21. 2. 69

Abschlußbericht
über die Arbeiten
der Gruppe Küstengeologie
des Geologischen Institutes
der Universität Kiel

26939

im Forschungsvorhaben

"Schlicksedimentation an der deutschen Nordseeküste".

des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen

12

Kiel September 1981

#### Vorbemerkung

Umfang und Ursachen von Schlicksedimentation haben hohe wissenschaftliche und praktische Bedeutung. An manchen Orten beeinträchtigt hoher Schlickfall Wasserstraßen, an anderen wäre Schlickablagerung aus ökologischen Gründen wünschenswert. Eine Verfolgung der Fragen ist deshalb für praxisorientierte Forschung im Hochschulbereich, wie sie seit fast 15 Jahren in der Gruppe Küstengeologie des Geologischen Institutes der Universität Kiel durchgeführt wird, von großem Interesse.

Als das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen 1977 mit der Anregung an uns herantrat, in einem Forschungsprogramm "Schlicksedimentation an der deutschen Nordseeküste" mitzuarbeiten, haben wir deshalb gerne zugesagt. Unsere Aufgabe im Rahmen des Gesamtprogrammes bestand in einer Flächenkartierung des Watts in der mittleren und nördlichen Meldorfer Bucht sowie in methodischen Arbeiten und Detailuntersuchungen in einem Testfeld nahe Büsum. Die Arbeiten wurden im Zeitraum 1.10.1977 bis 30.9. 1979 sowie 1.4.1980 bis 31.3.1981 durchgeführt. Sie erfolgten in enger Zusammenarbeit mit anderen Gruppen im gleichen Gebiet sowie Arbeiten im Sahlenburger Watt 1).

Unsere Ergebnisse werden im nachstehenden Bericht vorgelegt. Alle Aussagen beziehen sich auf die Meldorfer Bucht. Sie gelten für dieses Gebiet und dürfen nicht ohne kritische Prüfung der regionalen Bedingungen auf andere Bereiche übertragen werden. Die Geschichte der Küstenforschung an der deutschen Nordseeküste ist reich an Beispielen, wie wertvolle Arbeiten in kleineren ("Test")- Gebieten durch unzulässig verallgemeinernde Anwendung auf andere Küstenabschnitte zu Fehlschlüssen geführt haben.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>) Über erste Ergebnisse ist in K. FIGGE, R. KÖSTER, H. THIEL & P. WIELAND (1980) berichtet worden.

Die Arbeiten im Gelände und die fachliche Auswertung erfolgten durch die Herren Dr. R. Gast und K.-H. Runte, die Laborarbeiten durch die Technischen Assistentinnen Frau U. Bock und Frau G. Lange. Sie wurden durch zahlreiche Studenten als studentische Hilfskräfte unterstützt. Viele Kollegen im Geologischen Institut der Universität Kiel standen uns mit Rat und Tat zur Seite. Stellvertretend seien hier die Herren Dr. H. Lange, Dr. C. Samtleben und Dr. F. Werner genannt.

Im Gelände erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit dem Dezernat Gewässerkunde des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide in Büsum, dem Geologischen Institut der Universität Hamburg und dem Institut für Hydrobiologie der Universität Hamburg. Ständiger Gedankenaustausch erfolgte mit dem Senckenberg-Institut für Meeresgeologie und Meeresbiologie in Wilhelmshaven und der früheren Forschungs- und Vorarbeitenstelle Neuwerk in Cuxhaven sowie dem Deutschen Hydrographischen Institut. Den Mitarbeitern dieser Einrichtungen möchten wir für die erfreuliche und effektive interdisziplinäre Zusammenarbeit herzlich danken.

Ebenso gilt unser aufrichtiger Dank dem Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, vertreten durch den Geschäftsführer Herrn Ltd. Reg.Baudir. Sindern und dem Forschungsleiter Herrn Ltd. Reg.-Baudir. Rohde sowie dem Herrn Bundesminister für Forschung und Technologie der Bundesrepublik Deutschland für die großzügige Förderung der Untersuchungen.

Die verwaltungsmäßige Abwicklung lag in den Händen der Verwaltung des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide. Hier ergaben sich leider erhebliche Unzulänglichkeiten. Alle Versuche, hier eine Besserung zu erreichen, blieben ohne nachhaltige Wirkung; so daß die Durchführung des Forschungsvorhabens mehrfach durch bürokratische Hindernisse in Frage gestellt war.

Auf der einen Seite mußten wir als Hochschulinstitut - wie bei jeder Forschungsförderung aus öffentlichen Mitteln - alle Ausgaben über ein Sonderkonto bei der zuständigen Landesbezirkskasse abwickeln und abrechnen. Solche Sonderkonten dürfen nicht überzogen werden, evtl. Zwischenfinanzierungszinsen sind nicht abrechnungsfähig.

Andererseits hat die Verwaltung des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide das Forschungsvorhaben nach Kriterien abgewickelt, die der Behandlung von Baumaßnahmen gleichwertig sind,
mit Bereitstellung der Mittel erst nach Entstehen der Ausgaben,
vielfach erst nach mehreren Monaten. Nur: Baufirmen arbeiten mit
Eigen- oder Fremdkapital, und Zwischenfinanzierungszinsen sind
Teil der Kalkulation. Aus diesem Gegensatz entstanden für den
verantwortlichen Hochschullehrer Vorfinanzierungsbelastungen,
die mehrfach DM 30.000,-- überschritten und vorübergehend DM
40.000,-- erreicht haben.

Durch dieses Vorgehen der Verwaltung des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide sind nicht nur hohe materielle Schäden entstanden, sondern auch schwere und dauerhafte persönliche Wunden. Die Bemühungen, Forschung und Praxis zum Wohle unserer Heimat zusammenzuführen, sind schwerwiegend beeinträchtigt, die Zusammenarbeit von Wissenschaftlern der Hochschulen mit den Ingenieuren der Ämter durch eine Vertrauenskrise mit einer großen Hypothek belastet.

Kiel, den 1. September 1981

No. Rolf Sie Ams

(Prof. Dr. Rolf Köster)

### Inhalt

	4 4	Seite
1	Flächenkartierung des Wattes der nördlichen Meldorfer Bucht in den Jahren 1978 und 1979	1
1.1	Durchführung der Geländearbeiten	1
1.2	Gebietsbeschreibung und Sedimentverteilung nach Grobansprache im Gelände	2
1.2.1	Gebietsbeschreibung	2
1.2.2	Sedimentansprache	3
1.2.3	Sedimentverteilung im Gebiet östlich des neuen Deiches (Speicherkoog Nord)	4
1.2.4	Sedimentverteilung im Gebiet westlich des neuen Deiches	5
1.3	Verbreitung charakteristischer Arten aus Fauna und Flora	6
1.4	Verteilung von Erosion und Sedimentation in den Sommern 1978 und 1979	15
2	Durchführung der Laborarbeiten und sedimentologische Kartierung nach Labordaten	18
2.1	Aufbau der Wattsedimente	18
2.2	Durchführung der Laborarbeiten	19
2.3	Errechnung von Probenparametern aus Labordaten	27
2.4	Kartierung nach Sedimentparametern	32
2.5	Metallgehalte der Sedimente der Meldorfer Bucht	38
3	Statistische Auswertung der Probendaten aus der Flächenkartierung	39
3.1	Parameterauswertung und Sedimenttypi- sierung mit Hilfe von Klassifikations- und Diskriminanz-Analysen	39
3.2	Charakteristische Merkmale der Wattsedimenttypen	45
3.3	Regionale Verteilung der Wattsedimenttypen	48

3.4	Häufigkeitsverteilungskurven der Wattsedimenttypen	52
4	Auswertung von Luftbildern	58
5	Allgemeines zu den Untersuchungen in Testprofilen und im Testfeld	62
6	Testprofile	63
7	Testfeld	72
7.1	Sedimentverteilung im Testfeld	72
7.2	Sedimenttypen des Testfeldes östlich von Büsum	77
7.3	Bivariate Streudiagramme verschiedener Parameter	79
8	Schwebfracht, Sedimentation und Biodeposition	80
8.1	Suspensionsmessungen in den Jahren 1978 und 1979 (Auszug aus dem Bericht des Geologischen Institutes der Universität Hamburg)	80
8.2	Suspensionsmessungen im Jahre 1980	81
8.3	Sedimentation der Schwebfracht	83
8.4	Mikroskopische Untersuchung von kotpillenbedeckten Wattoberflächen	83
8.5	Der Einfluß von Diatomeen und Mikroorganismen auf die Sedimentation	87
8.6	Auswirkung der Wattvereisung auf das Sediment	88
9	Gefügeuntersuchungen	91
9.1	Auswahl der Meßstellen im Testfeld	91
9.2	Methodische Grundlagen	92
9.3	Auswertung von Radiographien	94
9.4	Auswertung von Dünnschliffen	105
9.5	Uranin-Fluoreszenz-Untersuchungen	107
9.6	Auswertung von Paraffingüssen	107
10	Zusammenfassung wichtiger Ergebnisse	108
11	Schriften	111

- 1 <u>Flächenkartierung des Wattes der nördlichen Meldorfer Bucht in</u> den Jahren 1978 und 1979
- 1.1 Durchführung der Geländearbeiten (Bearbeiter: R. Gast)

Die Geländearbeiten konnten sich auf die Einrichtungen des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide, Dezernat Gewässerkunde in Büsum, stützen. Die Wattgebiete wurden teils vom Deich zu Fuß erreicht, teils wurde ein Boot des Geologischen Institutes der Universität Kiel eingesetzt.

Zur Beschreibung der Beobachtungen im Watt diente das nachstehend wiedergegebene Schema.

Probe Nr.	. Datum: 20.8 Lage: 50 m novall. des Priels				
MS-340	willustaire. 5 m-rithit. 5E				
linkes Obj Silo (Büsu	mittl.Obj. rechtes Obj. 144°-19 Schleuseyhs. 62°-02 Helmsander Damm				
Wattsand:	Schlicksand: Schlick: ×				
Einsinktie	efe: 20 cm Gefüge 0-30 cm: Schlick Red. Hor.: 0,5 cm				
	stark schwach flächenhaft Kolke				
Ringeln:	Seegangsr. Strömungsr. Größe H: Richtung:				
Sediment:	~ 20 cm Dichte: locker x mittel dicht				
Mya: lose	inLebendst. Cardium: Xlose X Littorina Hydrobia				
Arenicola	ω Corophium Lanice . Macoma Mytilus				
Diatomeen:	: kl.Flächen×großflächig Prielnähe auf Spuren				
Queller:	Spartina: Zostera: Grünalgen:				
nach	170m > NW Übergang zu Erosion				

Neben der Grobansprache des Sedimentes waren u. a. Anzeichen für Sedimentation oder Erosion einzutragen und die Einsinktiefe zu messen. (vgl. Kriterien von SINDOWSKI, 1973, S. 4) Zusätzlich wurde die sichtbare Besiedlung der Sedimentoberfläche durch Pflanzen und Tiere beschrieben.

Die Ortsbestimmung erfolgte stets durch Doppelwinkelmessung mit einem Sextanten.

An insges. 1087 Positionen wurden Proben entnommen. Der Abstand betrug 50 bis 400 m. In Gebieten mit engräumigen Sedimentverteilungsmustern mußten relativ geringe Abstände gewählt werden, und auf den gleichförmigen Wattsandplaten reichten größere Zwischenräume aus.

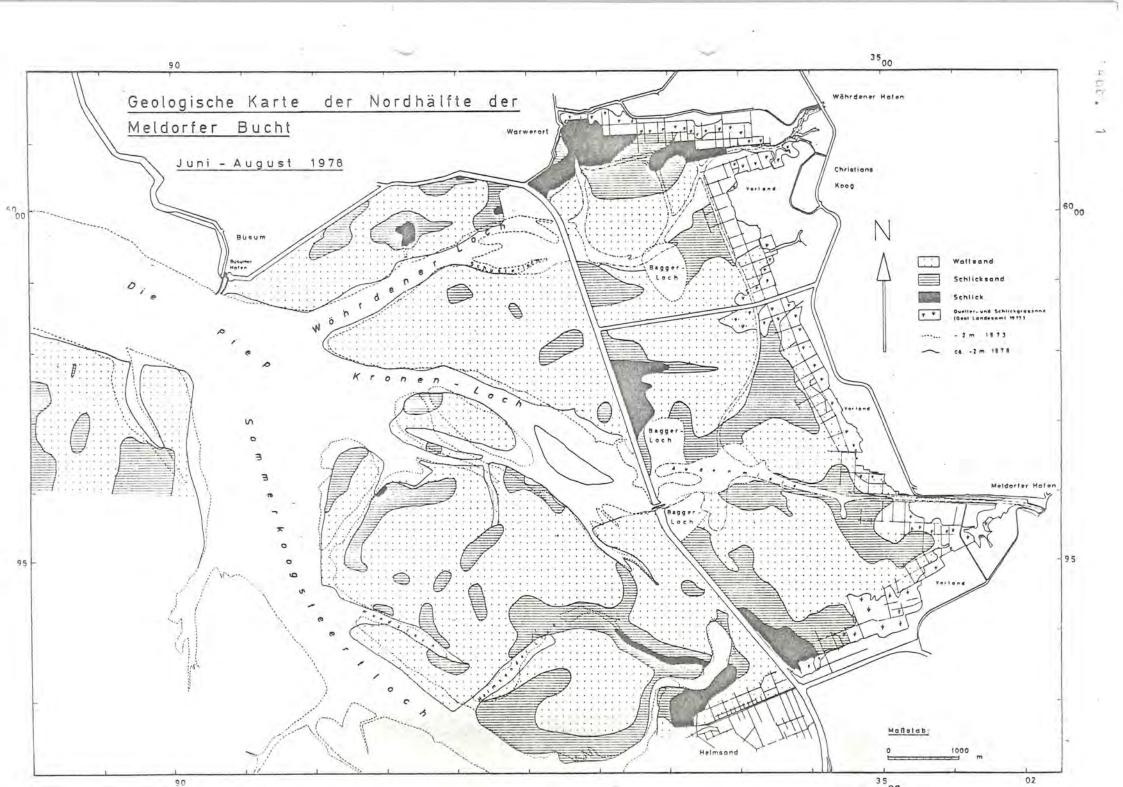
Um eine Vergleichbarkeit der Proben zu gewährleisten, wurden Probenzylinder angefertigt, in denen die Probenbis zur Bearbeitung im Labor
blieben. Diese Probenzylinder bestehen aus einem PVC-Rohr von 4,5 cm
Innendurchmesser und 10 cm Länge. Der untere Rand des Rohres ist angeschärft. Für die Probenentnahme wird der Zylinder in den Boden gedrückt
und mit einem Spaten oder einer Handschaufel ausgegraben.

1.2 Gebietsbeschreibung und Sedimentverteilung nach Grobansprache im Gelände (Bearbeiter: R. Gast)

#### 1.2.1 Gebietsbeschreibung

Das Wattgebiet zwischen der Festlandküste als nördlicher und östlicher Begrenzung, einer Nord-Süd-Linie westlich von Büsum als westlicher und der Ost-West-Linie über den Helmsand als südlicher Grenze wurde in den Sommerhalbjahren 1978 und 1979 aufgenommen, ergänzend hierzu im Sommer 1980 im Rahmen einer Diplom-Arbeit das Watt westlich des Hafens von Büsum.

Das Gebiet (Abb. 1) wird durch den Deich vor dem Speicherkoog Nord unterteilt. Die Wattregionen wurden Ursprünglich durch die Prielsysteme der Außenmiele im Süden und des Wöhrdener Loches im Norden zerschnitten.



Die Flächen im heutigen Speicherkoog Nord sind als Folge der Baumaßnahmen der letzten Jahre stark verändert worden.

Westlich des neuen Deiches liegen die Watten der Meldorfer Bucht und des Bielshövensandes. Sie bestehen aus drei größeren Platen und dem Vorland östlich von Büsum. Die westliche Begrenzung der Platen wird durch die Piep und das Sommerkoogsteertloch gebildet.

Die südliche, relativ wenig gegliederte Plate liegt zwischen dem Helmsander Damm und dem Helmsander Loch. Die Mittlere grenzt daran an und reicht bis zum Kronenloch. Sie wird durch einige Seitenpriele untergliedert. Die nördliche Plate ähnelt einem Dreieck zwischen Kronenloch, dem Wöhrdener Loch und dem neuen Deich. Auf dem Wattgebiet östlich von Büsum liegt das von zwei Testprofilen begrenzte Testfeld.

Westlich vom Sommerkoogsteertloch und südlich der Piep erstrecken sich die durch 3 größere Priele gegliederten Wattflächen des Bielshöven-sandes.

#### 1.2.2 Sedimentansprache

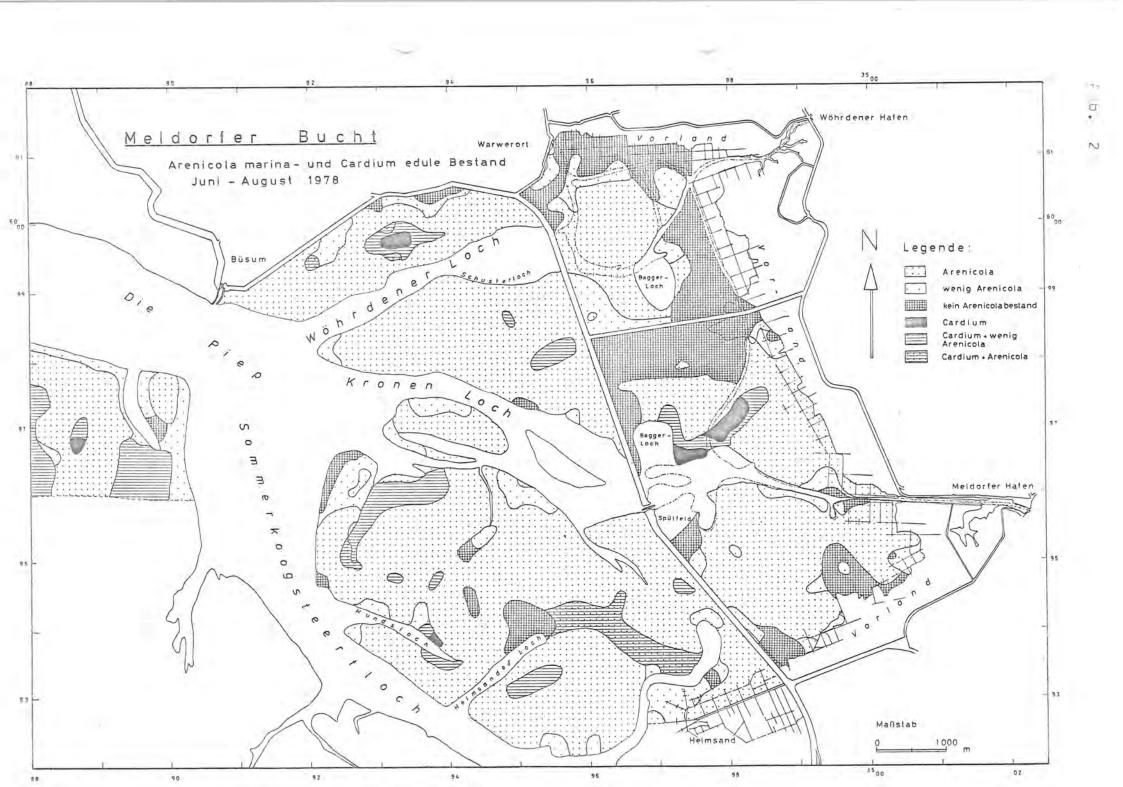
Die Ansprache der Sedimente im Gelände erfolgte nach den Korngrößen und den Kriterien von SINDOWSKI (1973):

Wattsand: Oberfläche rauh, beim Begehen ohne nennenswerte Fußeindrücke

Schlicksand: Oberfläche leicht glitschig, beim Begehen bis knöcheltief einsinkend, wenig am Boden haftend

Schlick: Oberfläche glänzend-seidig, beim Begehen bis knietief einsinkend, stark am Boden haftend

In die Grobansprachen gehen nicht nur Korngrößen, sondern auch bodenmechanische Eigenschaften ein. Daraus ergibt sich u.a., daß bei der
Ansprache im Gelände gleiche Kornverteilungen in verschiedene Stufen
fallen können. Ein Sediment mit hohem Wassergehalt und hoher Einsinktiefe erscheint schlickiger, als ein gleichkörniges mit geringerem



Wassergehalt und kleinerer Einsinktiefe.

In einer schematischen Darstellung wird von R. Köster (1979) auf die Beziehungen zwischen der Grobansprache im Gelände, den Korngrößenverteilungen und den bodenmechanischen Eigenschaften hingewiesen. Hier wird deutlich, daß die Wechselbeziehungen zwischen den drei Kriterien zu fließenden Grenzen zwischen Wattsand, Schlicksand und Schlick führen müssen, so lange die bodenmechanischen Kennziffern nicht präzise angegeben werden können. Erste Versuche zur Quantifizierung finden sich im Abschnitt über das Testfeld.

Somit gehen die bodenmechanischen Eigenschaften zumindest qualitativ in Kartendarstellungen nach der Grobansprache ein. Der Vergleich dieser Grobansprache-Karten mit der Verbreitungskarte von Cardium und Arenicola (Abb. 2) zeigt, daß die Bodenmechanik auch für die Besiedlung von erheblicher Bedeutung ist. In weiten Bereichen der Meldorfer Bucht stimmen die Verbreitungskarten dieser Tiere, soweit nicht andere Faktoren einschränkend wirken, mit der Sedimentverteilung nach der Grobansprache überein.

Mit den Sedimentverteilungskarten nach Korngrößenparametern (Abb. 8-12) lassen sich die Verbreitungsareale dieser Arten weniger gut korrelieren. Eine Ausnahme bildet nur die Sedimenttypenkarte (Abb. 16), die aber auf der statistischen Auswertung von zehn Parametern beruht und nicht nur auf einem, wie bei den bisher üblichen Sedimentkarten.

# 1.2.3 Sedimentverteilung im Gebiet östlich des neuen Deiches (Speicherkoop Nord)

Dieses Gebiet ist 1977 von ELWERT (1977) bodenkundlich kartiert worden. Deshelb konnte der von Pflanzen bedeckte Vorlandbereich vor den elten Deirnen außerhalb der Untersuchung tleiben. In den übrigen Gebieten zeict der Versleich deutliche Veränderungen.

Während der Bauarbeiten am neuen Seedeich hat in Lee des Bauwerkes eine starke Schlicksedimentation eingesetzt. Vor allem im Winkel südwestlich von Warwerort im Norden des Gebietes wurden 20 bis 40 cm mächtige Lagen dünnflüssigen Schlickes auf harter Wattsandunterlage angetroffen.

Etwa 600 m südlich des Transportdammes wurde eine alte Rinne im Speicherkoog tiefgründig mit Schlick aufgefüllt, während sie an der Westseite des Deiches mit gröberem Material zusedimentiert wurde. Auf der Karte der Verteilung von Erosion und Sedimentation (Abb. 5) fällt dieses Gebiet, mit Ausnahme eines schmalen Streifens am westlichen Deichfuß, durch starke Sedimentation auf.

Eine natürliche Sedimentverteilung ist innerhalb des Speicherkoogs nur noch an wenigen Stellen zu finden. Durch die verschiedenen Bauarbeiten, Baggerlöcher, Spülfelder und das Ausbaggern von neuen Wasserläufen sind vielfältige Veränderungen der Morphologie, der Sedimentverteilung und der Besiedlung eingetreten. Etwa die Hälfte der Flächen im Speicherkoog wird nach der Grobansprache im Gelände von Wattsanden eingenommen. An die Wattsandflächen grenzen meist Schlicksande an, die wiederum teilweise in Schlickflächen übergehen.

