	4.78	14.38	23.24	33.11	18.82	97.9	65.48	66	34.5	1.62
Rhinplatte D3	64.97	13.28	9.48	20.1	22.11	17.22	17.81	107.7	47.47	53.1	37.1	1.16

Abb. 28: Korngrößenparameter (Angaben in μm) und der Gehalt des partikulären organischen Kohlenstoffes (POC) der Proben aus der Unterelbe (Rhinplatte).

# 8 Erfolgskontrollbericht

### 8.1 Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Die Ergebnisse des Vorhabens sind direkt den förderpolitischen Zielen nicht zuzuordnen. Im weiteren Sinne können sie bei entsprechender Anwendung im Küsteningenieurwesen bzw. im Wasserbau bei hydrographischen Vermessungsproblematiken zur Klärung herangezogen werden.

### 8.2 Wissenschaftlich - technischer Erfolg

Ziel des Gesamtforschungsvorhabens war es:

- Die Ermittlung von Indikatoren zu Beschreibung von Sedimenten geringer Dichte. Die erfaßten Materialparameter und –eigenschaften sollten in erster Linie zur Verifizierung der akustischen Messungen mit dem DSLP-Verfahren (Detection of Sediment-Layers and Properties) der Fa. EDEN, VORRATH & PARTNER dienen.
- 2. Die Erprobung und Anwendung des hydroakustischen Meßverfahrens DSLP zur eindeutige Detektion und Klassifizierung von Sedimenten geringer Dichte.

Im Rahmen der Untersuchungen, die im Teilprojekt "Geologisch-sedimentologische Charakterisierung" durchgeführt wurden konnten zwei geologisch grundsätzlich unterschiedliche Sedimentfaziesräume erfaßt werden. Durch die Materialeigenschaften und das Transportverhalten der Sedimente mit geringer Dichte, die im Emder Außenhafen und an der Rhinplatte in der Unterelbe beprobt wurden, konnten deren akustischen Eigenschaften eindeutig erklärt und zugeordnet werden.

Im Emder Außenhafen wurde im Hangenden der konsolidierten Sedimentschichten eine Fluid Mud – Lage angetroffen, die sich durch starke granulometrische Gleichförmigkeit und ein deutliches intergranulares Strukturgefüge auszeichnete.

An der Rhinplatte konnte im Gegensatz dazu im Hangenden der konsolidierten Sedimentschichten hoch konzentrierte bodennahe Suspensionen erfaßt werden, die starken strömungsbedingten Veränderungen unterlagen. Diese Veränderungen wirkten sich sowohl räumlich als auch in der Sedimentzusammensetzung aus.

## 8.3 Einhaltung des Finanzierungs- und Zeitplans

Das Vorhaben wurde entsprechend dem Zeit- und Arbeitsplan abgearbeitet. Die Inanspruchnahme der finanziellen Mittel war planmäßig.

Die Ergebnisse wurden auf den KFKI-Fachgruppensitzungen am 11.12.1997 in Hamburg und am 19.10.1998 in Bremen vorgestellt.

### 8.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Nach dem derzeitigen Erkenntnisstand leiten sich bezüglich der Erfassung von Sedimenten geringer Dichte folgende Schlußfolgerungen für die Praxis ab:

- Sedimentologische Parameter sind f
  ür die Beschreibung von Sedimenten geringer Dichte, die komplexen Transportvorg
  ängen unterliegen (z.B. Sohltransportk
  örper), entscheidende Kenngr
  ößen. Hierzu z
  ählen vor allem granulometrische Eigenschaften wie Korngr
  ößenverteilung und Korn- bzw. Flockengestalt wie auch sedimentpetrographische Unterschiede. Mit dem DSLP-Verfahren der Fa. EDEN, VORRATH & PARTNER konnten Wechsel in der Materialdichte detektiert werden, die sich mit unterschiedlichen Sedimentkonzentrationen, Korngr
  ößen und Mineralbestand erkl
  ären lassen.
- 2) Durch rheologische Parameter lassen sich dagegen granulometrisch gleichförmige, stabilere Sedimentkomplexe mit geringer Dichte (z.B. Fluid Mud) klassifizieren. In diesem Fall wurden mit dem DSLP-Verfahren Sedimentschichtungen aufgrund von Strukturänderungen im Material detektiert, die sich physikalisch durch unterschiedliches rheologisches Verhalten ausdrücken.
- Mit dem DSLP-Verfahren können somit die Tiefenlage und Mächtigkeiten von hoch konzentrierten Sedimentsuspensionen (z.B. Fluid Mud oder Sohltransportkörpern) räumlich detektiert und deren physikalisch Eigenschaften charakterisiert werden.

### 8.5 Gemachte und in Anspruch genommene Schutzrechte etc. und deren Verwertung

Es sind keine Schutzrechte im Vorhaben entstanden. Ebenso wurden keine Schutzrechte etc. in Anspruch genommen.

## 8.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

keine