#### 1.2.4 Sedimentverteilung im Gebiet westlich des neuen Deiches

Die Meldorfer Bucht westlich des neuen Deiches ist im Vergleich zu anderen Wattgebieten ein besonders schlickermes Gebiet. Es gibt hier nur zwei größere zusammenhängende Schlickflächen mit Mächtigkeiten von mehr als 30 cm. Eines liegt nördlich des Helmsander Dammes, dessen seitliche Buhnen die Voraussetzungen für eine Schlicksedimentation begünstigt naben. Ein kleineres schlickreiches Gebiet liegt im Testfeld östlich von Büsum zwischen den Testprofilen 1 und 2 als Füllung eines Baggerlochss, das inzwischen fest vollständig zusedimentiert ist. Schlickigs Selimente finden sich außerdem im Ostteil des Helmsander Loches und in sinnigen alten Rinnresten auf der mittleren Plate.

Schlicksand ist jeweils angrenzend an Schlickgebiete anzutreffen.
Schlicksandgebiete finden sich außerdem in Bereichen ruhigeren Wassers hinter höher liegendem Sandwatt, das als Wellenbrecher dient. Ein deutliches Beispiel bildet der Nordwestteil der mittleren großen Plate (vgl. Sedimentkarten). In diesen Gebieten scheint die Besiedlung von Cardium edule in Zusammenhang mit der Schlicksandbildung zu stehen.

Westlich des neuen Deiches überwiegen nach der Geländeansprache die Wattsande bei weitem. Die nördliche Plate wird nach SINDOWSKI's Krits-rien fast ausschließlich von Wattsanden eingenommen. Auch die mittlere und südliche Plate besitzen große, zusammenhängende Wattsandflächen.

# 1.3 Verbreitung charakteristischer Arten aus Faunz und Flora (Bearbeiter: R. Gast)

Während der geologischen Flächenkartierung der nördlichen Meloorfer Bucht 1978 wurden auch charakteristische Pflanzen sowie Tiere erfaßt, die entweder auf der Sedimentoberfläche leben, oder deren Spuren an der Oberfläche zu sehen sind. Nur für den Nachweis von Macoma beltica und teilweise auch für Corophium und Nereis diversicolor mußte der Wattboden aufgegraben werden. Bei der Beschreibung wurde zwischen dünner, mittlerer und dichter Besiedlung unterschieden.

Folgende Arten wurden wartiert:

Tiere: Arenicola marina, Cardium edule, Mytilus edulis, Macona baltica, Littorina littorea, Hydrobia ulvae, Corophium volutator, Nereis diversicolor, Lanice conchilega.

Pflanzan: Zostera nana, Spartina englica, versch. Edatomeen, versch. Grünalgen, versch. Braunalgen.

Eine einmalige Flächenkartierung kann tesonders bei der Erfassung von verschiederen Populationen nur eine Momentaufnahme des jeweiligen e- siedlungsstandes sein. Jede Tier- und Pflanzengemeinschaft verände,

sich mit den jahreszeitlich bedingten Veränderungen der Umwelt. Eine Kontrollbegehung im Sommer 1979 zeigte jedoch, daß im größten Teil des Gebietes westlich des neuen Seedeiches trotz des harten Eiswinters keine größeren Verschiebungen im Besiedlungsmuster eingetreten waren.

Außerdem verändern sich die Populationen durch längerfristige Fluktuationen. Im neuen Speicherkoog starb nach der Trockenlegung der Wattflächen über – 2 m NN im September 1978 die Wattfauna und Wattflora ab.

Für die Besiedlung von Wattflächen mit den verschiedenen Tier- und Pflanzenarten spielen abiotische und biotische Faktoren eine Rolle. Zu berücksichtigen sind vor allem:

- 1. Wasserbedeckungszeit (abhängig von der Watthöhe, der örtlichen Gezeitenkurve und der Wetterlage)
- 2. Lagestabilität
- 3. Physikalische und chemische Eigenschaften des Substrates wie Korngrößen, Konsistenz bzw. Plastizität, Chemismus
- 4. Physikalische und chemische Eigenschaften des Wassers wie Temperatur und Salinität
- 5. Siedlungskankurrenz
- 6. Nahrungskonkurrenz

#### Wichtige Tierarten

#### Arenicola marina (Sandpierwurm)

Besonders Sedeutung für die Veränderungen der Grenzfläche Sedina :- Wasser bzw. Luft im Watt besitzt der Polychast Arenicola marina. - Sedimentfresser ist der Wurm im sandigen Watt der Wichtigste Faktor für die Bioturbation der Oberflächensedimente (0-40 cm) nach (CADEL 1976 17-40 cm Sedimentumlagerung/Jahr.

Zur Nahrungsaufnahme selektiert Arenicola die kleineren Partikel des Sediments (30-40 cm). Dies hat zur Folge, daß die gröberen Partikel zurückbleiben und sich auf dem "Freßniveau" in ca. 20 cm Tiefe anreichern (VAN STRAATEN 1956; SCHÄFER 1962).

Nach VAN STRAATEN(1956) erreichen gröbere Partikel nicht nur durch das Herabsinken im Kopfschacht des Wurms diese Tiefe, sondern auch durch die Umlagerung des Sediments, die Ariela mit dem Fressen in 20 cm Tiefe und dem Koten an der Oberfläche (ohne gröbere Körner) bewirkt. An Stellen, wo Hydrobia in großen Mengen vorkemmt, werden deren Gehäuse auf diese Art in einer Tiefe von ca. 20 cm in der sogenannten "Hydrobia-Lage" (VAN STRAATEN, 1952) konzentriert. Auch von einer zweiten Hydrobia-Lage in 34 bis 37 cm Tiefe wird von CADEE (1976) berichtet.

Außer Hydrobiagehäusen werden auch andere Schalenreste, grote Sandkörner und Torfreste in der "Hydrobia-Lage" angereichert. Nach CADEE (1976) besitzen diese Lagen bis zu fünf mal höhere Gehalte an Corg. als das Sediment an der Oberfläche.

Der Sandpierwurm ist für die Sedimentumlagerung (Bioturbation) die wichtigste Art des Wattbiotops. Auf die Sedimentneubildung bzw. Sedimentablagerung hat er einen sehr viel geringeren Einfluß. Als reiner Sedimentfresser hat Arenicola keinen direkten Einfluß auf die Bindung von Schwebstoffen an das Sediment.

Wie aus der Literatur bekennt ist (z.B. PLATH 1943; WOHLENBERT 1937), bevorzugt Arenicola sendige Wattflächen. Nach PLATH (1745) benötigt er eine Mindestschichtdicke von 10 cm Wattsand oder ein sehr stark wasserhaltiges Sediment feinerer Körnung. Nur in sehr schlickigen Gebieten kommt Arenicola nicht vor. Als Sand-Watt-Anzeigerart ist der Sandpierwurm infolgebassen nur bedingt ge-eignet.

Nech der Auswertung der Bestandsvarteilung im der nördlichen Hälfts der Neldorfer Bucht und einem Vergleich mit den pablogischen Deten lessen sich einige Ergänzungen anführen. Ab einer Watthöhe von etwa + 1,40 m NN gibt es für Arenicola keine Existenzmöglichkeit mehr. Das Tier kann nur Nahrung aufnehmen, solange sein Bau unter dem "Grundwasserspiegel" bei Niedrigwasser liegt.

In sehr dicht besiedelten Cardiumfeldern der Meldorfer Bucht tritt Arenicola ebenfalls nicht auf, de dort die Nahrungskonkurrenz zu groß ist. In weniger dichten Cardiumbeständen bei gleicher Sedimentzusammensetzung ist Arenicola stets anzutreffen (Abb. 2). Im Bereich von Mytilusbänken kommt der Wurm nicht vor.

Auf Wattflächen, die von trittfestem, dichtgelagertem Schlicksand eingenommen werden, tritt Arenicola selten (z.B. am Ostende des Helmsander Lochs) oder nur in dünner Besiedlung (östlich von Büsum) auf. Lockerer Schlicksand kann dagegen von Arenicla dicht tessiedelt werder.

Ein Gebiet, in dem er Sandpierwurm aufgrund zu starker Erosion nicht siedelt, liegt am Nordwestende der mittleren Plate. Alletein zeigen die der Wellenwirkung und Strömungeerssion stärket ausgesetzten Randzonen der großen Platen eine sehr dünne Arenicolabssiedlung.

#### destreitung von Lamice conchileca (Bäumchengöhrenwuch)

für die Gangbauten von Lanice, die mit ihren Verästelungen de. 2 om über die Wattoberfläche hinausragen, ist eine sedimentakktpulierende Wirkung bankber. De die Beständs im Pertierungsgeblat insgesamt sehr klein und außerdem schlecht errsichbar sind (Bielshövensand), konnten deren Auswirkungen auf die Sedimensetien nicht besbachtet werden.

#### Cardium edule (Herzmuschel)

Die Herzmuschel gehört zu den individuenreichsten Arten des Watts. Ausgestattet mit einem kurzen Sipho siedelt sie unmittelbar unter der Sedimentoberfläche (cz. 0,5-4 cm). Dort wird sie ab und zu von der Erosion freigelegt, gräbt sich aber in der Regel wieder ein.

Allgemein finden sich Cardiumbestände in der Meldorfer Bucht überall dort in dichten Feldern, wo durch vorgelagerte höhere Wattsandzonen der Seegang nicht stark einwirken kann (Abb. 2). Cardium siedelt auch auf niedriger gelegenen Flächen mitten auf den großen Platen, zum Teil auf ehemaligen, aufgefüllten Prielen und anderen Vertiefungen wie z.B. dem Baggerloch im Testfeld bei Deichhausen (Abb. 2).

Herzmuschelsiedlungen sind in der Meldorfer Bucht stets auf Schlicksandflächen und seltener auch auf Schlickwatt anzutzeffen. Im sandigen Watt sind meist nur wenige Muscheln dieser Art zu finden.

Wie durch Beobachtungen in einem Teststreifen (Profil 2) in Mcnatsabständen festgestellt werden konnte, bildet sich nach der
freilegung eines Gerdium-Feldes durch Erosion bei runiger der
lage innerhalb eines Monats wieder eine dünne Schlicklage,
während sich das Sediment an benachberten Stellen ohne Herzerschelvorkommen nicht veränderte (Mai – Juni 1978). Die Bilde
von Seziment durch die Filtriertätigkeit dieser Muschelart die
im Abschnitt Biodeposition der Untersuchungen über das Testfole
näher erläutert.

Im Arbeitsgebiet konnten in dem fast breijährigen Untersustungszeitreum mehrere Cardium-Neuensiedlungan beobachtet werden. Nach gutem Anwachsen im Juni und Juli, verbunden mit einer Produktion von Schlick, uurden die Felder junger Cardien in den ersten des geürmen freigelegt und die nach kleinen Muscheln verdräfter. Wie für Arenicola scheint auch für die Herzmuschel die Höhenlage des Watts bzw. die Wasserbedeckungszeit eine große Rolle zu spisten. Deichnahe Wattgebiete besitzen keine größeren Cardiumbestände, obwohl die Sedimentzusammensatzung und die hydrodynamischen Verhältnisse für die Muschelast dort günstig wären. Eine Ausnahme bilden die kleinen Cardiumfelder auf dem relativ niedrig gelegenen Watt vor dem neuen Seedeich. Nach dem "iswinter 1978/1979, der die Cardiumbestände auf dem Watt der Meldorfer Bucht vollständig vernichtet hat, fand auch vor dem neuen Deich eine Wiederansiedung statt. Diese konnte sich aber nicht mehr alten, da sich die Strömungsverhältnisse und die Wellenschlagintensität nach dam Deichschluß verändert haben. Die neuen Felder junger Herzmuscheln wurden bis zum Herbst 1979 erodiert und verdriftet.

Nach den bisherigen Untersuchungen im Rahmen des Schlickprojektes ist Cardium edule aufgrund ihrer enormen Filtrierleistung für ihren Siedlungsbereich mit Abstand der wichtigste Schlickproduzent Cardium filtriert bei der Nahrungsaufnahme die Schwebfracht des Wassers heraus und scheidet die für sie unverdaulichen Reste in Form von Kotpillen an der Sedimentoberfläche aus. Diese Kotpillen besitzen eine beträchtlich höhere Sedimentationsgeschwindigkeit als die Teilchen, aus denen sie bestehen. Sie werden infolgedessen an Stellen im Watt zur Ablagerung kommen, an denen die feinkörnigera Schwebfracht noch nicht sedimentiert wird (HAVEN & MERALES-ALAMO, 1972; KRAEUTER, 1976).

#### Mytilus edulis (Miesmuschel)

Mytilus kommt im Untersuchungsgeriet nur an wenigen Stellen in größeren Mengen vor. Ein Areal von da. 500 X 200 m Fläche etze 750 m nordwestlich des Helmsander Dammes wird von mächtigen Schilltänke Ennlicher Ausdehnung fin in der auch auf dem Sielenävenzert.

Erosionsgebiete, die von Mya-Schalen lose oder noch in Lebendstellung bedeckt sind.

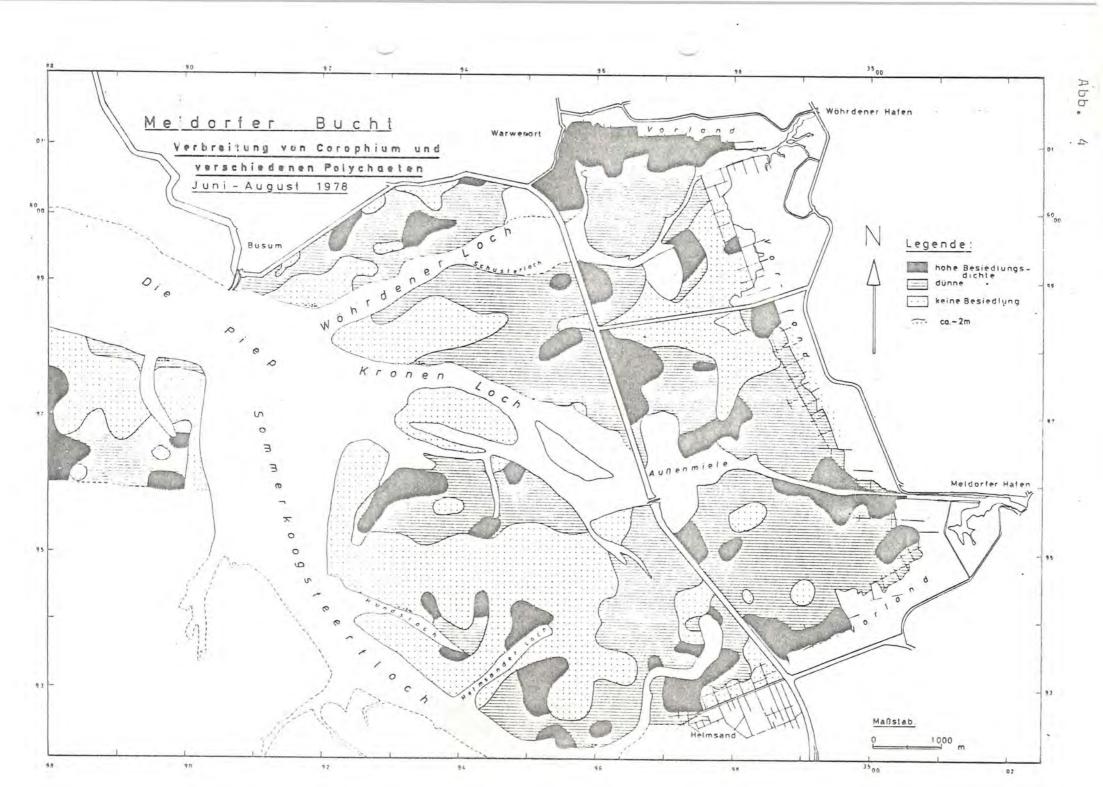
Die höchste Besiedlungsdichte erlangt Littorina am Deichfuß bei Büsum und Deichhausen, der regelmäßig von der Flut erreicht wird. Sehr dichte Bestände existieren auch im Bereich der Mytilusbänke auf der mittleren großen Plate und auf dem Bielshövensand.

#### Corophium volutator (Schlickkrebs)

Da bei der biologischen Kartierung nur die Spuren der im Sediment lebenden Tiere an der Oberfläche erfaßt werden konnten, wurden gleichzeitig mit Corophium verschiedene Polychaeten (vor allem Nereis diversicolor), die ähnliche Freß-Spuren aufweisen, mit im die Kartendarstellung aufgenommen . Mit Nereis diversicolor ist der Schlickkrebs ohnehin meist vergesellschaftet (Abb. 4).

Das Auftreten von Corophium ist nicht unbedingt sedimenttypisch. Diese Krebsart bevorzugt zwar eindeutig Schlickgebiete, die dementsprechend die höchste Besiedlungsdichte besitzen. Sie findet sich aber auch in weiter Verbreitung in Schlicksanden und weniger in dunklen Wattsanden. In hellen Wattsanden konnte Corophium in der Meldorfer Bucht nicht beotachtet werden. Nach LINKE (1939) tritt der Schlickkrebs vor allem deshalb überwiegend in schlickereichen Sedimenten der höher gelegenen Wattbereiche auf, weil dort wegen der kürzeren Wasserbedeckungszeit die Sisdlungskonkurrenz anderer Tierarten geringer ist, und weil er ein relativ lagestabiles Substrat benötigt.

In der Meldorfer Bucht meidet Corophium alle Gebiete, die dem Wellenschlag stärker ausgesetzt sind, wie z.B. die Randbereiche der Platen und Areale, die von Algen bewachsen werden.



#### Wichtige Pflanzenarten

#### Zostera nana (Zwergseegras)

Zostera nana ist die Charakterert des Biotops "geschlossene Zosterawiese" nach MICHAELIS (1976). Außer kleineren Beständen auf dem Watt östlich von Büsum bildet Zostera nana größere Seegraswiesen auf den großen Platen des Watts westlich des neuen Meldorfer Seeceichs. Die Verbreitung deckt sich zum größten Teil mit der von Hydrobia (Abb. 3).

Durch den dichten Bewuchs der Wattoberfläche wird die Strömungsintensität an der Sedimentoberfläche vermindert und der Seegang
gedämpft. Diese Faktoren begünstigen die Sedimentation. Feinere
Schwebstoffpartikel werden dabei aber nur selten abgesetzt, da
die ständige Bewegung des Seegrases deren Ablagerung verhindert.
Die dichte Durchdringung des Wattbodens stabilisiert das Oberflächensediment und verhindert so eine starke Erosion während stürmischer Wetterlagen.

#### Spartina anglica (Schlickgras)

Spartinabestände finden sich in größerer Ausdehnung im nördlichen Teil der Meldorfer Bucht nur auf dem deichnahen Watt südlich von Deichhausen. Frühere Vorkommen innerhalb des Speicherkooges Nard sind inzwischen abgestorben.

#### Diatomeen (Kieselalgen)

Besonders dicht wachsen die Diatomeenarten in der Meldorfer Bucht auf frisch abgelagerten Sedimenten. Vor allem die an die großen Priele angrenzenden Gebiete waren im Sommer 1978 häufig von Dietomeen-"Rasen" überzogen. Hierbei spielt wahrscheinlich der höhere Nährstoffgehalt in den Lockersedimenten eine wichtige Rolle. Die Korngrößenzusammensetzung scheint dagegen von geringerer Esdeutung zu sein. Auf erodierten Wattflächen fehlen dichte Diatomeenbestände fast völlig.

#### Grünalgen und Braunalgen

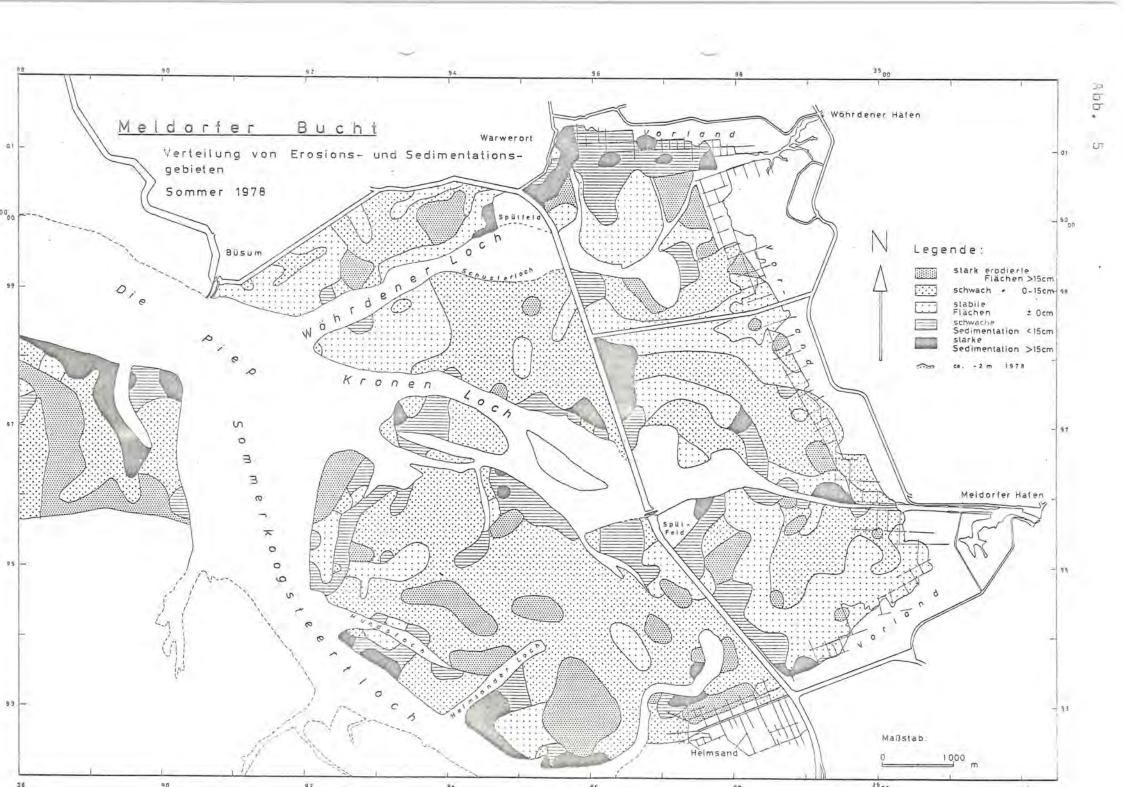
Auf den Wattflächen der Platen entwickeln sich im Sommer ab etwa 1 km Entfernung vom neuen Seedeich dichte Algenbestände. Sie werden meist von Grünalgenfäden gebildet. Braunalgen sind in der Meldorfer Bucht sehr viel weniger verbreitet.

Auf die Besiedlung des Testfeldes Büsum bei Deichhausen und die Veränderungen im Faunenbestand während des Beobachtungszeitraumes wird im biologischen Teil der Darstellung der Untersuchungen im Testfeld ausführlich eingegangen.

1.4 Verteilung von Erosion und Sedimentation in den Sommern 1978 und 1979 (Bearbeiter: R. Gast)

Erosion und Sedimentation lassen sich auf den Wattflächen an folgenden Merkmalen erkennen:

Schwach erodierte Gebiete zeichnen sich durch flache Kolke, freigespülte, noch lebende Herzmuscheln (Cardium edule), freigelegte Wurmgänge, Pflanzenwurzeln (Spartina, Zostera) usw. aus. Für stark erodierte Areale des Watts sind Schalen der Sandklaffmuschel (Mya arenaria) typisch, die in Lebendstellung im Oberflächensediment stecken. Die Muschel lebt in 30 cm Tiefe im Boden. Da Mya im Watt weit verbreitet vorkommt, bildet sie das beste Indiz für eine stärkere Abtragung des Wattbodens.



Sedimentationsgebiete lassen sich durch die noch sehr locker gelagerten frischen Sedimente auf spürbar festerem Untergrund erkennen. Ein weiteres Kennzeichen bildet der Entschichtungsgrad
des neu abgelagerten Materials. In frisch abgelagertem Sediment,
z. B. nach einer Sturmflut, läßt sich stets eine primäre Schichtung nachweisen. In der warmen Jahreszeit ist dieses Kriterium
von geringem Wert, da die Schichtung meist sehr schnell von Wattorganismen verwühlt wird. Nur an Rinnrändern hält sich die primäre Schichtung etwäs länger, weil dort das abgelagerte meist
sandige Sediment nur langsam besiedelt wird.

Auf den Wattflächen der Meldorfer Bucht nahmen im Sommer 1978 die Spuren schwacher Erosion einen flächenmäßig außerordentlich hohen Anteil ein (Abb. 5). Dies ist auf zwei Gründe zurückzuführen. Die häufigen und meist lange anhaltenden, stürmischen Wetterlagen jenes Sommers bewirkten eine starke hydromechanische Beanspruchung großer Gebiete der Bucht, Außerdem veränderten sich durch den fortschreitenden Deichbau und den Deichschluß Einzugsgebiet und Morphologie.

Trotz dieser insgesamt negativen Tendenz im Sommer 1978 liegen in der Melødorfer Bucht auch Gebiete, die sich in diesem Jahr durch starken Sedimentzuwachs auszeichneten. Sie befinden sich vor allem in den ruhigen Gebieten östlich des neuen Deiches (Leeseite), in den ebenfalls vor starkem Wellenschlag geschützten Lahnungsbereichen vor allem im Norden des Speicherkooges und an Stellen, an denen Baggerlöcher aufgefüllt wurden.

Die Sedimentationsgebiete innerhalb eines Streifens von etwa 1 km Breite westlich des neuen Deiches sind alle auf die Verfüllung von Baggerlöchern oder auf Spülfelder zurückzuführen.

Erosionsgebiete erfassen teilweise auch Bereiche, die von Lahnungen geschützt waren. Lahnungsfelder, in denen Abtragung festzustellen war, liegen im Vorfeld des Speicherkooges fast überall
südlich des Wöhrdener Loches und nördlich vom Helmsander Damm im
Westen des neuen Deiches. In den Lahnungen des Helmsander Dammes
werden überwiegend schlickreiche Sedimente erodiert.

Gebiete, die im Sommer 1978 schwach erodiert wurden, zeigten im Sommer 1979 teilweise stabile Verhältnisse. Im Gebiet nördlich des Kronenloches wurden nur noch kleine Teilflächen schwach abgetragen. Auf der mittleren Plate zwischen Helmsander Loch und Kronenloch stabilisierten sich die Flächen schwacher Erosion zu einem großen Teil ebenfalls. Ein größeres Erosionsgebiet auf der südlichen Plate ist nach vergleichenden Beobachtungen aus dem Sommer 1979 nur kurzzeitig einer Abtragung ausgesetzt gezesen.

In einer etwa 2 km breiten Zone vor dem neuen Deich blieben die Verhältnisse auch im Sommer 1979 noch instabil. Ebenso waren die Flächen starker Erosion auf der mittleren Plate auch 1979 noch nachweisbar. Sie lassen sich also nicht auf kurzfristige wetterbedingte Ursachen zurückführen.

Die größten Sedimentationsgebiete westlich vom neuen Deich finden sich am Ostrand des südlichen Sommerkoogsteertloches, wo Wattsand abgelagert wird. Besbachtungen aus dem Sommer 1979 zeigten, daß sich die Sedimentation dort weiterhin fortsetzt. Die Ursache für die Sedimentation in diesem Gebiet liegt möglicherweise in der Verkleinerung des Einzugsgebietes. Dieses umfaßte auch den südlichen Teil der Meldorfer Bucht, der schon seit 1972 eingedeicht ist.

- 2. <u>Durchführung der Laborarbeiten und sedimentologische</u>
  Kartierung nach Labordaten
- 2,1 Aufbau der Wattsedimente (Bearbeiter: R. GAST)

Die Auswahl der Labormethoden hängt von der Zusammensetzung der Wattsedimente ab. Sie bestehen aus mineralischen und organischen Komponenten.

Bei den mineralischen Komponenten handelt es sich im Sandbereich (2 - 0,063 mm) vor allem um Körner von Quarz, dazu mit geringeren Anteilen Körner bzw. Blättchen von Feldspat, Glimmer und anderen Mineralen. Für den Schluff (0,063 - 0,002 mm) gilt noch eine ähnliche Zusammensetzung. Mit abnehmenden Korngrößen nimmt jedoch der Anteil der Tonminerale zu, die im Korngrößenbereich des Tones ( < 0,002 mm) im Vordergrund stehen.

Zur Analyse der mineralischen Zusammensetzung desTongehaltes wurden neben Proben aus der Meldorfer Bucht auch Proben aus dem Wattenmeer östlich von Texel, aus dem Sahlenburger Watt, aus dem Watt nördlich von Nordstrand, aus dem Watt vor dem Morsum-Kliff auf Sylt sowie aus dem schwach brackigen Milieu der Eider bei Nordfeld untersucht. Hierzu wurde der Anteil < 2 /um mit Hilfe der Pipette-Methode abgetrennt mit nachfolgender Bestimmung der Tonminerale an einem Phillips-Röntgendiffraktometer des Geologischen Instituts der Universität Kiel.

Der Vergleich der Wattproben zeigte qualitativ eine uniforme Verteilung der Minerale und quantitativ meist recht homogene Gehalte der verschiedenen Tonminerale von Texel in den Niederlagen bis Sylt in Nordfriesland, wobei recht gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von J. DÖRJES, S. LITTLE-GADOW & A. SCHÄFER (1976) besteht. Im wesentlichen kommen Montmorillonit, Illit, Chlorit und Kaolinit vor.

Nur 3 Proben zeigen etwas abweichende Werte. Die Probe vom Nordstrander Watt fällt wegen etwas höheren Kaolinitgehaltes auf, dessen Ursache in der Aufarbeitung von "altem Klei" zu suchen ist. Eine Probe vom bereits 8 Monate trocken liegenden Watt im Speicherkoog Nord besitzt ebenfalls höhere Kaolinitwerte, als es dem Durchschnitt der Wattsedimente entspricht. Die Nordfelder Probe aus brackigem Milieu weist diesem gegenüber einen etwa verdoppelten Montmorillonitgehalt auf.

Die organischen Komponenten sind im Sandbereich Schalen und Schalensplitter von kalkschaligen Organismen. In Schluff und Ton können die Schalen und Schalensplitter erheblich größere Bedeutung haben, so daß sie zumindest unter methodischen Gesichtspunkten betrachtet werden müssen. Außerdem nehmen die Anteile an  $C_{\rm org}$  und organisch-chemischen Verbindungen zu (vgl. Berichtsteil von DEGENS & KEMPE).

## 2.2 <u>Durchführung der Laborarbeiten</u> (Bearbeiter: R.GAST und R. KÖSTER)

Die im Watt entnommenen Proben wurden im Labor auf Korngrößenverteilung sowie teilweise auf den Gehalt an Metalloxiden untersucht (vgl. Abschnitt 2.5).

Die Bearbeitung des vollen Korngrößenspektrums in einem Arbeitsgang mit einem einzigen Verfahren wäre wünschenswert, doch stößt
ein solches Vorgehen auf unüberwindbare Schwierigkeiten. Für eine
Durchführung der Laborarbeit unter praktikablen Bedingungen ist
es erforderlich, den Sandanteil vom Schluff- und Tonanteil zu
trennen und beide Komponenten mit getrennten Verfahren weiter
zu untersuchen.

Eine zusätzliche Aufgabe ist, zu Beginn der Laborbearbeitung den Salzgehalt zu entfernen, ohne dabei in die Zusammensetzung des Materials einzugreifen. Ferner muß beachtet werden, daß von ausgetrockneten oder mit  ${\rm H_2O_2}$  behandelten Proben keine sinnvollen Schlämmanalysen angefertigt werden können.

Die Sonderprobleme bei einer Bearbeitung des Kiesanteils in Proben (> 2 mm) brauchen hier nicht betrachtet zu werden, weil diese Korngrößen in den Wattsedimenten der Meldorfer Bucht nicht vorkommen. Für den Sand-, Schluff- und Tonanteil hat sich folgender Bearbeitungsgang im Aufwand als praktikabel und im Ergebnis als zuverlässig erwiesen:

Die Proben enthalten neben Sand, Schluff und Ton auch Salz. Die Trennung des Sandes von Schluff und Ton erfolgt zusammen mit der Entsalzung (abweichend von der Grenze nach DIN) durch Auswaschung im 50 yum-Sieb, weil dieser Schnitt aus sedimentologischen Gründen so weit wie möglich in den feinen Bereich verschoben werden sollte. Eine Behandlung mit  $\rm H_2O_2$  muß wegen des damit verbundenen Eingriffes in die Materialeigenschaften vermieden werden.

Die Korngrößenbestimmung des Sandanteiles ist unproblematisch. Sie erfolgte durch Trockensiebung in Plansiebmaschinen (JEL). Im Interesse eines guten Auflösungsvermögens bei den meist engen Kornverteilungsspektren wurde der Siebsatz nach der ASTM-Stufung mit o,25 PHI<sup>O</sup>-Schritten eingesetzt. Damit ist zugleich die volle Kompatibilität aller Siebanalsen mit den Daten aus dem sedimentologischen Labor des Deutschen Hydrographischen Instituts gewährleistet.

Die Bestimmung der Kornverteilungen < 0,50 um erfolgte durch Schlämmanalysen nach dem Pipette-Verfahren. Schlämmanalysen nach dem Aräometer-Verfahren haben sich nicht als ausreichend reproduzierbar erwiesen. Schlämmanalysen mit Atterberg-Zylinoern sind wegen des großen Aufwandes in der Regel nicht vertretbar.

Für die Bearbeitung von insgesamt etwa 2.500 Proben (Flächenkartierung, Testprofile und Testfeld) mit dem Pipette-Verfahren wurde bei Beginn der Untersuchungen ein Labor eingerichtet. Dieses enthielt neben den für die Pipetteanalysen üblichen Geräten zwei Wasserbäder, die für die Konstanthaltung der Temperatur in den Fallzylindern sorgten. Für die Analysen wurde eine Temperatur von  $22^{\circ}$  C eingestellt, um von den Schwankungen der Raumtemperatur unabhängig zu sein.

Den Schlämmanalysen nach dem Pipettierverfahren liegt, wie allen vergleichbaren Methoden, die Berechnung der Fallgeschwindigkeiten in Wasser nach dem Stokes'schen Gesetz zu Grunde.

Stockes'sches Gesetz:

$$v = \frac{2 (d_s - d_f) g r^2}{9 / um}$$

v = Fallgeschwindigkeit der Kugel

d = Dichte der Ku∉gel (Quarz)

d<sub>f</sub> = Dichte des Pipettemediums bei einer bestimmten Temperatur

g = Erdbeschleunigung

r = Radius der Kugel

Der Anteil < 50 /um der Proben wurde beim Waschen entsalzt und dann in einen 1.000 ml-Standzylinder überführt. Das Pipettier-medium war Aqua dest., dem je nach der Menge der Probe Diespersionsmittel zugegeben wurde (1 ml 10 %-iger Lösung je 1 g Trockengewicht der Probe). Für die Dispersion wurde Natriumpyrophosphat und teilweise auch Calgon eingesetzt.

Im Gegensatz zu der bei der Siebung erfolgenden Fraktionierung des Sandanteils in verschiedene Korngrößenklassen von 0,25 PHI<sup>O</sup>, wird der Schlickanteil des Sedimentes durch die Pipetteanalyse in "Summengewichte" zerlegt. Die erste, nach der Homogenisierung der Probe aus 20 cm Tiefe entnommene Pipettenfüllung enthält noch sämtliche Korngrößen der Suspension und beschreibt damit die Gesamtmenge aller Fraktionen bzw. die "Summe aller Gewichte" < 50 /um. Die Entnahme aus 20 cm Tiefe stellt sicher, daß auch die gröbste Kornfraktion des Schlickanteiles < 50 /um noch nicht unter den Entnahmepunkt gesunken ist.

Formblatt für die Pipetteanalyse

Probe Nr.		Datum: _	Bearbeiter:				
Dispersions- mittel:		Temp.:	22°C P-Medium:				
Korngröße in (	P   Entrahn	netiefe	Entnahmezeit	Σ%	6		
4,3	20	)	20 sek.				
4,5	20	)	1m 49s				
	The state of the s		Umrühren				
5,0	10		1m 49s				
5,5	10		3m 37s				
6,0	10		7m 15s				
7,0	10		28m 59s				
8,0	5		57 m 58s				
9,0	5		3 h 52m				
10,0	5		15h 28m				
11,0	5		61h 50m				
ES + P + D =	4 φ	4,5 q	5 φ	5,5 φ	6 y		
minus ES							
P + D =							
minus D							
P =							
x 50							
GesGew. in 1000 ml =							
		Вφ	9 q	10 y	11 φ		
ES + P + D =.							
minus ES							
P + D =							
ninus D							
P =							
x 50							
GesGew. in			4				

In der Spalte "Entnahmezeit" sind die Fallzeiten nach Stokes für eine Temperatur von  $22^{\circ}\mathrm{C}$  eingetragen.

Die darauf folgenden Pipette-Proben werden zu der Zeit und in der Tiefe des Fallzylinders entnommen, zu der die zu bestimmende Korngrößenfraktion den jweiligen Probenentnahmepunkt passiert hat. Der Analysengang wird durch die Wiedergabe des Analysenformblattes (Abb. 6) veranschaulicht.

Zur Kombination der Siebfraktionsgewichte und der Summengewichte der Pipette-Analysen müssen letztere in Fraktionsgewichte umgerechnet werden. Nach der Lochung der Daten erfolgt diese Berechnung durch ein EDV-Programm von K.-D.KACHHOLZ (1980).

Vor Beginn dieser Untersuchungen wurde mit Hilfe einer Schlick-Großprobe die Reproduzier barkeit der Pipette-Analysen unter verschiedenen Bedingungen geprüft. Bei Versuchsanalysen mit Aqua dest. + Salz (25 %o), Aqua dest. + Salz + Calgon und mit Leitungswasser flockten die Schlickpartikel sehr schnell aus, so daß sich eine weitergehende Untersuchung erübrigte.

Die statistischen Fehler, die beim Analysengang von der Probenvorbereitung an und bei der Arbeit mit Aqua dest. und mit Aqua dest. + Calgon bis zur Trocknung und Wägung auftreten, wurden durch je fünfzehnfache Wiederholung des gesamten Arbeitsganges bestimmt.

Von beiden Versuchsreihen wurden Mittelwerte und Streuungen (Standardabweichungen) bestimmt und in der Tabelle 1 zusammengefaßt (s.n.S.).

Bei dem Vergleich der Standardabweichungen fällt auf, daß sie mit der Abnahme der Korngrößen zunehmen. Der Meßfehler ist also bei den kleinsten Fraktionen (8 und 9 PHI) größer, als bei den gröberen Fraktionen. Auch die Standardabweichung der 2 /um-Fraktion ist nur ca. doppelt so groß wie die der 44 /um Fraktion. Daraus kann gefolgert werden, daß die Reproduzierbarkeit der Pipette-Analysen auch bei sehr feinen Fraktionen noch für das Untersuchungsziel ausreichend gewährleistet ist.

Tabelle 1

-		-		CO.	und Aqua		y von den	HIIGTARE	11-
	φ-Gr	ad	4,5	5	5,5	Б	7	8	9
0 1 1		×	85,33	77,36	61,82	54,35	50,66	46,07	37,13
A.des	u s	S	2,71	4,02	4,95	4,89	4,41	5,59	5,30
A.desi Calgor		×	86,0	74,79	58,54	53,04	49,14	44,86	39,99
		S	2,84	3,5	4,27	3,2	3,92	4,29	4,76

Darüber hinaus müssen für genaue Analysenergebnisse folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- 1. Die Partikel müssen aus festen Körpern bestehen.
- 2. Diese Körper müssen eine glatte Oberfläche haben.
- 3. Die Partikelform muß kugelig sein.
- 4. Die Partikel müssen eine Mindestgröße von 0,5 /um besitzen, da kleinere Teilchen von der Brown'schen Molekülbewegung beeinflußt werden. Diese verhindert, daß die Partikel in einer geraden Linie auf dem kürzesten Wege absinken.
- 5. Die Teilchen dürfen nicht größer aus 50 /um sein. Diese obere Grenze ergibt sich durch eine Funktion aus Temperatur, der Reynolds-Zahl der Flüssigkeit und der Dichte der Partikel.
- 6. Das Pipettiermedium (Flüssigkeit im Fallzylinder) muß in Relation zur Partikelgröße eine unendliche Ausdehnung besitzen, da z.B. Partikel, die in Wandnähe absinken, eine verringerte Fallgeschwindigkeit aufweisen.
- 7. Die Partikelkonzentration im Fallzylinder sollte 1 % des Pipettmediums nicht überschreiten, da sich sonst dessen Viskosität verändert und die einzelnen Partikel miteinander referieren.
- 8. Die Proben müssen aus einer Tiefe im Standzylinder entnommen werden, bei der sichergestellt ist, daß die Partikel ihre höchste Fallgeschwindigkeit erreicht haben.

Einige dieser Bedingungen können bei der Bearbeitung eines natürlichen Korngemisches nicht erfüllt werden. Rasterelektronische Untersuchungen haben gezeigt, daß nur ein kleiner Teil des Sedimentes < 50 /um aus gerundeten Körnern besteht. Der Anteil an kugeligen Teilchen nimmt zudem von den gröberen Fraktionen zu den feineren hin deutlich ab. Die Oberfläche der Körner ist nie völlig glatt.

Die übrigen Bedingungen konnten besser eingehalten werden. Die Partikelkonzentrationen überschritten nur bei extrem schlickigen Proben die 1 %-Grenze. Die Mindestgröße o,5 /um wurde schon wegen der extrem langen Analysenzeiten dieser Fraktion stets eingehalten und die Obergrenze bei 50 /um wurde durch die Vorbehandlung eingegeben.

Auch die Genauigkeit der Berechnung nach der Stokes'schen Formel konnte mit dem Raster-Elektronenmikroskop überprüft werden. Da die Pipette-Analyse mit Fallzeiten arbeitet, die für Quarzkugeln bestimmt wurden, ergibt sich, daß je nach Material unterschiedlich starke Abweichungen zwischen den berechneten Werten und den tatsächlichen Korngrößen auftreten müssen.

Deshalb wurden die verschiedenen Pipette-Fraktionen mit dem Raster-Elektronenmikroskop des Geologischen Instituts der Universität Kiel analysiert. Überprüft wurde in erster Linie, ob die Pipette-Ananlyse auch bei einem inhomogenen Korngemisch, wie es die Feinanteile der Wattsedimente darstellen, den Berechnungen von Stokes entsprechende Korngrößenangaben liefert.

Von großer Bedeutung war auch die Frage, ob Ausflockung oder Koagulation vermieden worden waren. Eine Koagulationssedimentation müßte nach den Ergebnissen von MATTIAT (1969) unter dem Rasterelektronenmikroskop zumindest beim Tonanteil als Koagulationsgefüge zu erkennen sein. Aus den verschiedenen Pipette-Fraktionen zwischen 9 und 4,3 PHI<sup>O</sup> wurden Proben entommen, auf REM-Objektträger aufgebracht und getrocknet. Auf eine spezielle Entwässerung der Proben über eine Alkoholreihe oder Gefriertrocknung (z.B. nach MATTIAT 1969) konnte in diesem Fall verzichtet werden, da nur die Kontrolle des Pipetteverfahrens angestrebt war. Die Präparate wurden mit einem Rasterelektronenmikroskop der Firma Cambridge untersucht und fotografiert.

Die beiden Wiedergaben von REM-Aufnahmen (Abb. 7, 1 und 2), zeigen Beispiele für die Zusammensetzung von Pipette-Fraktionen. Die erste Abbildung stellt das Korngemisch aller Korngrößen < 44 /um (4,5 PHI $^{0}$ ) und die zweite sämtliche Partikel < 1,95 /um (9 PHI $^{0}$ ) dar.

Die Fraktionen des mittleren und groben Silts zwischen 15 und 50 /um (Obergrenze der Pipette-Analyse) besitzen noch eine relativ gute Übereinstimmung der tatsächlichen Korngrößen mit den berechneten Werten (z.B. Abb. 6). Zum feinen Silt hin werden die Abbildungen der Pipettefraktionen dann von einzelnen, durch ihre Größe auffallenden Diatomeenschalen durchsetzt. Meist finden sich nur die Bruchstücke von Schalen.

Im Tonanteil (< 2 /um) "schlickiger" Wattproben beherrschen dann die plättchenförmigen Tonminerale und Diatomeenschalenbruchstücke das Bild (z.B. Abb. 7). Beide sind oft bis über doppelt so groß, als es ihrer Fraktion entspricht. Blättchenförmige Tonpartikel sedimentieren deutlich langsamer als Quarzkörner gleicher Masse und Diatomeenschalen liegen auch aufgrund ihrer porösen Struktur oft erheblich über der Fraktionsgrenze. Sind Diatomeenschalen relativ vollständig erhalten, wie z.B. auf der Abbildung der 9 PHI<sup>O</sup>-Fraktion, so erreichen sie in derTonfraktion oft mehr als die vierfache Größe der theoretischen Fraktionswerte.

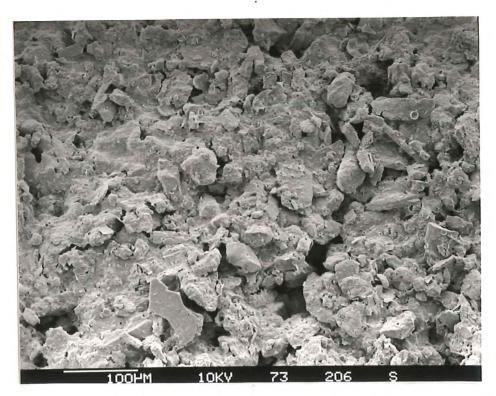
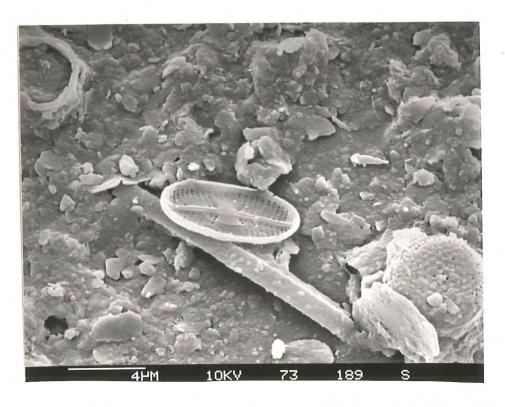


Abb. 7:

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Pipette-Fraktion < 44 /um (4.5 PHI<sup>O</sup>), 200-fache Vergrößerung, Kippung der Objekebene um 15 Grad.



2. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Pipette-Fraktion  $< 1.95 \text{ /um } (9.0 \text{ PHI}^{0})$ . Sooo-fache Vergrößerung, Kippung = 15 °.

Im Gegensatz zu den "schlickreichen" Sedimentproben besitzen "schlickarme" Wattsande auch in den Fraktionen des Feinsilts und Tons einen höheren Quarzanteil und – verglichen mit Schlick – wenige Diatomeenreste.

Nach den Ergebnissen der REM-Untersuchungen ist bei der PipetteAnalyse in einem mit Dispersionsmitteln versehenen Medium und
einer entsalzten Probe also sichergestellt, daß eine Einzelkornsedimentation stattfindet. Die Einzelkornsedimentation spielt
jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit bei der Schlicksedimentation
im Wattbereich unter natürlichen Bedingungen keine oder nur
eine verschwindend geringe Rolle. Wie bei den Versuchen mit der
Pipette-Analyse im Salzwasser gezeigt wurde, koagulierten die
Schlickpartikel trotz vorheriger Entsalzung sehr bald wieder und
es trat eine stark beschleunigte Sedimentation ein. MATTIAT (1969)
konnte für ein Schlicksediment aus dem Jadebusen das "Kartenhausgefüge" einer Koagulatsedimentation nachweisen. Im Gegensatz dazu
fand er in einer Brackmarschprobe von Hatzum Einzelkornparallelgefüge in Wechsellagerung mit Koagulatgefüge. Diese Fragen werden im Abschnitt "Testfeld" weiter diskutiert.

# 2.3 Errechnung von Probenparametern aus Labordaten (Bearbeiter: R. GAST)

Das aus dem Pipette- und Sieb-Labor erhaltene Datenmaterial wurde mit Hilfe von Datenlochgeräten in maschinenlesbare Form übertragen. Die Berechnung der Sedimentparameter erfolgte durch das von WALGER (1971) erstellte FORTRAN IV-Programm PARDIS. Dieses von KACHHOLZ (1980) überarbeitete Programm berechnet die Fraktionsgewichte und Summengewichte der Proben und die Parameter des Quartil-, INMAN-, Perzentil 99-(WALGER), FOLK- und Momenten-Systems. Auf der Grundlage dieser Daten konnte die Sedimentverteilung in den Wattgebieten der Meldorfer Bucht in verschiedenen Karten dargestellt werden.

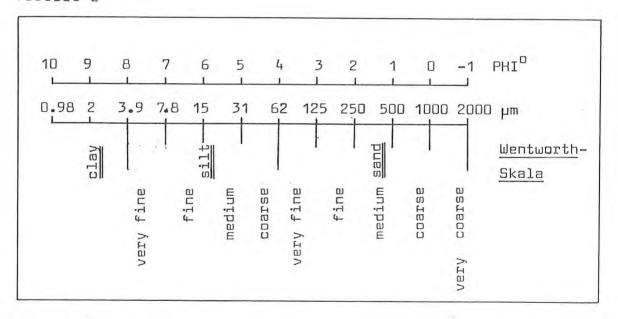
Im ersten Teil der Auswertung werden die prozentuale Verteilung bestimmter Korngrößenbereiche des Sediments gezeigt, im zweiten die Auswertung von Parametern dargestellt. Zur Berechnung und Darstellung sämtlicher Daten wurde das international gebräuchliche "PHI-Grad"-System nach KRUMBEIN (1936) benutzt. PHI-Grade sind ein relativierender Korngrößenmaßstab (WALGER, 1964), der durch die logarithmische Transformation auf folgende Art entsteht:

PHI<sup>O</sup> = - log 
$$\frac{x(mm)}{1(mm)}$$
 = 1  $\frac{1}{1g2}$  lg  $\frac{x(mm)}{1(mm)}$ ;  $x_0 = 1$  mm

Die PHI-Werte sind als Logarithmen von Längenverhältnissen dimensionslose Zahlen.

Für die praktische Arbeit mit den PHI-Graden ist die Aufstellung eines PHI<sup>O</sup>-mm-Vergleichsmaßstabs sinnvoll. Eine weitere wertvolle Hilfe stellt die "PHI-Millimeter Conversion Table" von PAGE (1955) dar.

Tabelle 2



Für die Untersuchung der Wattsedimente wurden die Parametersysteme "Quartilsystem" und "Momentensystem" angewandt und in Form von Kartendarstellungen ausgewertet. Karten auf der Grundlage des "Momentensystems" werden im Bericht vor allem für das Testfeld wiedergegeben. Für weitergehende EDV-Bearbeitungen wurden überwiegend die Momentenparameter eingesetzt. Das Momentensystem erwies sich als den anderen Systemen überlegen, bei der

Beschreibung von Sedimenten mit hohem Feinanteil auch dem Quartilsystem. Das FOLK-System (R.L.FOLK & W.WARD, 1957) lieferte allgemein unbefriedigende Ergebnisse.

Der Grund hierfür ist, daß beim Quartil- und anderen Systemen nur wenige Punkte der Summenkurve zur Beurteilung der Kornverteilung herausgegriffen werden. Beim Momentensystem werden dagegen alle berechneten Punkte der Verteilung berücksichtigt. Probleme ergeben sich nach R.L.FOLK (1966) mit den Momentenparametern nur dann, wenn für einen Teilabschnitt der Kornverteilung, wie bei vielen Bearbeitern dem Feinanteil, nur wenige Werte vorliegen. Je nach der Bedeutung dieses Anteils kann dies zu mehr oder weniger stark verfälschten Werten führen. Deshalb ist für eine gesicherte Beschreibung des Materials eine sehr hohe Zahl von Schlämmanalysen notwendig.

Sehr empfindlich reagieren nach FOLK's Angaben die Werte der Momenten-Schiefe und der Momenten-Kurtosis auf fehlerhafte Labordaten, die durch defekte Siebe entstanden sind. Vor allem die feinen Siebe unterliegen einem recht schnellen Verschleiß. Da der Zustand der Siebe regelmäßig überprüft wurde, lieferten auch diese beiden empfindlicheren Momentenparameter gut reproduzierbare Ergebnisse.

Außer den vier in der Tabelle 2 aufgeführten Momentenparametern wurde für eine Kartendarstellung des Testfeldes auch der "Hydraulische Mittelwert" verwendet. Sie stimmt weitgehend mit den anderen Mittelwertkarten (Medianwert des Quartilsystems und Momenten-Mittelwert) überein (vgl. Abschnitt "Testfeld"). Unter dem "Hydraulischen Mittelwert" versteht BAGNOLD (1968) den mittleren Durchmesser einer Quarzkugel, deren Fallgeschwindigkeit im Wasser gleich der "effektiven mittleren Fallgeschwindigkeit" der Korngrößenverteilung ist.

Die anderen verwendeten Parameter lassen sich kurz in der nachstehend angeführten Weise charakterisieren.

Tabelle 2. Formeln des Quartil- und Momentensystems

#### Quartilsystem (TRASK 1932; KRUMBEIN 1934)

Medianwert Md = Z50

Mittelwert MIW =  $\frac{Z50 + Z25}{2}$ 

Sortierung SDV =  $\frac{Z50 - Z25}{2}$ 

Schiefe SCH =  $\frac{Z75 + Z25 - Z50 \times 2}{Z75 - Z25}$ 

Z = Perzentil der Summenkurve; z.B. Z50 = Korngröße bei 50% des Materials

#### Momenten-System (WENTWORTH 1929; KRUMBEIN 1936)

Nach WALGER (1971) ist das Momentensystem im Programm PARDIS folgendermaßen definiert:

Es seien  $(Z_i, P_i)$  Wertepaare der Summenkurve. Die Abstände der  $Z_i$  seien hinreichend klein, daß  $(Z_{i+1} + Z_i)/2$  als Argument zur Klasse mit den Grenzen  $Z_i$ ,  $Z_{i+1}$  und dem Inhalt  $P_i$  –  $P_{i+1}$  –  $P_i$  angesehen werden darf. Dann ist der Mittelwert

$$MIW = 1/100 \cdot \left[ Z_{i} \cdot \dot{P}_{i} \right]$$

Es sei  $x_i = Z_i$  - MIW n-tes Moment MOMn = ;/100 ·  $x_i^n \cdot P_i$ , dann sind die Sortierung bzw. Standardabweichung

 $SDV = \sqrt{MOM2}$ ,

Schiefe  $SCH = MOM3/SDV^3$  und die

Kurtosis KURT = MOM4/SDV4

Die <u>Mittelwerte</u> (Quartilsystem, Momentensystem) geben die durchschnittliche Korngröße einer Probe an. Je nach Ausbildung der hydraulischen Kräfte an der Sedimentoberfläche, verschiebt sich der Korngrößenmittelwert zum Gröberen oder zum Feineren hin. Die Mittelwerte sind somit ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung des Ablagerungs"milieus".

Die <u>Standardabweichung</u> oder Sortierung ist ein Maß für die Abweichung der Kornverteilung vom Mittelwert. Niedrige Werte werden im allgemeinen mit "gut sortiert" und hohe Werte mit "schlecht sortiert" bezeichnet.

Der Parameter <u>Schiefe</u> ermöglicht die Beurteilung der Assymmetrie der Kornverteilungskurve. Wattsedimente besitzen auf Grund ihres stets mehr oder weniger stark ausgeprägten Feinanteils im Momentensystem durchweg eine negative Schiefe. Im Quartilsystem liegen die Werte zwischen -0.2 und /+0.2.

Die <u>Kurtosis</u> ist ein Maß für die Gipfeligkeit (TINIAKOS, 1978) der Kornverteilung, d.h. sie beurteilt die Höhe und die Breite der Häufigkeitskurve. Diese ist davon abhängig, ob das Material relativ gleichmäßig über einen weiten Korngrößenbereich verteilt ist (platykurt) oder sich mehr auf einen kleinen Bereich konzentriert (leptokurt).

Für die Beurteilung von Wattsedimenten ist sie ein sehr gut zu gebrauchendes Maß, da die Streuung der Werte sehr hoch ist, und verschiedene Sedimenttypen stets charakteristische Kurtosiswerte besitzen.

#### 2.4 Kartierung nach Sedimentparametern (Bearbeiter: R. GAST)

Bei allen Kartendarstellungen, die auf Labordaten beruhen, ergibt sich stets das Problem, daß die Auftragung eines Parameters je nach Stufung der Werte sehr voneinander abweichende Bilder ergeben kann. Bei einer zu großen Zahl von Stufen besteht außerdem die Gefahr der Unübersichtlichkeit. Deshalb muß in jedem Falle sorgfältig geprüft werden, ob die natürlichen Zusammenhänge berücksichtigt und keine zusammenhängenden Gruppen durch unglückliche Stufenwahl zerschnitten werden.

### Prozentanteil von Korngrößen < 50 /um (Abb. 8)

Mit der Prozentangabe bei 50 /um wurde der Grenze bei der Trennung des Siebanteils der Probe vom Pipetteanteil entsprochen. Durch eine Dreierstufung der Prozentanteile in o-5 % < 50 /um (näherungsweise Wattsand), 5-35 % (näherungsweise Schlicksand) und 35-loo % (näherungsweise Schlick) wurde versucht, die Wattsedimentgliederung nach SINDOWSKI (1973) nachzuvcllziehen. Hierbei zeigten sich einige Unterschiede mit der Kartendarstellung (s. Abb. 1 - Grobansprache), die auch bei verschobenen Stufengrenzen der Prozentanteile nicht beseitigt werden konnten.

Die größten Differenzen zwischen den Kartendarstellungen der Grobansprache und dem %-Anteil < 50 /um liegen in der Flächenausdehnung der Schlicksande. Diese nehmen auf der %-AnteilKarte viel größere Flächen ein als auf der Karte der Geländeansprache. Wie oben erläutert, wurden bei der Geländebegehung
kompakt gelagerte, trittfeste und relativ schlickreiche Sedimente in größerem Umfang den Wattsanden zugeordnet. Verständlich
wird daher, weshalb die Schlicksandgrenzen der Grobansprache
mit den Verbreitungsgrenzen der Muschel Cardium edule gut übereinstimmen. Diese Tierart kommt nämlich überwiegend in locker
gelagerten Schlicksanden vor, die SINDOWSKIs Definition entsprechen.

Die vergrößerten Schlicksandflächen der 50 /um-Karte haben eine kleinere Ausdehnung der Wattsand- und in geringerem Umfang auch der Schlickareale zur Folge. Sehr locker gelagertes Material vor allem in Lee des neuen Deiches, das nach der Grobansprache als Schlick bezeichnet wurde, fällt nun nach der Beurteilung durch die Prozentanteile der Korngrößenverteilungen in die Kategorie Schlicksand.

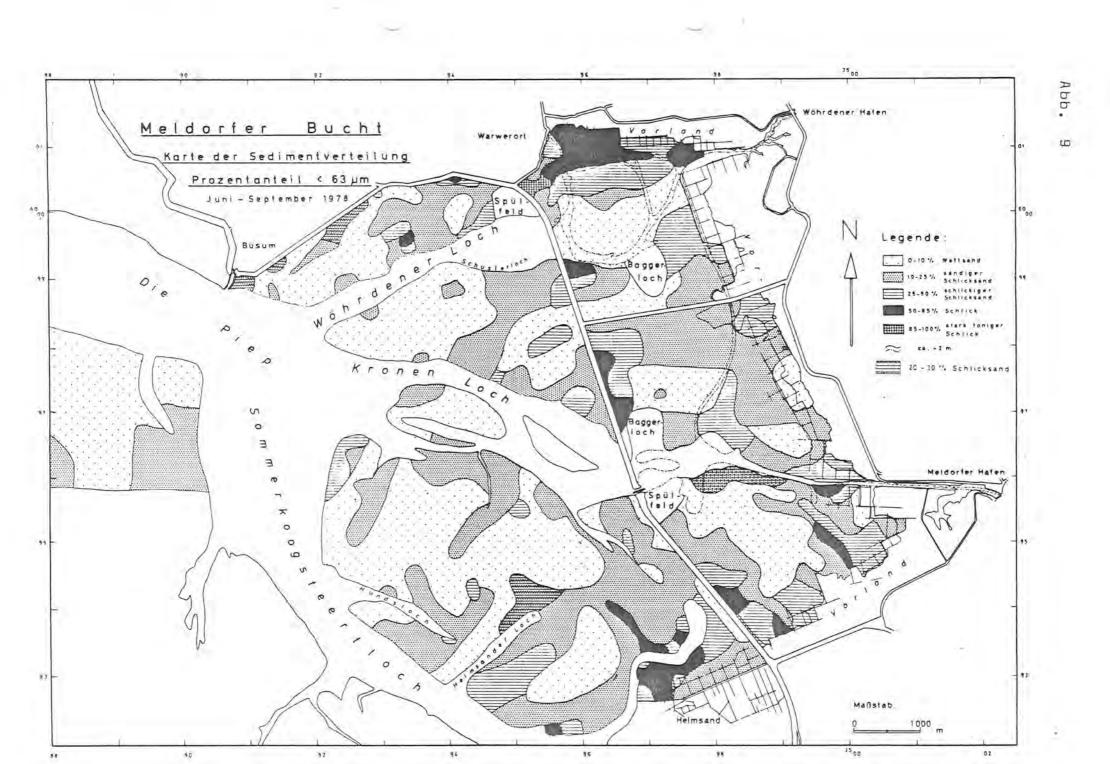
#### Prozentanteil von Korngrößen < 63 /um (Abb. 9)

Das Kartenbild der Prozentanteile < 63 /um zeigt als Folge einer sechsfachen Stufung eine etwas stärker untergliederte Sedimentverteilung. Diese Darstellung beruht auf einem Erfahrungsaustauch innerhalb des "Schlickprogrammes" und ist 1979 im "Schlickkolloquium" vorgetragen worden (vgl. K.FIGGE, R.KÖSTER, H. THIEL & P.WIELAND, 1980).

Die Angabe des Prozentsatzes < 63 /um, die den Ton- und Schluffanteil im Sinne der DIN vom Sand abtrennt, ermöglicht unter bestimmten Bedingungen eine näherungsweise Beschreibung der gesamten Kornverteilung:

- o lo % Wattsand bzw. o 5 % heller Wattsand 5 lo% dunkler Wattsand
- lo 25 % sandiger Schlicksand
- 25 50 % schlickiger Schlicksand
- 50 85 % Schlick
  - 85 % stark toniger Schlick (sehr geringe Verbreitung).

Bei der Kartendarstellung des %-Anteils < 63 /um befriedigte die Aufteilung des Schlicksandes in der Meldorfer Bucht unter biologischen Gesichtspunkten nicht, da einige der kartierten Verbreitungsgrenzen von Arten systematisch abwichen. Deshalb wurden zusätzlich Schlicksandgebiete ausgeschieden, die nur Anteile zwischen 20 und 30 % < 63 /um enthielten. Es gelang zwar auch damit nicht, die Verbreitungsgebiete von Cardium



besser zu beschreiben, aber dieser Bereich scheint einen Hinweis auf das Substrat verschiedener Polychaeten (vor allem Nereis diversicolor) und Corophium zu geben.

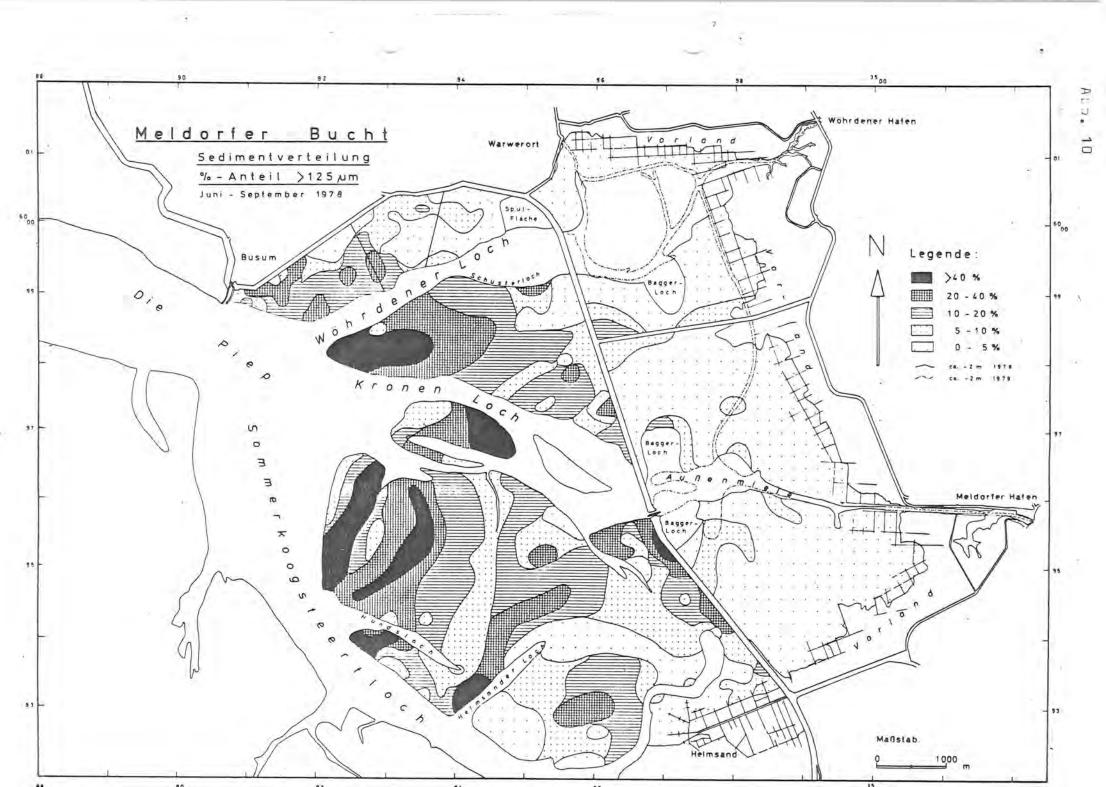
Die Aufgliederung des Schlicksandes zeigte, daß die Fraktion < 63 /um zwischen 10 und 25 % weit größere Flächen einnimmt, als das Material < 63 /um zwischen 25 und 50 %. Schlickige Schlicksande bilden oft einen Saum um die Schlickgebiete und konzentrieren sich mehr auf die inneren, deichnahen Gebiete der Meldorfer Bucht. Die Schlickvorkommen 50 - 85 % < 63 /um liegen, bis auf die Areale nördlich vom Helmsand, alle östlich der neuen Deichtrasse. Sie haben bei dieser Art der Kartendarstellung ähnliche Verbreitungsgrenzen wie auf der < 50 /um-Karte. Stark toniger Schlick ( > 85 % < 63 /um) wird nur im Norden des Speicherkooges in Lee des neuen Deiches angetroffen. Die Wattsande sind auf beiden Darstellungen ähnlich verteilt.

Wegen der insgesamt relativ detaillierten Darstellung der Sedimentverteilung mit Hilfe des < 63 /um-%-Anteils, werden die folgenden Parameter meist mit dieser Auftragungsform verglichen.

### Prozentanteil von Korngrößen ➤ 125 /um (3 PHI°)(Abb. 10)

Bei Wattsedimenten ist der Prozentanteil an Korngrößen >125 / um in landnahen Gebieten meist sehr gering (<10 %). Erst auf landferneren Platen steigt der Anteil an Korngrößen >125 / um bis auf Werte von 40 % und mehr an. Die Abbildung der Prozentanteile > 125 / um zeigt eine Darstellung in fünffacher Stufung o - 5 %, 5 - 10 %, 10 - 20 %, 20 - 40 %, > 40 %), wobei die Stufenbreite zum Gröberen hin zunimmt. Dies war notwendig, um auch landnahe Sedimente noch untergliedern zu können.

Die Kartendarstellung verdeutlicht die Tiefenstaffelung der Sedimente in der Meldorfer Bucht. Die höchsten Anteile an gröberem Material ( > 125 /um) finden sich an den westlichen Rändern der großen Platen. Nur auf einer "Insel" im Kronenloch



sind die Verhältnisse umgekehrt, da der Ebbstrom im Kronenloch die Ostseite der Insel möglicherweise stärker hydraulisch belastet als Flutstrom und Brandung die Westhälfte.

Ab ca. looo m westlich der neuen Deichtrasse bildet sich in der Verteilung des Grobanteils > 125 /um eine Zonierung der Wattsedimente ab. Auf der nördlichen Plate entsteht diese durch die nach Osten hin stetig abnehmenden Anteile an Material > 125 /um. Auf den nach Süden angrenzenden Wattgebieten wechseln dagegen Zonen gröberen Materials mit Zonen höherer Feinanteile. Insgesamt nimmt auch dort der Anteil gröberer Fraktionen in Richtung Deich ab.

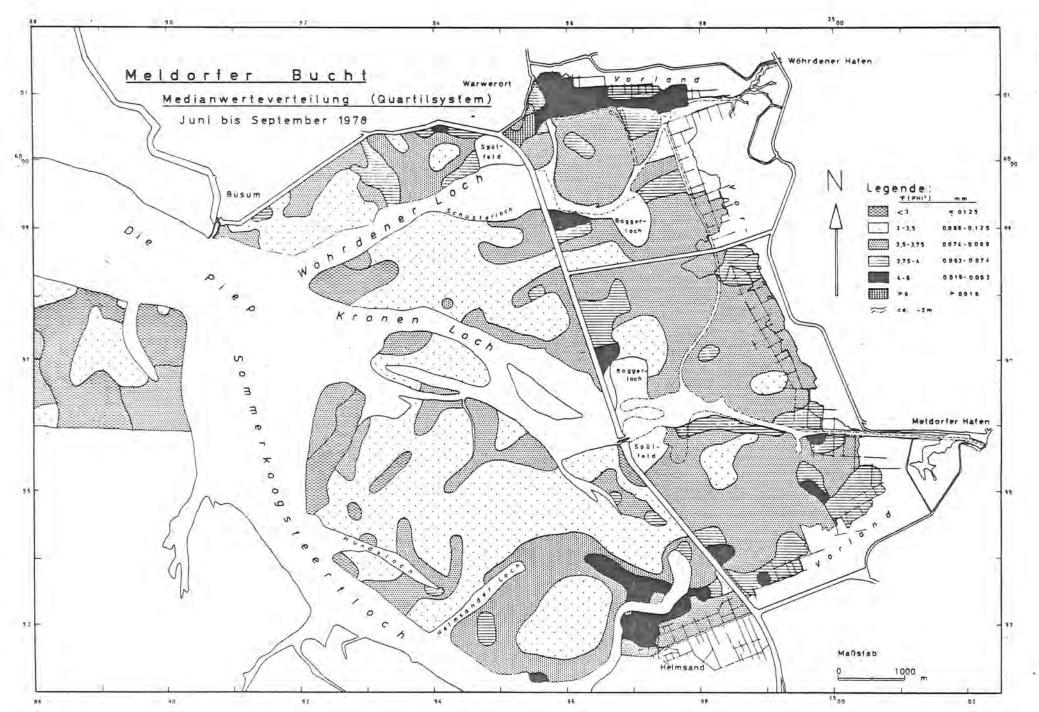
Die Verbreitung von Sedimenten mit einem größeren Prozentanteil von Korngrößen > 125 /um gibt im Watt stets einen Hinweis auf eine höhere Belastung durch hydromechanische Faktoren.

#### Verteilung der Medianwerte (Quartilsystem) (Abb. 11):

Beim Medianwert handelt es sich um den beim Perzentil 50 abgegriffenen Wert der Summenkurve einer Kornverteilung. Er wurde in einer sechsfachen Stufung (< 3, 3-3,5, 3.5-3.75, 3.75-4, 4-6, > 6 PHI $^{0}$ ) zur Charakterisierung der Sedimentverteilung aufgetragen. Die Signaturen wurden so gewählt, daß ein Vergleich mit den Kartendarstellungen der Prozentanteile möglich ist.

Wattsande mit besonders hohen Gehalten an Komponenten > 125 /um werden bei der Medianwertauftragung nicht so deutlich untergliedert wie bei der Prozentanteilkarte > 125 /um. Trotzdem werden auch bei dieser Darstellung die hydraulisch besonders belasteten Randgebiete der großen Platen herausgehoben.

Trotz der im Schlicksand- und Schlickbereich (Medianwerte < 88 /um) relativ engen Stufung von o.25 PHI-Graden, liefert das Kartenbild der Medianwerteverteilung nicht so viele



Informationen über die Sedimentverteilung wie die Prozentanteilkarte < 63 /um.

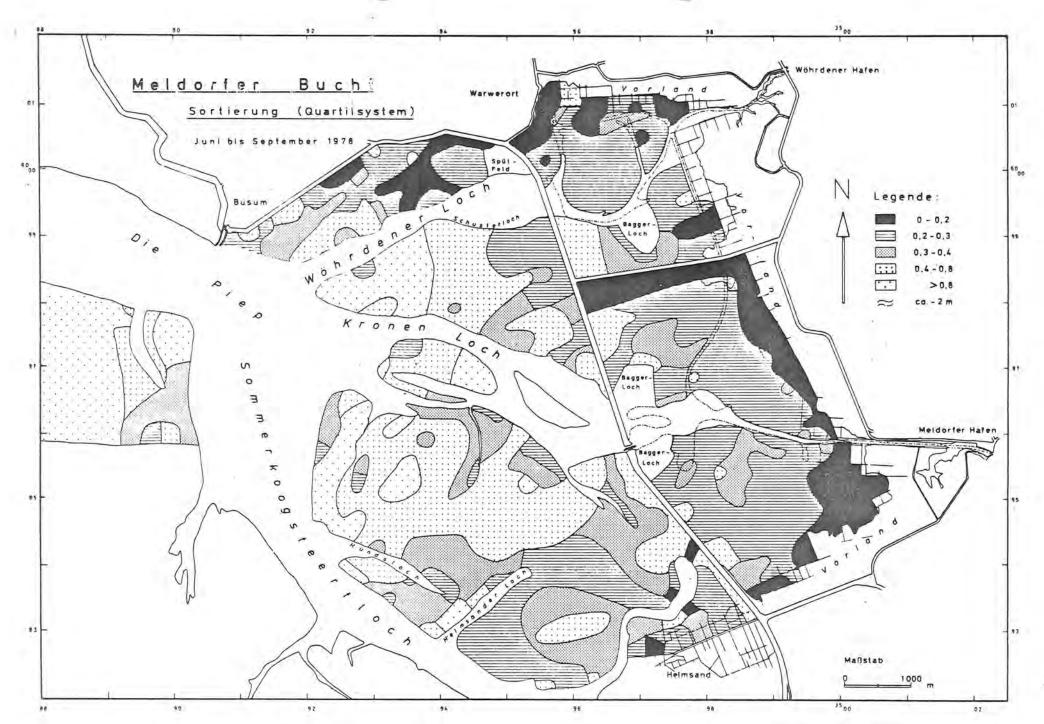
Die Schlickbereiche stimmen ziemlich gut überein. Auch der tonige Schlick wird richtig dargestellt.

Das Wattgebiet östlich des neuen Deiches wird durch die Medianwerteverteilung weniger gut gegliedert, als das Watt westlich
davon. Vor allem im Bereich der Schlicksande übertreffen die
Kartendarstellungen der Schlickanteile < 50 und < 63 /um die
Medianwertekarte an Detailreichtum. Die hydromechanisch stärker belasteten Gebiete im Westen der Meldorfer Bucht werden
dagegen von den Medianwerten deutlicher gekennzeichnet.

#### Verteilung der Quartil-Sortierung (Abb. 12)

Von den anderen Kartendarstellungen stark abweichende Bilder brachte die Auftragung der Quartil-Sortierung  $(\frac{Z}{2}, \frac{75-Z}{2})$ , die für grobkörnigere Sedimente wie Strandsande konzipiert worden ist. Die Quartilsortierung ist nicht mit der Momentensortierung zu vergleichen, bei der sämtliche Perzentile in die Berechnung mit eingehen. Sortierungswerte sind immer in Zusammenhang mit den Mittelwerten zu betrachten, da sie die Abweichung von diesen beurteilen.

Zum Beispiel ist nach dem Momentensystem (vgl. Testfeld) ein Schlick auf Grund seines hohen Feinanteils und damit der einen weiten Bereich überspannenden Kornverteilung ein schlecht sortiertes Sediment bzw. ein Sediment mit hoher Standardabweichung. Der gleiche Schlick besitzt nach dem Quartilsystem jedoch die beste Sortierung aller Wattsedimente, da die Berechnungsformel nur den Sand- und Grobsiltanteil erfaßt. Die für sandige Sedimente brauchbare Sortierungswertung des Quartilsystems ist daher für Wattsedimente bzw. Sedimente mit höherem Feinanteil ungeeignet.



#### Verteilung der Quartil-Schiefe

Ähnlich wie bei der Quartilsortierung berücksichtigt die Berechnungsformel der Quartil-Schiefe den Feinanteil der Wattsedimente nur unzureichend. Da die Darstellung der QuartilSchiefe für die Beschreibung der Sedimentverteilung auf den
Wattflächen ungeeignet ist, wird auf die Diskussion der Momenten-Schiefe verwiesen.

#### Sedimentverteilung des nordöstlichen Bielshövensandes

Der Bielshövensand ist ein ausgedehntes, westlich der Meldorfer Bucht und südwestlich von Büsum gelegenes Wattgebiet. Es ist stark gegen anlaufende Wellen exponiert. Entsprechend herrschen hier grobkörnigere Sedimente mit nur geringen Anteilen < 63 /um vor. Einzelheiten finden sich in R.GAST (1981).

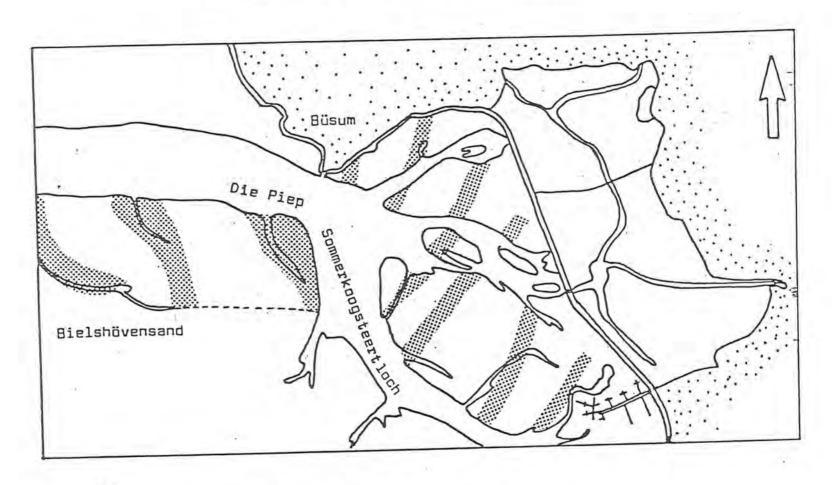
#### Zonierung der Sedimentverteilung (Abb. 13)

Beim Vergleich der Sedimentverteilungen auf den Karten der Prozentanteile < 50 /um, < 63 /um und > 125 /um und der Karte der Erosions- und Sedimentationsgebiete, fällt eine deutliche Zonierung auf. Dem Wechsel überwiegend wattsandbetonter Streifen mit schlickigeren Streifen entspricht ein Wechsel zwischen schwach bis stark erodierten Flächen, Zonen stabilen Zustandes und Zonen schwacher bis starker Sedimentation.

Diese Zonen verlaufen einander nicht streng parallel. Die erste schlickreichere Zone im Westen hat eine NW-SE-Richtung, die nächste – beim Russenloch – besitzt einen NNW-SSE-Verlauf, und die dritte, bei der Schell-Legde, ist nach Norden ausgerichtet. Diese Zonierung schwenkt dann in der inneren Meldorfer Bucht auf eine NE-SE-Richtung um.

Für den geologischen Aufbau der Wattflächen spielen diese, die Sedimentzonen formenden Kräfte anscheinend eine erhebliche Rolle. Auch die Wattmorphologie wird in starkem Maße davon

Abb. 13. Gebiete mit überwiegend positiver Materialbilanz in der Meldorfer Bucht und auf dem Bielshövensand



0 2 Zonen positiver Sedimentbilanz

Die Karte basiert auf der Auswertung der Materialbilanz 1973/1976 und auf Geländebeobachtungen von 1978 und 1979 geprägt. Eine Diskussion der Ursachen der Zonierung und des Richtungswechsels bleibt ohne genaue Kenntnis der örtlichen Strömungs- und Seegangsverhältnisse hypothetisch. Leider waren für eine weitergehende Erörterung dieser Probleme die erforderlichen hydrologischen Daten nicht verfügbar.

# 2.5 <u>Metallgehalte der Sedimente der Meldorfer Bucht</u> (Bearbeiter: R. GAST)

An 256 Proben aus der Flächenkartierung wurden mit Hilfe der Atom-Absorptions-Spektroskopie die Gehalte an Mangan, Chrom, Zink und Kupfer stellvertretend für viele andere Metalle untersucht. Diese Auswahl erfolgte, weil die genannten Elemente mit relativ geringem Aufwand erfaßt werden können, andererseits aber eine beginnende Verschmutzung deutlich anzeigen.

Nach diesen Daten treten im Watt der Meldorfer Bucht noch keine unnatürlich hohen Konzentrationen auf. Allerdings wurden die höchsten Gehalte in den locker gelagerten jungen Schlicken in Lee des neuen Seedeiches gemessen. In den Testprofilen waren außer bei Zink, dessen Gehalt nach unten abnimmt, im Vertikalprofil keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

- 3. <u>Statistische Auswertung der Probendaten aus der</u> <u>Flächenkartierung</u>
- J.l Parameterwertung und Sedimenttypisierung mit Hilfe von Klassifikations- und Diskriminanz-Analysen (Bearbeiter: R. GAST)

Zur Untersuchung der natürlichen Gliederung der Wattsedimente sowie zur Wertung und Gewichtung der Sedimentparameter, wurden Klassifikationsanalysen durchgeführt. Da die Kapazität des Rechenprogramms nicht ausreichte, um sämtliche Sedimentproben des Kartierungsgebietes in einem Durchgang zu klassifizieren, wurden die Klassifikationsergebnisse der Teilgebiete durch Diskriminanzanalysen überprüft.

Für die Untersuchungen wurde das Klassifikationsprogramm YHAK/KDIAG eingesetzt (VOGEL, 1975; VOGEL, 1978).

YHAK ist ein Programm zur Klassifikation von Merkmalsträgern oder Merkmalen nach einem von acht wählbaren Verfahren und unter Verwendung eines von vier (Un-)Ähnlichkeitsmaßen. Das unter Verwendung eines Von vier (Un-)Ähnlichkeitsmaßen. Das Fusionsergebnis wird in Form eines Stufenprotokolls, eines Dendrogramms und eines Struktogramms dargestellt. Außerdem wird eine Korrelationsmatrix der Merkmale ausgedruckt.

Das Programm KDIAG dient der Erstellung von Klassendiagnosen für metrische und binäre Merkmale unter Verwendung der Ergebnisse aus YHAK. Folgende Angaben werden ausgedruckt: Mittelwerte, Standardabweichungen, Variationsk oeffizienten, Fehlerquadratsummen und Streuungsanteile der Merkmale. Außerdem werden für jede Klasse jeder Fusionsstufe (2-12) die Anzahl und Nummern der Proben und für jedes Merkmal der Mittelwert, die Abweichung vom Mittel, die Standardabweichung, der Variationskoeffizient und die Fehlerquadratsumme angegeben.

Auf jeder Fusionsstufe wird außerdem die Fehlerquadratsumme in die Fehlerquadratsumme innerhalb der Klassen und die Fehlerquadratsumme zwischen den Klassen aufgespalten. Die Angaben werden für die gesamte Fehlerquadratsumme sowie für die einzelnen Merkmale ausgedruckt.

Die Klassifikationsanalyse setzt keine Gliederung der Datenmenge voraus. Sie ist deshalb für die Typisierung von Sedimenten besonders gut geeignet. Hierbei wird die ungeordnete Gesamtheit oder Stichprobe von Elementen auf Grund der Merkmalswerte jedes Elements in eine aus diesen Merkmalswerten abzuleitende, a prioriaber unbekannte Anzahl möglichst homogener und einander möglichst ungleichartiger Klassen zerlegt (VOGEL, 1975). Um die Ergebnisse und den Wert einer Klassifikation beurteilen zu können, müssen mit den Klassifikationsergebnissen auch die zur Untersuchung benutzten Variablen (Merkmale) vollständig angegeben werden.

Die Auswahl der Klassifikationsmerkmale (Variablen) ist meist eine <u>subjektive</u> Entscheidung. Da die Merkmalsauswahl das Klassifikationsergebnis jedoch ganz entscheidend beeinflußt, können Anhaltspunkte für die Merkmalsauswahl nur vom Ergebnis der Klassifikationsanalyse her abgeleitet werden.

Klassifikations- und Diskriminanzanalysen unterscheiden sich vor allem dadurch, daß bei der Diskrimination die Anzahl und die Eigenschaften der Teilgesamtheiten (Klassen) bekannt sind; Elemente werden den Klassen mit bekannten Eigenschaften zuge- wiesen, während bei der Klassifikationsanalyse Anzahl und Eigenschaften der Klasse vorerst unbekannt sind.

Das Prinzip der Diskriminanzanalyse beruht darauf, daß im mehrdimensionalen Raum jede Probe durch einen Vektor gekennzeichnet ist. Die Anzahl der der Dimensionen wird durch die Anzahl der Parameter und die Richtung des Vektors durch die Beträge der Parameter bestimmt. War die Einteilung in die Klassen optimal, so bilden sich die Proben als geschlossene Punktwolken ab, die gegeneinander deutlich abgegrenzt sind.

Das hier eingesetzte Programm stammt aus dem IBM Scientific Subroutine Package und wurde von KACHHOLZ (1978) überarbeitet. Die Diskriminanzanalyse diente bei den vorliegenden Untersuchungen vorwiegend dazu, die Ergebnisse der Klassifikationsanalysen zu überprüfen. Sie stellt ein gutes Maß für die Brauchbarkeit und die Qualität der Klassenbildungen der verschiedenen Klassifikationsläufe dar.

Die Überprüfung der Klassifikationsanalysen von <u>Teilgebieten</u> der Meldorfer Bucht ergab stets gute bis sehr gute Übereinstimmung der Resultate. Dabei war es für das Ergebnis der Diskriminanzanalysen unerheblich, ob für den Versuch alle lo Parameter, 7 Parameter verschiedener Kombinationen oder die 4 Momentenparameter eingesetzt wurden. Erst die Kombination <u>zweier</u> Teilgebiete ergab Neuzuordnungen in etwas größerem Umfang.

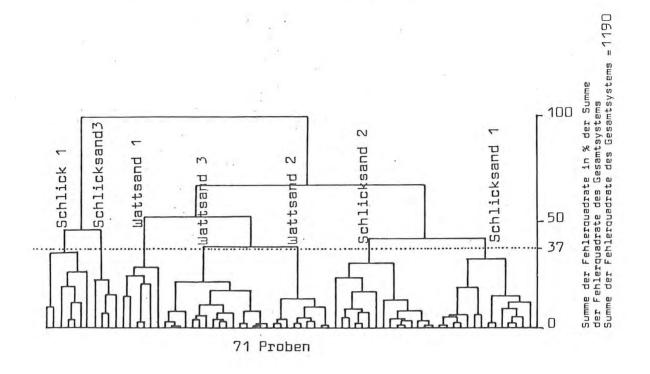
Im Ausdruck des Teilprogramms KDIAG lassen sich vor allem über die Angaben der Fehlerquadratsummen zwischen den Klassen Schlüsse über die Qualität der verwendeten Parameter ziehen. Die Trennung der Klassen ist um so besser, je größer die Fehlerquadratsumme zwischen den Klassen und je kleiner die FQS innerhalb der Klassen ist (WARD, 1963). Die Relevanz der Sedimentparameter und ihre Bedeutung für die Charakterisierung der Klassen lassen sich an diesem Verhältnis messen.

Für einen großen Teil der Proben von der Flächenkartierung der Meldorfer Bucht, wurden außer den Korngrößenparametern auch die Gehalte von den Metallen Mn, Cr, Zn und Cu bestimmt. Dazu kommen noch Angaben über die Watthöhe und die Verteilung bzw. die Verbreitung von Arenicola marina und Cardium edule. Als Sedimentparameter wurden die Momentenparameter Mittelwert (MIW), Sortierung (SDV), Schiefe (SCH) und Kurtosis (KURT) und außerdem die Summenprozente bei 9-, 6-, 5-, 4.25-, 4- und 3 PHI eingesetzt.

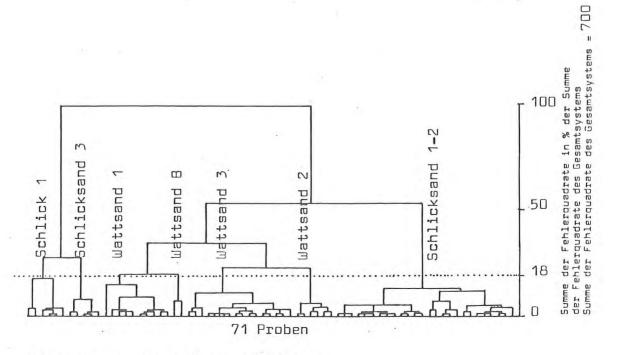
Um das Verhalten dieser 17 Parameter möglichst großflächig zu untersuchen, wurden diese Merkmale mit Hilfe von 71 Stichproben untersucht.

Im Folgenden werden vier Versuchläufe von sieben Klassifikationen mit wechselnden Parameterzahlen dargestellt. Der erste Test umfaßt die oben aufgeführten 17 Parameter. Die beiden Dendrogramm Dendrogramme (Programm YHAK von FORST & VOGEL, 1978) von 71 Stichproben aus der Meldorfer Bucht westlich des neuen Deiches

1. Klassifikation mit 17 Merkmalen (Mn, Cr, Zn, Watthöhe, Arenicola, Cardium, Mom.-MIW,-SDV,-SCH,-KURT, 9, 6, 5, 4.25, 4, und 3 PHI )



2. Klassifikation mit 10 Merkmalen (Mom.-MIW,-SDV,-SCH,-KURT, 9, 6, 5, 4.25, 4, und 3 PHI<sup>0</sup>)



Wattsand B = Bielshövensand-Klasse

der Abbildungen 14.1 und 14.2 zeigen deutlich, daß die Klassenbildungen bei Verwendung dieser Parameter bei viel höheren Fehlerquadratsummen erfolgt, als bei der Klassifikation mit 10 Merkmalen, bei der nur Korngrößenverteilungsparameter verwendet wurden. Die Fehlerquadratsummentabellen der ersten drei Versuchsabläufe geben die Werte für die siebente Fusionsstufe (7 Klassen) an und die vierte die FQS der achten Stufe, da eine fehlerhafte Probe zu einer zusätzlichen Klassenbildung geführt hat.

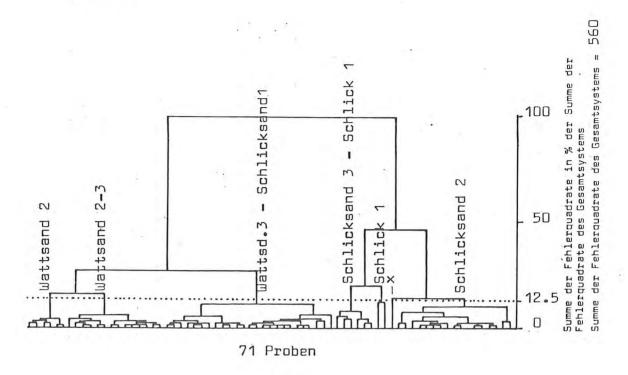
Die Fehlerquadratsummen zwischen den Klassen, die bei guter Trennung der Klassen voneinander besonders groß sein sollten, besitzen bei den Metallen, der Watthöhe und Arenicola sehr niedrige Werte. Die Cardiumgehalte sind von den ersten sieben Parametern noch am ehesten für eine Klassifikation unter sedimentbezogenen Gesichtspunkten geeignet. Wie die Korrelationsmatrix (Tab. 4) zeigt, sind jedoch die Chrom- und Zinkgehalte gut mit dem Prozentanteil kleiner als 63 /um ( > 4 PHI<sup>0</sup>) und den anderen Schlickwerten korreliert.

Werden die Korrelationen zwischen den Kornverteilungsparametern miteinander verglichen, fällt auf, daß hier die Parameter mit nur zwei Ausnahmen stets gut bis sehr gut miteinander korreliert sind. Die Ausnahmen bilden die Parameter Summenprozent bei 3 PHI<sup>O</sup> (< 125 /um) und der direkt davon abhängige Momentenmittelwert. Hochsignifikante Korrelationen bestehen zwischen der Sortierung (SDV) und den Summenprozenten 9-, 6-. 5-, 4.25- und 4 PHI<sup>O</sup> und (2-63 /um) und zwischen den Summenprozenten selbst außer dem Wert bei 3 PHI<sup>O</sup> (< 125 /um).

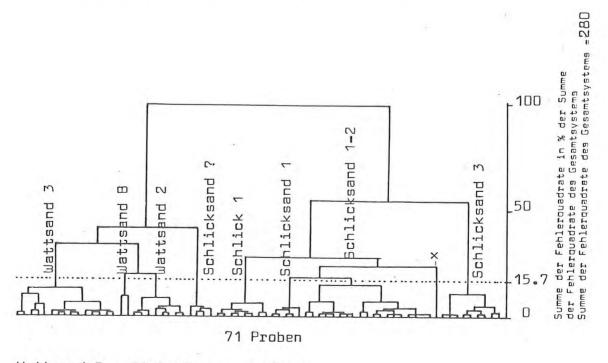
Ein Vergleich der Fehlerquadratsummen zwischen den Klassen (Tab. 3) zeigt, daß die Merkmale mit den höchsten Korrelationen meist auch die wichtigste Trennungsfunktion für die Klassenbildung besitzen. Eine Ausnahme wird hier wiederum von dem Prozentgehalt bei 3 PHI (< 125 /um) gebildet, dem ebenfalls meist eine hohe FQS-Prozentzahl zwischen den Klassen zukommt.

Dendrogramme (Programm YHAK von FORST & VOGEL, 1978) von 71 Stichproben aus der Meldorfer Bucht westlich des neuen Deiches

 Klassifikation mit 8 Merkmalen, die mit Hilfe einer Faktorenanalyse ausgewählt worden sind. (Zn, SDV, Kurt, 9-,6-,5-,4.25und 4 PHI<sup>0</sup>)



4. Klassifikation mit 4 Merkmalen (Momentenparameter MIW, SDV, SCH.,KURT)



Wattsand B = Bielshövensand-Klasse

#### Tabelle 3

Tabellen der <u>Fehlerquadratsummen (FQS)</u> von 4 Klassifikationsläufen mit 71 Stichproben aus der Meldorfer Bucht westlich des neuen Deiches

#### 1. Klassifikation mit 17 Merkmalen (7 Klassen)

HE	RKMAL	FOS GESAMT	FOS INNERHALB	IN PROZENT	FOS ZWISCHEN	IN PROZENT
Mn	1	.3583E+Ø6	B : 2329E . 06	64.75	0.1263E+06	35.25
Cr	2	.1594E+05	0.7539E + 04	47.38	Ø.8399E+04	52,78
Zn	3	.7575E + Ø4	0.3562E + Ø4	47.03	0.4013E+04	52.97
Cu	4	.1259E+04	Ø.7918E + Ø3	62.90	0.467BE+03	37.10
Watt-H.	5	,4643E+Ø2	Ø.2993E+02	64,46	Ø.1650E+02	35,54
Aren.	6	.3955E+Ø2	6.2507E+02	63.38	0.1448E = 02	36.62
Card.	7	.7930E+02	8.2806E+02	35.39	Ø.5123E+02	64.61
MIW	В	.3105E+01	0.1032E+01	33.25	0,2073E+01	66,75
SDV	9	.1801E+02	0 . 2451E . Ø1	13.61	Ø.1556E=02	86.39
SCH	13	.93Ø3E+Ø2	Ø.3883E+Ø2	41.70	Ø.5424E+Ø2	58.30
KURT	11	.1557E+Ø5	Ø . 3223E . Ø 4	20.68	0.1235E+05	79.32
9	12	.9187E+Ø3	0 . 1570E + 03	17.09	Ø.7616E+03	82.91
6	13	.2482E+Ø4	. 0.3206E+03	12.91	0.2162E + 04	87,09
		.4098E+04	0.5127E+03	12.51	Ø.3585E+Ø4	87.49
다 4.25 표 4.25	15	.8429E+04	Ø . 1120E+Ø4	13.29	0.7309E+04	86.71
0. 4	16	.1397E-05	8.2846E484	14.65	Ø.1192E+Ø5	85,35
3	17	. 1404E + 05	0.4541E+04	32.34	0.9501E-04	67.66
GES	TMAS	.4429E+Ø6	Ø . 2560E . Ø6	57.80	Ø.1869E+06	42.28

#### 2. Klassifikation mit 10 Merkmalen (7 Klassen)

KMAL	FOS GESAMT	FOS INNERHALB	IN PROZENT	FOS ZHISCHEN	IN PROZENT
1	.3105E+01	Ø.7348E+03	23,67	0,2370E+01	76,33
2	.1801E+02	Ø . 2431E + Ø1	13.50	0.1557E + 02	86.50
3	.9303E+02	6.3179E+02	34.16	Ø.6125E+82	65.84
4	.1557E .05	0.3249E+04	20.86	0.1232E+05	79.14
5	.9187E+Ø3	6.1221E-63	13.30	Ø,7965E + Ø3	86.70
6	.2482E+04	8.2596E+83	10.46	0.2223E+04	89.54
7	.4098E+04		9.70	0.3701E+04	90,32
8	.8429E+Ø4	Ø.9854E+03	11,69	Ø,7444E + Ø4	88,31
9		8 1 1 9 4 7 E + 8 4	13.94	0.1202E-05	86.06
10	.1404E+05	8.1947E+84	13,86	Ø.1209E+05	B6,14
THA	.5962E+Ø5	Ø . 8941E . Ø 4	15.00	Ø.5068E 405	85.00
	1 2 3 4 5 6 7 8 9	1 .3105E+01 2 .1801E+02 3 .9303E+02 4 .1557E+05 5 .9187E+03 6 .2482E+04 7 .4098E+04 8 .8429E+04 9 .1397E+05 10 .1404E+05	1 .3105E+01	1 .3105E+01	1

### 3. Klassifikation mit <u>8 Merkmalen</u> (1.Faktor der Faktorenanalyse) (7 Klassen)

MERKMAL	FOS GESAMT	FOS INNERHALB	IN PROZENT	FOS ZWISCHEN	IN PROZENT
7n 1	.7575E+04	0.2466E404	32,56	0.5109E+04	167,44
SDV 2	.1801E+02	E . 1803E . 01	10.03	Ø.1620E+02	89,97
KURT 3	.1557E - 25	0 . 1 664E = 04	10.69	0.139HE-05	89.31
9 4	,9187E+33	0.7403E=02	8.06	0.8446E+03	91,94
6 5	.2482E+Ø4	8 . 1606E . 03	6.47	0.2322E + 04	93.53
DH 5 6	.4098E+34	0.2763E403	6.78	0,3820E+04	93,22
王 4.75 7	.8429E+84	E . 6181E - 23	7.33	8.7811E + 04	92,67
4 8	.1397E+05	0.1262E+04	9.03	0.1271E * 05	90,97
TMACES	.5306E+05	0 . 6525E 404	12.30	Ø.4653E+05	87,72

#### 4. Klassifikation mit <u>4 Merkmalen</u> (Momentenparameter)

(8 Klassen, eine davon besteht aus einer fehlerhaften Probe)

MERKMAL	FOS GESAMT	FOS INNERHALB	IN PROZENT	FOS ZWISCHEN	IN PROPENT
MIW 1	.3105E+81	0.7191E+00	23.16	0.2386E+01	176,84
SDV 2	.1801E+02	Ø:2565E+Ø1	14.25	0.1544E+02	85,75
SCH 3	.9303E+02	0.1492E . 02	16.03	0.7812E+02	83,97
KURT 4	.1557E+B5	0.2123E+04	13,67	8.1344E + 05	86,33
GESAMT	.1568E + 05	0.2146E +04	13.68	0.1354E+05	86,32
					0.7 (2.7)

		71 St:	ichprobe	n aus	der Melo	dorfer B	ucht we	stlich	des neu	en Deich	ies
		17	Merkmal	e:		News			Newbook	95.	
		Мп	Cr	Zn	Cu	Watt- Höhe	Aren.	Card.	Moment MIW	SDV	SCH
Мп	1 2	1,3030	2	2	4	5	6	7	8	9	19
Gr		8.5426	1,0000								
Zn	3	0.3972 0.2558	0.7314	1.0000							
att-H.	5	-0:2553	-0.0005	0.8495	7.1438	1.2000	3,0000				
Aren.	5	0,1245	0.2480	0.184		-0.2436	1,0003	1.5000			
Card.	B	2.3671	2,5088	9.4898		0,3293	-0.2902	0,3632	1,0000		
SOV	9	0 4204	8.5174	0.648	2.3850	0.1214	-0,3563	0.1619	0,3566	1,2020	2.02
SCH	16	0,3822	3.4789 -3.4484	-0.605		0.2177	-0.3597 0.3842	2,1483	0,3447	0,7332	1,000
KURT 9	11	0.3588	0.4916	9.5947		0.1764	-8.2751	0.1191	2,3133	0,9619	2,685
6	13	8.3984	8,5268	8,689	8.4481	8,1478	-0,3394	0,1424	0.3989	8,9641.	8,722
5	14	0.4219	2.5564	0.6167		0.1202	-0.3733	Ø.1615 Ø.2285	0.4341	0,9515	0.730
1 4.25	15	8.4646	0.5953	Ø. 6818		0.2853	-8.4112	2.2677	0,6114	0,9127	8,724
3	17	0.1959	8 . 4657	8.4663		0.2041	-0.1286	0,3340	0.8774	2,3918	8,254
				KI	JRT 9	- 6-	5-	4.2	25- 4	- 3	PHI
	Fo	rtsetzu	ng:		11 1	2 1	3 1	4 1	5 1	6 1	
			KURT	11 1	.3938				5		
			9			8888	2222				
			o 5				9934 1.	3783			
			o1Hd .25	15 .0	.7203 0.	9281 8.			2022		
			3	14 -0				9456 0,	9822 1.	0000 5753 1:	3039

Am wichtigsten für die Sedimenttypisierung ist die Frage, ob bei der Verwendung der verschiedenen Parameter-Kombinationen auch wieder die gleichen oder zumindest ähnliche Sedimentklassen gebildet werden. Die Dendrogramme der 17 Parameter und der lo Parameter des zweiten Versuchsverlaufes, besitzen eine sehr ähnliche Struktur und auch ihre Aufspaltung in Klassen verläuft ziemlich ähnlich (Abb. 14.1 und 14.2).

Der Unterschied zwischen den beiden Klassifikationsläufen liegt darin, daß unter den 17 Merkmalen einige enthalten sind, de für das angestrebte Ziel der Sedimentklassifikation von geringer Bedeutung sind, während bei dem Testlauf mit lo Sedimentparametern alle Merkmale für die Sedimentbeschreibung gleich geeignet sind. Geringe Bedeutung für die Sedimenttypisierung haben offensichtlich die Parameter Watthöhe, einige Metallgehalte und das Vorkommen von Arenicola.

Durch eine Faktorenanalyse wurden für die Klassifikation (Abb. 15.1, Tab. 3) acht Merkmale ausgewählt, von denen Zink nach der FQS-Tabelle der 17 Parameter weniger gut für die Trennung der Sedimenttypen geeignet ist. Nach VOGEL (1975) dient eine Faktorenanalyse dazu, die Zahl der Merkmale zu reduzieren. Dabei werden möglichst wenig miteinander korrelierte Merkmale bevorzugt. In diesem Falle wird der Faktorenanalye aber auch ein Merkmal selektiert, das, wie schon erläutert, die Sedimenttypisierung eher behindert.

## 3.2 Charakteristische Merkmale der Wattsedimenttypen (Bearbeiter: R. GAST)

Beim Vergleich der Klassifikationsergebnisse verschiedener Teilgebiete der Meldorfer Bucht kristallisierten sich zehn deutlich
voneinander unterscheidbare Wattsedimenttypen heraus. Wattsande
lassen sich in vier Typen (1, 2, 3, 8), Schlicksande in drei
(1, 2, 3) und Schlicke ebenfalls in drei Gruppen (1, 2, 3)
untergliedern.

Die Mittelwerte und Standardabweichungen von 10 Parametern dieser Wattsedimenttypen sind in der Tabelle 5 zusammengefaßt. Nicht von allen Wattsedimenttypen war eine größere Anzahl Proben vorhanden (vgl. Dendrogramme). Die Schlickproben sind unterrepräsentiert, da die Schlickareale in der Meldorfer Bucht nur eine relativ geringe Flächenausdehnung besitzen und einige Proben wegen ihrer schwierigen Bearbeitbarkeit im Labor für die EDV Auswertung nicht mehr rechtzeitig zur Verfügung standen.

Der Prozentsatz < 125 /um (3 PHI°) grenzt einige Sedimentklasse deutlich voneinander ab. Die Wattsande des Bielshövensandes (Wattsand B) zeichnen sich durch einen besonders niedrigen Gehalt an Korngrößen < 125 /um aus. Eine Mittelstellung in den Prozentgehalten < 125 /um nehmen die Wattsande vom Typ 1 und 2 ein. Wattsande vom Typ Wattsand 3 und alle schlickreicheren Sedimenttypen besitzen stets mehr als 90 % Material < 125 /um. Der Prozentsatz < 125 /um gibt einen Hinweis auf die Intensität, mit der die hydromechanischen Kräfte von Seegang und Strömungen auf die Wattsedimente einwirken. Demnach sind die Wattsande des Bielshövensandes wesentlich stärker Seegang und Strömungen ausgesetzt als die Wattsande der Wattsandklasse 3 und alle schlickigeren Sedimente der Meldorfer Bucht. Eine Mittelstellung nehmen auch hier die Wattsandtypen 1 und 2 ein, die überwiegend auf den Sandwattplaten der Bucht zu finden sind.

Eine bessere Untergliederung der Wattsedimente ergeben die Werte der Prozentsätze < 63 /um ( > 4 PHI ). Vor allem im Bereichder schlickreichen Sedimente werden die Wattsedimenttypen gut durch die hier sehr unterschiedlichen Mittelwerte getrennt. Die Wattsande dagegen müßten nach diesem Parameter in höchstens zwei Gruppen unterteilt werden, nämlich in einen schlickärmeren Typ und einen etwas schlickreicheren Typ. Diese Einteilung entspräche der im Gelände praktizierten Gliederung in einen hellen und in einen dunklen Wattsand.

Tabelle 5. Mittelwerte und Standardabweichungen von Stichproben aller Klassifikationsläufe des Kartierungsgebietes

	Wattsand   Schlicksand   Schlick												
	1   2   3   B							111CKS	sano 3	1   2   3			
	МІШ	×	3.0	3.1	3.4	2.5	3.4	3.6	3.6	3.5	3.6	6.1	
		5	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	
		×I×	0.9	0.5	0.6	0.6	1.1	1.2	2.0	2.4	2.9	2.1	
	SDV	5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	
	SCH	×	-4.6	-0.9	-5.6	-1.5	-4.3	-3.8	1 5 1	-2.1	-1.7	-0.5	
		S	1.1	0.4	0.5	0.3	0.5	0.5	0.2	0.2	0.1	0.3	
	KURT	×	29	3.6	49	4.4	23	17	6.0	4.6	3.0	1.8	
	NUNT	S	11	0.7	10	1.7	6.1	5.6	1.3	0.8	0.5	0.3	
,	n			Anga	ben i	in Pro	zent :						
	PHI <sup>D</sup>	x	1.4	0.9	0.7	-	2.3	3.2	9.8	13.3	19.5	24.2	
		5	0.6	1.2	0.4	-	0.9	1.2	2.5	2.7	3.1	6.8	1
	6	$\bar{x}$	1.9	3.1	1.0	-	3.6	5.5	16.8	21.5	33.7	58.7	
ω.		s	0.9	1.4	0.5	-	1.2	2.3	4.0	4.8	6.3	8.4	
Summenprozente	5	$\bar{x}$	2.3	3.7	1.3	-	4.4	6.9	21.9	27.1	41.9	71.6	
roz		5	1.2	1.7	0.7	-	1.5	2.8	5.6	6.4	7.9	10.6	
дпа	1. 2	×	3.7	4.7	3.3	2.9	8.8	13.1	32.7	37.8	53.5	80.7	
EE	4.3	5	2.2	2.0	1.5	1.5	3.7	4.5	7.5	8.9	10.7	9.4	
S	1,	×	5.7	6.8	8.2	4.1		22.1	42.6		62.5	84.3	
	4	5	2.7	2.7	5.0	2.7	5.5	7.5	10.5	11.5		7.6	-
	3	×	58.3		92.0	31.1		98.2	99.1	96.5	99.1	98.8	
	,	5	10.2	17.8	4.9	11.4	5.3	1.8	0.5	3.2	0.3	0.3	
	Wattsand1 n = 20 Schlicksand1 n = 20 Schlick1 n = 6									= 6			
	"		2 n	= 20		"	2 r	n = 2l	+	" "	2 n =	= 8	
	"		3 n	= 21			3 r	n = 20	)	"	3 п =	= 3	
	" B n = 18												

Anmerkung: Bei einem Teil der Proben des Sedimenttyps Wattsand2 und allen Bielshövensandproben der Tabelle wurde der Schlickanteil des Sediments (<50µm) nicht untergliedert. Die Werte der Schiefe und der Kurtosis sind deshalb zu niedrig. Mit abnehmendem Schlickgehalt wird auch bei den Summenprozenten bei 50 /um  $(4.25~\mathrm{PHI}^0)$ , 31 /um  $(5~\mathrm{PHI}^0)$ , 15 /um  $(6~\mathrm{PHI}^0)$  und 2 /um  $(9~\mathrm{PHI}^0)$  die Zuordnungsmöglichkeit zu den Wattsedimenttypen geringer. Nur die schlickigen Sedimente (Schlicksande und Schlicke) lasser sich auch mit den Prozentwerten bei 2 /um  $(9~\mathrm{PHI}^0)$  noch gut trennen.

Einen vorzüglich zur Trennung der Wattsedimenttypen geeigneten Parameter bildet die Kurtosis, obwohl beim Schlick 1 ähnliche Werte auftreten wie bei den Wattsandtypen Wattsand 2 und Wattsand 8. Die Wattsande selbst lassen sich sehr gut mit Hilfe der Kurtosis-unterscheiden. Für Wattsand 2-und Wattsand 8 wurden allerdings-zu geringe-Kurtosis-Werte gemessen, die darauf-zurückzuführen-sind, daß bei einem Teil der Proben beider Sedimenttyper der Anteil < 50 /um nicht durch die Pipetteanalyse gestuft wurde Zu niedrige Werte wurden auch für die Momenten-Schiefe berechnet, während die restlichen Parameter korrekte Ergebnisse zeigen oder wie beim Wattsand 8 nicht angegeben wurden.

Eine gute Abgrenzung zwischen den schlickreichen Sedimenttypen erlauben die Parameter der Sortierung (SDV) und der Schliefe (SCH) während der Mittelwert (MIW) bei den Klassen der Schlicksande und Schlick 1 und 2 fast keine Abweichungen erkennen läßt. Die Wattsande lassen sich dagegen mit Hilfe des Momenten-Mittel-wertes relativ gut voneinander trennen.

# 3.3 Regionale Verteilung der Wattsedimenttypen (Bearbeiter: R. GAST)

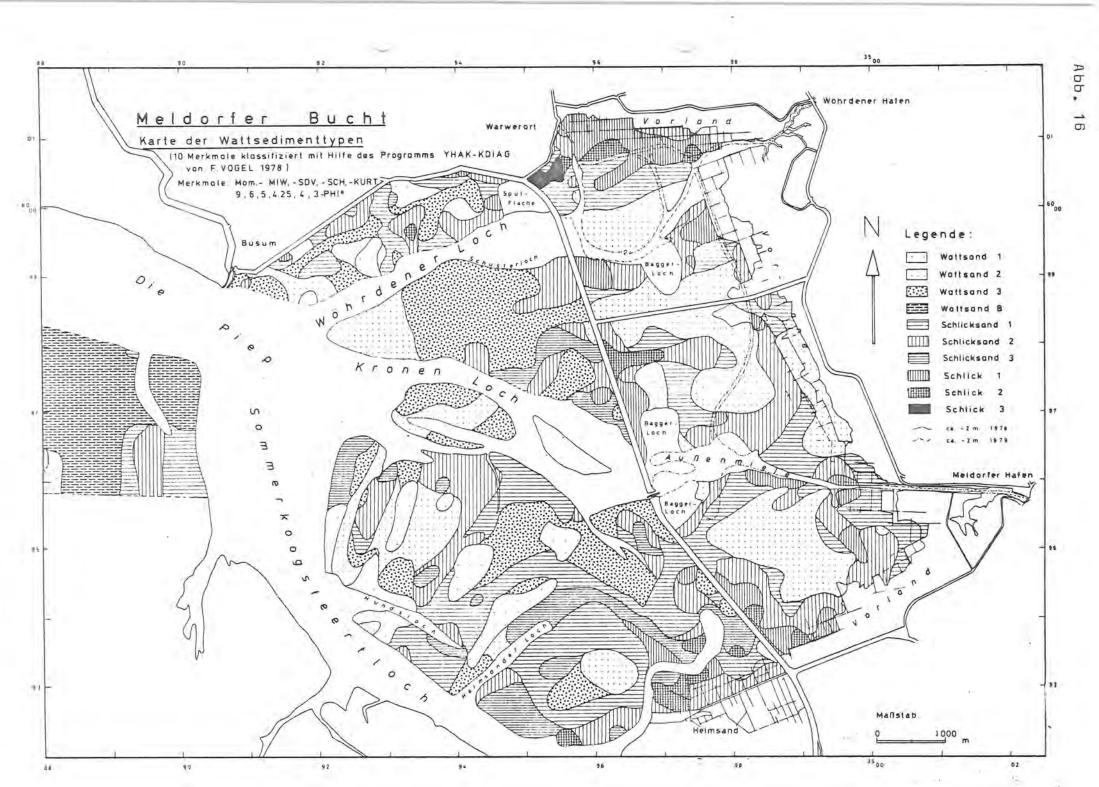
Wie die Karte der Wattsedimenttypen deutlich macht, ist eine relativ geschlossene Verbreitung von Proben, die in eine Sedimentklasse eingeordnet wurden, ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung der Typisierungsqualität. (Abb. 16).

Da die bisher vorhandenen Klassifikationsprogramme YHAK und KDIAG (FORST & VOGEL, 1978), wie oben erwähnt, nur 208 Proben bei zehn Merkmalen verarbeiten können, wurde das Untersuchungs-

gebiet in vier Regionen aufgeteilt. Eine Region umfaßt die Wattflächen östlich vom neuen Deich (Speicherkoog Nord), zwei die westlich an den Deich angrenzenden Gebiete der Meldorfer Bucht und die vierte Teile des nordöstlichen Bielshövensandes. Da das nördliche Gebiet der beiden seewärts von dem neuen Deich liegenden Teilgebiete auch das Testfeld bei Deichhausen miteinschließt, das gesondert beschrieben wird, wird im Folgenden das Gebiet südlich des Kronenlochs stellvertretend für die Gebiete der Meldorfer Bucht westlich des neuen Deiches behandelt. Ein Vergleich der Klassifikationsergebnisse der beiden Teilgesamtheiten "Süd" und "Nord" ergibt außerdem sehr ähnliche Sedimenttypisierungen.

Während sich die Klassifikationsergebnisse der westlichen Meldorfer Bucht (ohne den Bielshövensand) nicht wesentlich voneinander unterscheiden, zeigt die Klassifikation der landnahen Wattgebiete der inneren Meldorfer Bucht charakteristische Eigenheiten. Bei keinem der anderen Klassifikationsversuche war die Gliederung in gut voneinander abgegrenzte Sedimenttypen so problemlos wie in diesem Gebiet. Ein Merkmal hierfür ist die im Vergleich mit den anderen Klassifikationsläufen niedrigste Fehlerquadratsumme des Gesamtsystems. Außerdem erbrachte die Kontrolle mit der Diskriminanzanalyse bei lo Merkmalen keinerlei Abweichungen vom Klassifikationsergebnis.

Folgende Sedimenttypen wurden gebildet (vgl. Abb. 16). Aus nur wenigen Proben setzt sich die extrem schlickreiche Gruppe des "Schlick 3"zusammen. Dieses Schlickvorkommen liegt in dem geschützten Bereich hinter dem neuen Deich bei Warverort im Norden des Gebietes. Auch die Schlickklasse "Schlick 2" besitzt keine weite Verbreitung und ist ebenfalls an besonders vor hydromechanischer Kräfteeinwirkung geschützten Orten zu finden. Wo diese Schlicktypen auftreten, werden sie stets von der sehr viel häufiger auftretenden Klasse des "Schlick 1" eingerahmt.



Wattsedimente des Typs "Schlicksand 3" sind im inneren Teil der Meldorfer Bucht nicht vertreten, bzw. Proben dieser Kategorie wurden bei der Klassifikation wegen zu geringer Anzahl den jeweils angrenzenden Sedimentklassen "Schlick 1" noder "Schlicksand 2" zugeordnet. Schlicksand 2 ist häufig anzutreffer

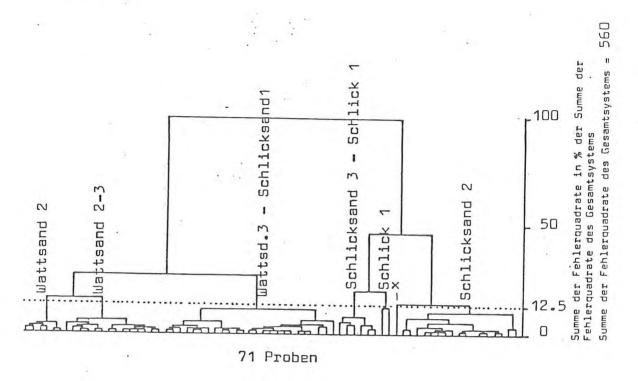
Ein Vergleich der Verbreitungskarte der Herzmuschel Cardium edule mit der Sedimenttypkarte zeigt, daß die Verteilung dieser Art mit dem Vorkommen von Schlicksand 2 weitgehend übereinstimmt (vgl. Abb. 2 und 16). Der Prozentanteil < 63 jum beträgt beim "Schlicksand 2" der Klassifikationsanalysen 20 bis 30 %. Demnach scheint der Wattsedimenttyp "Schlicksand 2" den Teil des Korngrößenspektrums zu umfassen, in dem sich die Herzmuschel Cardium edule bevorzugt ansiedelt. Da diese Muschelart zu den Filtrierern mit den größten Filtrationsraten gehört und ein großer Teil des filtrierten Materials über Kotpillen (fecal pellets) im Sediment festgelegt wird, liegt der Schluß nahe, daß es sich beim "Schlicksand 2" um ein biogen stark beeinflußte Sediment handelt (vgl. Abschnitt Biodeposition in der Darstellunder Untersuchungen im Testfeld).

"Schlicksand 1" bedeckt im Ostteil der Meldorfer Bucht größere Flächen, die fast stets an Wattsande angrenzen (Abb. 16). Wo dies nicht der Fall ist, wie zum Beispiel in der Südost-Ecke des Gebietes, fand zum Zeitpunkt der Probenahme eine Erosion der Vorlandbereiche statt. Diese Erosion war vor dem Vorland nördlich der Außenmiele noch stärker ausgeprägt, was durch die Verbreitung von "Wattsand 2" verdeutlicht wird. "Wattsand 2" wird überall dort angetroffen, wo eine leichte Erosion beobachtet werden konnte. Da im Sommer vor dem Deichschluß die Sediment bilanz im Gebiet östlich des neuen Deiches überwiegend negativ war, fehlt deshalb in diesem Bereich Sediment der Wattsandklasse "Wattsand 3", die im westlichen Teil des Kartierungsgebietes stabile Wattsandflächen anzeigt.

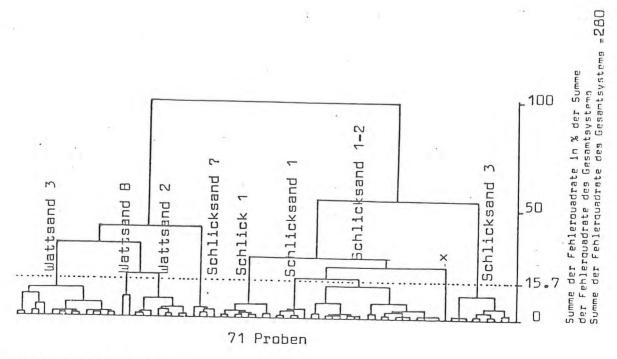
Die Wattsedimentklasse des "Wattsandes l" tritt im Ostteil der Meldorfer Bucht nicht auf.

Dendrogramme (Programm YHAK von FORST & VOGEL, 1978) von 71 Stichproben aus der Meldorfer Bucht westlich des neuen Deiches

3. Klassifikation mit 8 Merkmalen, die mit Hilfe einer Faktorenanalyse ausgewählt worden sind. (Zn, SDV, Kurt, 9-,6-,5-,4.25- und 4  $\rm PHI^0$ )



4. Klassifikation mit 4 Merkmalen (Momentenparameter MIW, SDV, SCH.,KURT)



Wattsand B = Bielshövensand-Klasse

Das Dendrogramm Abb. 17 zeigt die Sedimenttypisierung der Wattflächen westlich des neuen Deiches bis zum Sommerkoogssteertloch. "Schlick 1" und "Schlick 2" sind nur lokal nördlich und westlich vom Helmsander Damm und im ehemaligen Baggerloch im Testfeld östlich von Büsum anzutreffen.

Als Ergänzung zu den Wattsedimentgruppen des Ostgebietes traten hier noch zusätzlich die Klassen "Wattsand 1", "Wattsand 2", und "Schlicksand 3" auf. Wie die Diskriminanzanalysen zeigten, sind auch hier die Klassifikationsergebnisse zufriedenstellend genau.

"Wattsand 1" findet sich überwiegend an Stellen, die einer starken Umlagerungsaktivität unterliegen. Meist ist die Sedimentbilanz auf "Wattsand 1"-Flächen negativ (vgl. Abb. 16 und 5). Im Vergleich zu der Flächenausdehnung der anderen Wattsandtypen besitzt der Wattsand 1 eine relativ kleinräumige Verbreitung.

Wie oben erwähnt, findet sich Wattsand vom Typ "Wattsand 2" auf Flächen, die einer meist schwachen Erosion unterliegen. Nur die Westspitze der Plate zwischen Kronenloch und Wöhrdener Loch machte im Sommer 1978 einen relativ stabilen Eindruck. Wie beim Wattsand 1 hängt die Zusammensetzung der Kornverteilungen beim Wattsand 2 ebenfalls mehr von der Einwirkung und Intensität der hydraulischen Kräfte ab, als von der Verteilung von Erosion und Sedimentation, deren Darstellung nur den Zustand zum Zeitpunkt der Kartierung widerspiegeln kann.

Eine Diskrepanz zwischen der Aussage, daß "Wattsand 3" bevorzugt an Stellen stabilen Zustands angetroffen wird, ergibt sich wiederum beim Vergleich der Kartendarstellungen "Sedimentation-Erosion" für die Plate zwischen dem Kronenloch und dem Wöhrdener Loch. Dort ist auf der Karte der Erosions- und Sedimentations-verteilung zum großen Teil schwache Erosion eingetragen. Diese entspricht jedoch, wie eine Massenbilanz (vgl. R.GAST, 1981) zeigt, nur einer kurzfristigen, sehr wahrscheinlich durch die Deichbauarbeiten verursachten Situation. Nach dem Deichbau sta-

bilisieren sich die Wattflächen dieser Plate im Gegensatz zum größten Teil der südlichen Gebiete bald wieder. Auch das große Erosionsgebiet südlich des Helmsander Lochs, das sich in einem ausgedehnten Seegrasfeld befindet, hat sich bald nach Deichschluß teilweise wieder stabilisiert.

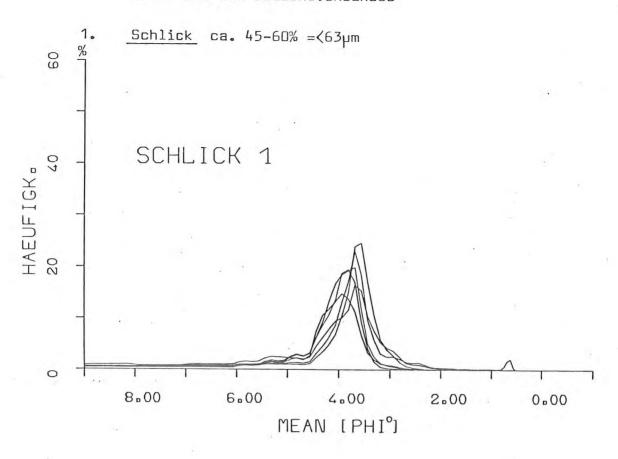
"Schlicksand 1" als noch relativ schlickarme Gruppe ist vor allem auf den zwei Platen nördlich vom Helmsand weit verbreitet. Zusammen mit dem schlickreichen "Schlicksand 3" füllt dieser Sedimenttyp das ehemalige Rinnensystem in der Verlängerung des heutigen Helmsander Lochs. Das auffallende "Schlicksand 3"-Vorkommen an der Nordwest-Ecke der mittleren Plate hat historische Gründe, die der Vergleich der Luftbildauswertungen von 1958 und 1977 verdeutlicht. Bei diesem "Schlicksand 3"-Feld handelt es sich um einen in Lee einer kleinen Wattinsel abgelagerten Schlicksand, der nun erodiert wird.

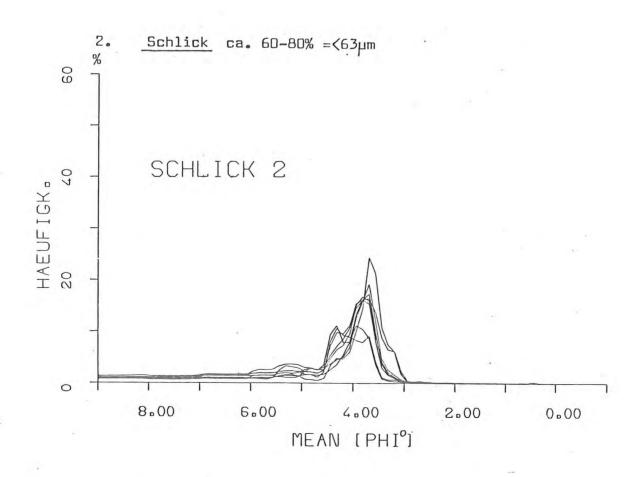
Der Vergleich der von der Klassifikationsanalyse gebildeten Wattsedimenttypen des Bielshövensandes erbrachte zwei zusätzliche Wattsandgruppen. Da sie sich jedoch in ihren Parameterwerten nicht sehr unterschieden, wurden sie in der Tabelle der
Mittelwerte und für die Häufigkeitskurvendarstellungen (Abb.
18.10) zu einer Bielshövensandgruppe "Wattsand B" zusammengefaßt.

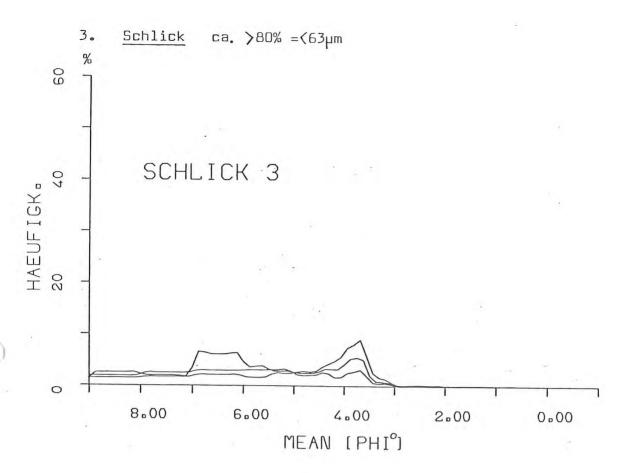
## 3.4 Häufigkeitsverteilungskurven der Wattsedimenttypen (Bearbeiter: R. GAST)

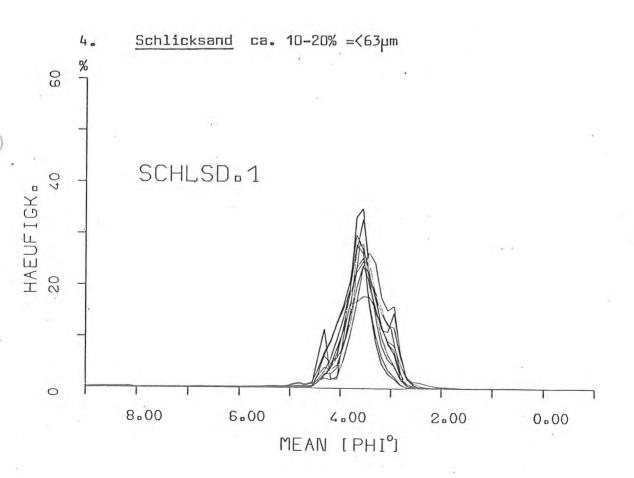
Die Darstellungen der Häufigkeitsverteilungen wurden durch das Programm LINE 3 von KACHHOLZ (1980) ermöglicht. Wegen der besseren Übersichtlichkeit wurden jeweils zehn Häufigkeitskurven eines Sedimenttyps übereinandergezeichnet. Bei den zehn Kornverteilungen handelt es sich um Zufallsstichproben aus den Probengesamtheiten der Wattsedimenttypen. Lediglich vom Typ "Schlick 3 waren auf Grund einer geringen Probenzahl und von Bearbeitungsschwierigkeiten zur Zeit der Durchführung der statistischen Arbeiten nur 3 Proben verfügbar.

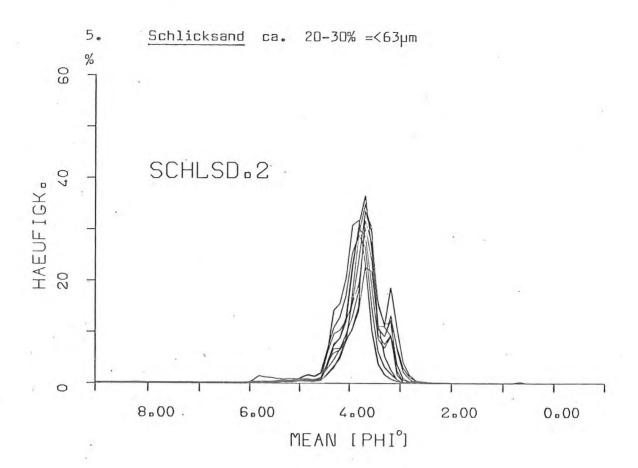
Häufigkeitsverteilungen von Wattsedimenttypen der Meldorfer Bucht und des Bielshövensandes

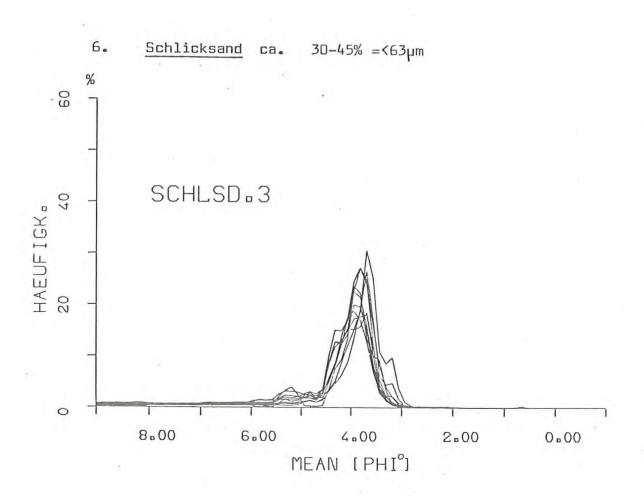


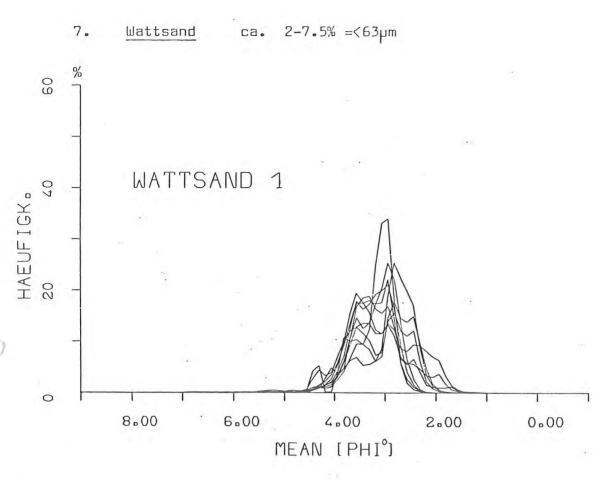


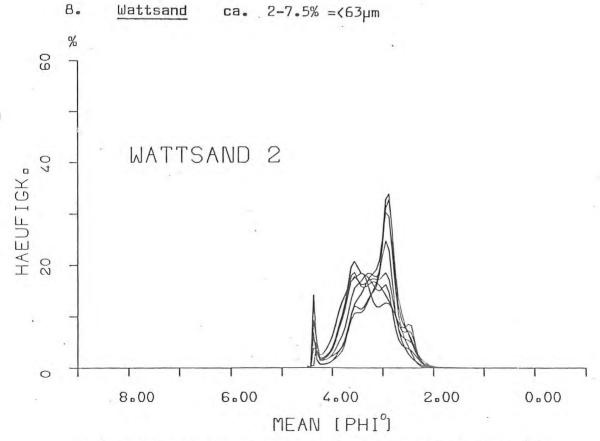




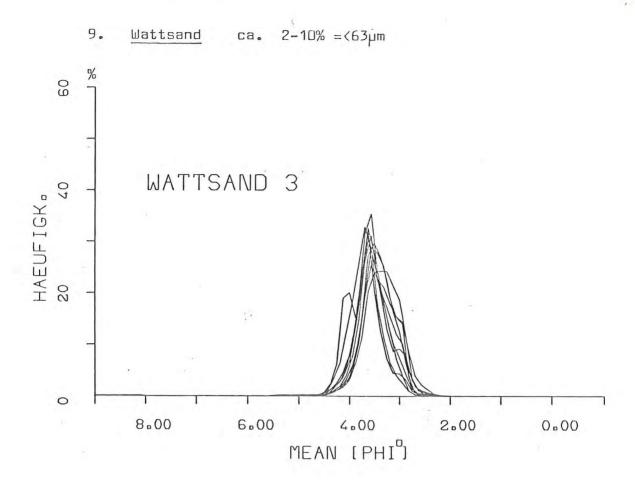


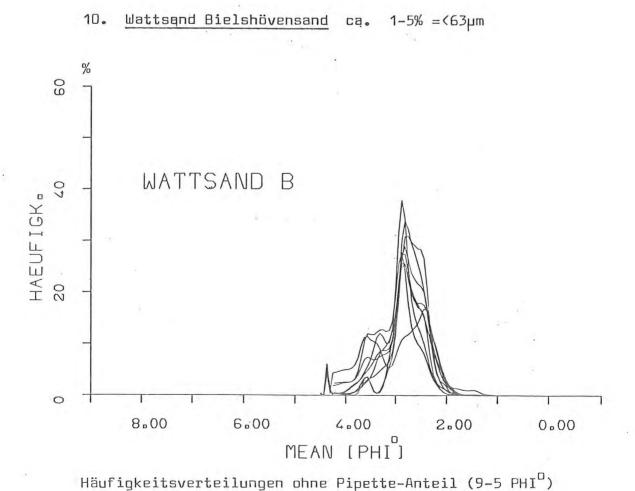






Häufigkeitsverteilungen ohne Pipette-Anteil (9–5  $\mathrm{PHI}^{\mathrm{O}}$ )





Vor allem in schlickigen Wattsedimenten kann eine Beeinflussung der Häufigkeitsverteilungen durch Schichtung innerhalb der obersten lo cm nahezu ausgeschlossen werden, da diese Sedimente stets in einem durch Bioturbation durchmischten Zustand angetroffen wurden.

Die Kornverteilungen der Schlicksedimenttypen besitzen nach den Ergebnissen der Klassifikationsanalysen folgende Charakteristika: Der extrem tonreiche Schlick 3 zeigt eine sehr flache, "platykurte" Verteilung (Abb. 18.3). Ein zweiter "Peak" neben dem häufigsten Maximum bei 3.7 PHI<sup>O</sup> (77 /um) deutet sich im Bereich des "fine silt" (nach WENTWORTH, 1922) zwischen 7 und 6 PHI<sup>O</sup> (8-15 /um) an. Dementsprechend liegt der Mittelwert für die Summenprozente bei 6 PHI<sup>O</sup> etwas höher (vgl. Tab. 5).

Nach den Häufigkeitsverteilungen von Abb. 18.2 zu schließen, besitzt ein Teil der Schlick 2-Proben ebenfalls eine zweigipfelige Verteilung. Hier liegt der zweite Gipfel jedoch bei 4.3 PHI<sup>O</sup> (50 /um), also im Bereich des groben Silts.

Die Kornverteilungen des Sedimenttyps Schlick 1 besitzen einen sehr viel symmetrischeren Verlauf als die der beiden anderen Schlicktypen. Auch zeigt der Kurvenverlauf bereits einen sichtbaren Anteil an Korngrößen > 125 /um (3 PHI).

Schlicksand 3 ähnelt im Kurvenverlauf sehr der Schlickgruppe des Schlick 1. Da die Kurven aber ein deutlicher ausgeprägtes Maximum besitzen, liegt der Wert der Kurtosis (Gipfeligkeit) entsprechend höher.

Die Proben des Schlicksand 2-Typs zeigen überwiegend zweigepfelige Häufigkeitsverteilungen. Das Hauptmaximum befindet sich bei etwa 3.7 PHI<sup>O</sup> (77 /um) und das zweite Maximum bei etwa 3.2 PHI<sup>O</sup> (109 /um). Wiederum ist die Kurtosis gegenüber dem Schlicksand 3 stark angestiegen. Zum Schlicksand 1 hin steigt sie dagegen weniger deutlich an, da der Schlicksand 1 zwar einen um durchschnittlich 10 % geringeren Schlickgehalt besitzt, dafür aber einen um ca. 5 % größeren Anteil der

gröberen Sandfraktion > 125 /um (3 PHI), Interessanterweise ist der Anteil > 125 /um sogar größer als der des Wattsandtyps Wattsand 3. Dies ist möglicherweise ein Hinweis auf die relativ geschützte Lage und Stabilität der Wattsand 3-Flächen.

Die Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Watttsandtypen zeigen insgesamt eine kompliziertere Zusammensetzung als die der schlickigen Sedimente.

Der Wattsand 3 besitzt noch einen einfachen Kurvenverlauf mit einer wesentlich höheren Kurtosis als die des Schlicksandes. Bei den Wattsandttypen Wattsand 2 und Wattsand B äußert sich der nicht durch die Pipetteanalyse aufgeschlüsselte Schlickanteil (< 50 /um) in jeweils einem kleinen Peak bei 4.3 PHI<sup>O</sup> (50 /um), der dem gesamten Schlickanteil der Proben entspricht. Die Häufigkeitsverteilungen des Wattsand 2 besitzen stets zwei Maxima bei 2.8 PHI<sup>O</sup> (140 /um) und bei 3.7 PHI<sup>O</sup> (77 /um). Das Minimum dazwischen liegt bei 3.3 PHI<sup>O</sup> (100 /um).

Während beim Wattsand 2 nur ein sehr geringer Prozentsatz des Materials gröber ist als 2 PHI<sup>O</sup> (250 /um), ist die Korngrößenverteilung des Wattsand 1 weiter gestreut. Der Wattsand 1 besitzt an den gleichen Stellen wie Wattsand 2 Maxima, die fast gleichwertig sind; es kommen bei einem Wert von ca. 2.4 PHI<sup>O</sup> (190 /um) und ein viertes bei 1.9 PHI<sup>O</sup> (268 /um) hinzu. Die Wattsande des Bielshövensandes Wattsand B besitzen eine andere Gewichtung der Maxima als die übrigen Wattsande der Meldorfer Bucht. Nur ein geringer Teil des Materials dieser Proben liegt in dem Korngrößenbereich von 3 bis 4 PHI<sup>O</sup> (63-125 /um). Das überragende Maximum der Verteilung liegt bei 2.8 PHI<sup>O</sup> (140 /um) und wie beim Wattsand 1 deutet sich noch ein zweites Maximum bei ca. 2.4 PHI<sup>O</sup> (190 /um) und ein drittes bei 3.7 PHI<sup>O</sup> (77 /um) an.

Auch in den Wattsanden der Meldorfer Bucht kann - außer in Gebieten mit sehr starker Umlagerung - eine Schichtung der obersten lo cm wegen des Umfanges der Bioturbation meist ausgeschlossen werden.

Für den Vergleich der Häufigkeitsverteilungen verschiedener Sedimente hat sich die Angabe der Verteilungsmaxima bewährt. In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Modi von Wattsedimenten der Meldorfer Bucht und des Bielshövensandes und außerdem einige Angaben aus der Literatur (TINIAKOS, 1978; SCHNEIDER, 1979; TAIRA & SCHOLLE, 1979) zusammengefaßt (Tab. 6).

Tabelle 6

	Maxima von H	äufigkei	wattsedimenten (PHI <sup>O</sup> )					
	(f)	1.Max.	2.Max.	3.Max	. 4.Max.			
	WattsandB	2.8	2.4	3.7				
	Wattsand1	2.8	3.7	2.4	1.9			
	Wattsand2	2.8	3.7					
	Wattsand3	3.7						
	Schlicksand1	3.7	2.8					
	Schlicksand2	3.7	3.2	3.0				
	Schlicksand3	3.7						
	Schlick1	3.7						
	Schlick2	3.7	4.3	20				
	Schlick3	3.7	(6-7)					
TIN	Wattsand	2.5	3.2	(E	Bielshövensand, westlicher Tei			
1	Sand	2.8	1.8		(Sandgrube Esing bei Tönning)			
	Wattsand	2.9		(5	(Speicherkoog Dithmarschen)			
SCH	Wattsed.	3.6	2.9	2.1 (Bohrung Speicherkoog " )				
	Sandwatt	3.3	1.4	(i	n Landnähe,			
AIRA8	4 (0+)	1			Baja California Mexico)			
CHOLL 1979)	.t	3.0	1.9	(1	andfern,			
, - ,	Strand	1.3	2.4	(r	ape May, New Jersey)			
	(lower fore- shore)	1.3	2.1		ope hay, wew Jersey)			

Vor dem Vergleich der Maxima muß darauf hingewiesen werden, daß sich durch die unterschiedlichen Labormethoden verschiedener Bearbeiter leichte Verschiebungen der Werte ergeben können. Die Fehlermöglichkeit, daß bei der Probenentnahme zwei oder mehr verschiedene Schichten zusammengefaßt werden und so eine bi- oder polymodale Verteilung entsteht, ist bei Wattsedimenten sehr gering. Die obersten lo cm der Wattoberfläche bilden fast immer ein durch Bioturbation erzeugtes homogenes Korngemisch. Nur nach stürmischen Wetterlagen ist das Sediment für kurze Zeit geschichtet.

In den vorliegenden Untersuchungen dominieren bei Wattsanden Modi bei 2,4, 2.8 und 3.6 PHI<sup>o</sup>. Die Kornverteilungen eines Bohrkernes aus dem Speicherkoog Dithmarschen besitzen dem Oberflächensediment entsprechende Maxima bei 2.0, 2.9 und 3.6 PHI<sup>o</sup> (SCHNEIDER, 1979).

Die Wattsedimentangaben von TINIAKOS (1978) stammen vom westlichen Bielshövensand, dessen sedimentäres Milieu eher einem Außensand als einem Watt entspricht. Wahrscheinlich sind seine Werte deshalb auch nicht mit den Wattsedimentangaben der Meldorfer Bucht zu vergleichen. TINIAKOS Werte von bimodal verteilten Sanden aus der Grube Esing bei St. Peter-Ording, lassen sich dagegen mit dem Wattsand 1 der Meldorfer Bucht teilweise vergleichen. Vermutlich repräsentieren diese Sande, deren Herkunft auch von SCHNEIDER (1979) diskutiert wird, einen speziellen Wattsandtyp, der in einem Nehrungsbereich abgelagert wurde.

Für die Entstehung einer Bimodalität oder Polymodalität im aquatischen Milieu gibt es verschiedene Erklärungsmöglich-keiten, die in den Einzelheiten noch nicht befriedigend geklärt sind. Hierzu sind noch umfangreiche Untersuchungen an Einzelkornlagen sowie Experimente notwendig.

Aus den bei der statistischen Auswertung gewonnenen Daten lassen sich Kriterien für Wattgebiete von geringer Umlagerungsintensität als auch für Wattsande in hydromechanisch besonders beanspruchten Flächen ableiten:

#### 1. Gebiete geringer Umlagerungsintensität:

meist mehr als 25% < 63 /um

Medianwert (Quartilsystem) = > 3.75 PHI<sup>O</sup> (< 74 /um)

Mittelwert (Mom.-system) = > 3.6 PHI<sup>O</sup> (< 82 /um)

hydraulischer Mittelwert = > 3.67 PHI<sup>O</sup> (< 79 /um)

Sortierung (Mom.-syst.) = > 1.25

Schiefe " ca. minus 2 bis ca. minus 4

Kurtosis " = 0 - 15

Häufigkeitsverteilungen, die zwischen dem Siltanteil und dem Sandanteil einen "Knick" besitzen. (Dieser Knick wird nicht durch die Kombination von Pipetteanalyse und Sieb-analyse verursacht)

#### 2. Gebiete größerer hydromechanischer Belastung:

hoher Prozentsatz > 125 /um = (mehr als 30 %)

Medianwert = <3.3 PHI $^{\circ}$  ( >100 /um)

Mittelwert = <3.25 PHI $^{\circ}$  ( >105 /um)

hydraulischer Mittelwert = <3.33 PHI $^{\circ}$  ( > 99 /um)

Kurtosis (Mom.-syst.) = >35

meist zwei- bis mehrgipfelige Häufigkeitsverteilungen.

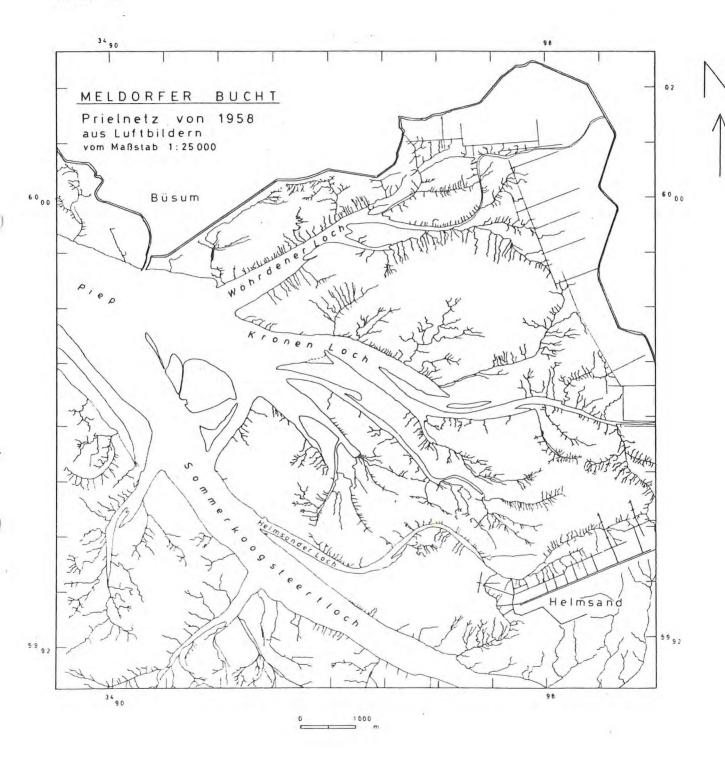
#### 4. Auswertung von Lufthildern (Bearbeiter: R. Gast)

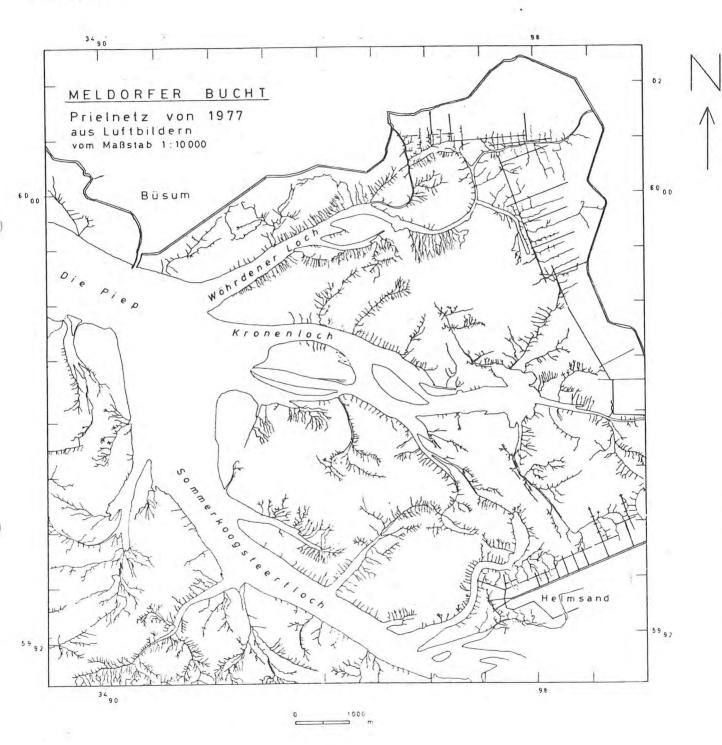
Längerfristige Veränderungstendenzen durch Erosion und Sedimentation können durch Vergleich von Luftbildern abgeleitet werden. Für die Auswertung standen schwarz-weiß-Aufnahmen aus den Jahren 1958 (1: 25 000) und 1977 (etwa 1: 16 000) zur Verfügung, also aus einem Zeitraum von 20 Jahren.

Eine Auswertung für die Wattmorphologie ist schwierig. Trotz der starken Überhöhung der Formen bei der Stereo-Betrachtung fallen die insgesemt etwa 3 m Höhendifferenz nicht sehr ins Gewicht. Für die Ansprache des Sedimentes wichtige Formen sind die Rippeln, die nur auf sandigen Wattflächen auftreten. Jedoch waren zum Zeitpunkt der Aufnahmen nicht auf allen Wattsandflächen Rippeln zu beobachten. Für Erosionsfelder sind die auch im Luftbild erkennbaren größeren Muschelschillfelder, die vor allem in der Nachbarschaft von Prielen liegen, typisch. Alle genannten Formen sind auf den Luftbildern jedoch unterschiedlich deutlich sichtbar.

Auswertungsschwerpunkte wurden zunächst auf den Vergleich der Wasserlinien bei Niedrigwasser und die Ausbildung der Prielnetze gelegt. Der Vergleich der Prielnetzkarten für 1958 und 1977 (Abb. 19 und 20) zeigt die deutlichsten Unterschiede im mittleren Teil der Meldorfer Bucht. In den übrigen Abschnitten sind die Veränderungen geringer. Bei diesen spielen die Auswirkungen der baulichen Maßnahmen eine maßgebliche Rolle.

Nördlich vom Wöhrdener Loch im Zentrum des Testfeldes war 1958 noch keine künstliche Vertiefung zu finden, während das Entwässerungsnetz des Testfeldes von 1977 die Position des inzwischen schon wieder zusedimentierten Baggerlochs aus den 60-er Jahren sichtbar macht. Die 1977 bereits teilweise aufgespülte Deichtrasse zeichnet sich durch den Mangel an Prielen in diesem Bereich deutlich ab (Abb. 20).





Eine Übereinanderprojektion der beiden Auswertungen zeigt, daß sich die nördliche Plate zwischen dem Kronenloch und dem Wöhrdener Loch bis 1977 etwas nach Westen hin vorgebaut hat (ca. 300 m). Diese Anlagerung in westlicher Richtung im Nordteil der Bucht steht im Gegensatz zu dem beträchtlichen Abbau einer dreieckigen Insel zwischen der Piep, dem Kronenloch und dem Scmmerkoogsteertloch.

Im mittleren Bereich der Meldorfer Bucht hat sich die Konfiguration der Vattflächen auffallend stark verändert. Der Bielshövensand ist seit 1958 um etwa 1 km in östlicher Richtung gewachsen. Dafür wurde eine Insel westlich der großen Plate völlig abgetragen. Ein Teil des Abtragungsmaterials scheint die östlich anschließenden Wattgebiete teilweise aufgefüllt zu haben. SCHMIDT (1975) weist entsprechend für diese Teilbereiche der Meldorfer Bucht einen überdurchschnittlichen Materialgewinn bis 1973 nach. Um diese Zeit muß der letzte noch als Wellenbrecher dienende Teil der Insel abgetragen worden sein.

Im südlichen Teil der großen Plate nördlich vom Helmsand haben Baggerarbeiten im Zuge des Deichbaus das natürliche Prielsystem stark verändert. Auch im Verlauf der Außenmiele (östliche Fortsetzung des Kronenlochs) sind größere Ausbuchtungen eine Folge von Ausbaggerungen.

Aus dem Vergleich der heutigen Sedimentverteilung in der Meldorfer Bucht mit der Karte oes Prielnetzes von 1977 können Zusammenhänge zwischen Prielnetzdichte, Priellänge und Prielverlauf mit
dem Sedimenttyp festgehalten werden. Die meisten Hinweise ergaben
sich aus dem Vergleich der Luftbildkarte von 1977 (Abb. 20) mit
der Sedimenttypenkarte (Abb. 16), die auf der Klassifikationsanalyse der Probendaten beruht.

Vor allem Wattsand-Flächen werden von Prielen nicht untergliedert. Auch in Wattsand-Gebiete ragen nur im Südosten des Gebietes einzelne kleine Prielenden hinein. Steil abfallende Randbereiche der Platen besitzen jedoch auch bei Wattsanden sehr kurze feine Priele, wie zum Beispiel am Südufer des Wöhrdener Lochs. Die infolge des

hohen Gefällsgradienten nur sehr kurzen Priele an den Rändern größerer Rinnen können demnach als Hinweis auf sandige Wattsedimente betrachtet werden.

In der relativ schlickreicheren Wattsandgruppe 3 sind nur dort Prielenden zu finden, wo diese Flächen an Schlicksande angrenzen, wie z. B. auf der nördlichen Plate.

In der Meldorfer Bucht liegen längere, verästelte Priele, die in die großen Wattrinnen münden, stets in schlickreicheren Gebieten. Sehr feine Verästelungen der Prielenden und ein stark geschlängelter Lauf sind charakteristisch für alle drei Schlickgruppen, wobei in einem stark wasserhaltigen Schlick die Verästelungen am dichtesten sind. In festerem Schlick, meist in Landnähe, nimmt die Zahl der Verästelungen und auch die Prieldichte wieder ab. Der charakteristische sehr stark gekrümmte Verlauf der Priele ist jedoch auch dort vorhanden.

Ein Beispiel für weniger starke Verästelungen im landnahen, dichterem Schlickwatt findet sich im Nordosten der Bucht. Die Gruppe der Schlicksande nimmt auch in der Ausprägung des Prielnetzes zwischen den Wattsanden und den Schlicken eine Mittelstellung ein. Die Prielläufe sind weniger stark gewunden, und deren Seitenäste sind im Verhältnis kürzer und weniger stark verästelt als in den Schlickgebieten.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde ein Versuch zur Rekonstruktion der Verteilung der Oberflächensedimente im Jahre
1958 unternommen. Die Unterschiede gegenüber dem heutigen Zustand scheinen vor allem in den damals größeren Schlickbereichen
im Vorland nördlich des Helmsander Dammes zu liegen. Schlickreichere Sedimente konnten wahrscheinlich auch auf der nördlichen
Plate südlich des Wöhrdener Lochs und östlich von Büsum im Spartinafeld bei Deichhausen angetroffen werden. Dagegen dürfte die
1958 noch stark untergliederte mittlere Plate damals insgesamt
schlickärmer gewesen sein als 1977. Sandiger wahrscheinlich als
Folge der Baggerarbeiten ist heute das Gebiet südwestlich des
Helmsandes.

Die vergleichende Betrachtung der beiden Luftbildkarten (Abb. 19, 20) zeigt deutlich, in welchem Umfang die Deichbauarbeiten bereits 1977 die Sedimentverteilung in Deichnähe verändert haben. Auf der Leeseite des neuen Seedeiches hat eine zunehmend schlickige Sedimentation eingesetzt. Auch um das Baggerloch nördlich des Helmsander Dammes entwickelten sich verschiedene kleine Schlickfelder.

Tabelle 7
Zusammenfassung der sedimenttypischen Prielnetzmerkmale:

Ausprägung des Prielnetzes	Wattsedimenttyp	%-Anteil < 63/um
Keine Priele	. Wattsand 1 bis 2	< 7
keine Priele bis wenig verzweigte kurze Enden	Wattsand 1 und 3	< 10
Längere, wenig verzweigte, wenig gewundene bis mittel- mäßig geschlängelte Priele. Geringe Prielnetzdichte	Schlicksand	< 30
Längere Priele, stark gewun- den, mit starker Verästelung. Seitenäste stark gewunden dichtes Prielnetz	Schlicksand 3 und Schlick 1 (2, 3	< 50 > 50
Wie oben, aber kleine Seiten- priele sehr geschlängelt und stark verästelt. Sehr dichtes Prielnetz bei stark wasserhaltigem Schlick (bessere Identifizierung bei größeren Luftbildern)	Schlick 2 und 3	>60

## 5 Allgemeines zu den Untersuchungen in Testprofilen und im Testfeld (Bearbeiter: R. Gast)

Zur Beobachtung der Wattveränderungen während des Deichbaues in der Meldorfer Bucht und der nachfolgenden Entwicklung hatte das Amt für Land- und Wasserwirtschaft Heide 7 Teststreifen ausgepflockt, auf denen ab 1974 durch das Dezernat Gewässerkunde in jährlichem Abstand Höhenmessungen durchgeführt und Proben entnommem wurden.

Für die Untersuchungen im Schlickprogramm des KFKI wurden aus diesen 7 Teststreifen 3 Profile ausgewählt, die von November 1977 bis August 1980 in monatlichen Abständen untersucht und in der Regel auch beprobt wurden.

Das südlichste der 3 Testprofile (Profil 3 in diesem Bericht = Profil 7 in der Zählung des ALW Heide bei den Untersuchungen über die Auswirkungen des Deichbaues) verläuft von der Küste nördlich des Helmsander Dammes mit Ost-West-Richtung durch den heutigen Speicherkoog Nord, quert den Deich und die vorgelagerte Sandplate bis zum Rand des Sommerkoogsteertloches. Es hat eine Länge von 9 km (Abb. 1).

Die Profile 1 und 2 in diesem Bericht entsprechen den gleichen Nummern in der Zählung des ALW Heide und liegen mit je etwa 1 km Länge im Watt vor Deichhausen östlich von Büsum (Abb. 1).

Im Laufe der Untersuchungen zeigte sich bald, daß diese 3 Testprofile für die Beantwortung vieler Fragen nicht ausreichten,
weil zahlreiche Beobachtungen ohne gleichzeitige Betrachtung
einer zusammenhängenden Fläche nicht sicher interpretierbar waren. Deshalb wurde das Gebiet zwischen den Profilen 1 und 2 als
Testfeld ausgewählt (Abb. 1), und die Detailarbeiten wurden auf
dieses konzentriert.

Nachstehend werden zunächst die Untersuchungsergebnisse aus den Testprofilen im Hinblick auf die zeitliche Veränderlichkeit der Sedimentbedeckung des Watts in der Meldorfer Bucht erläutert, danach die Arbeiten im Testfeld.

#### 6 Testprofile (Bearbeiter: R. Gast)

Die Sedimentzusammensetzung im Bereich der Profile bis zu einer Tiefe von 2 m ist durch Bohrsondierungen kartiert worden (Abb. 22, 23, 24). Die Sedimente der Profile 1 und 2 wie auch eines großen Teils des 3. Profils (westlich des neuen Deiches) werden überwiegend aus Wattsanden aufgebaut, in die einzelne Schlicksandlagen und selten auch Schlick eingeschaltet sind. Östlich des neuen Deiches nimmt im Profil 3 der Anteil feinkörniger Sedimente in Landrichtung deutlich zu.

Schon das ab November 1977 geführte Geländeprotokoll über die Testprofile macht die vielfältigen, oft sehr kleinräumigen Veränderungen der Wattoberfläche deutlich. In das Protokoll wurde auch die Wetterentwicklung in der Woche vor der Geländearbeit aufgenommen, um deren Einfluß auf Morphologie und Sedimentzusammensetzung erfassen zu können. Eine Kurzfassung der Feldbuchaufzeichnungen wird in Tabelle 10 dargestellt.

Nach den Beobachtungen im Gelände haben die verschiedenen Wetterlagen starke Auswirkungen auf die Wattoberfläche. Ruhige, stabile Wetterlagen führten oft zu einer vermehrten Sedimentation in den geschützteren Bereichen. Diese jungen Sedimente waren vor allem an ihrer besonders geringen Lagerungsdichte zu erkennen. Stürmisches Wetter dagegen brachte meistens eine stärkere Umlagerung und oft auch Erosion mit sich.

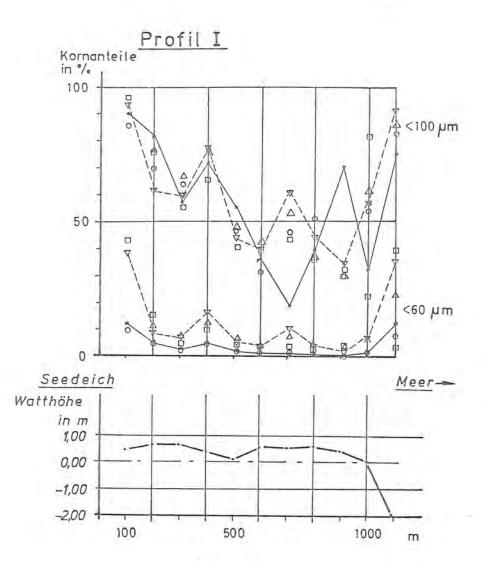
Auffallenderweise hat sich die Zusammensetzung der Kornverteilungen entlang der Profilstreifen trotz extremer Wetterlagen und baulicher Eingriffe während des Beobachtungszeitraumes nicht sehr verändert (Abb. 21a). Eine Ausnahme stellt das 3. Profil beiderseits des neuen Seedeiches dar (Abb. 21b). Hier bilden sich in den Kornverteilungskurven klare Veränderungen ab.

Tabelle 8

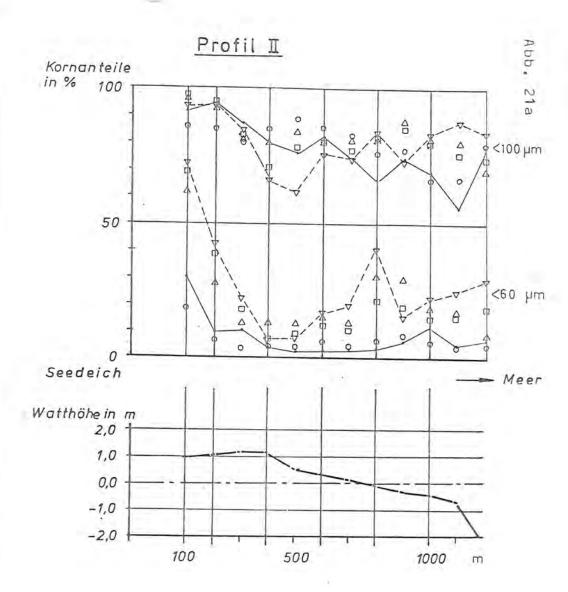
Kurzfassung der Geländeprotokolle in Tabellenform:

Monat Profil		Wetterlage in der Woche vorher	sichtbare Veränderungen		
Anf. Nov. 1,2,3		Einführung (keine Probenahme)			
Nov. 77	1,2	stürmisch	weniger locker gelagerte Schlick		
,	3	ruhig, Ostwind			
Dez. 77	1,2,3	ruhig — wechselhaft	etwas Sedimentation		
Jan. 78	3	stürmisch (W-SW)	wenig Eis, Erosion		
	1,2	ruhig u. kalt Eis auf Profil 2	keine Veränderungen		
Feb.	3	wechselhaft	neuer Priel seeseitig Erosion landseitig		
	1,2	ruhig u. kalt viel Schnee	viel Eis auf dem Watt Treibeisproben!		
März	3	ruhig u. sehr kalt	geschlossene Eisdecke		
	1,2	stürmisch (W)	Reste der Eisschlick- decke noch vorhanden		
April	1,2	stürmisch 2 <b>–</b> 6 <sup>O</sup> C	neuer Schlick auf Profil 2		
	3		seeseitig auffallende Prielverlagerungen, Aufschlickung landseitig		
Mai	1,2	starke Ostwinde kalt	keine Veränderungen		
	3		seeseitig weitere Priel- verlagerungen u. Erosion		
Juni	1,2	stabile Wetterlage 15 <b>–</b> 20 °C	Sedimentation auf Profil 1		
	3		seewärts deutliche Sedi- mentation, weitere Ein- tiefung von neuem Priel		
Juli	1,2,3	stürmisches Wetter	schwache bis starke Ero- sion auf allen Profilen		

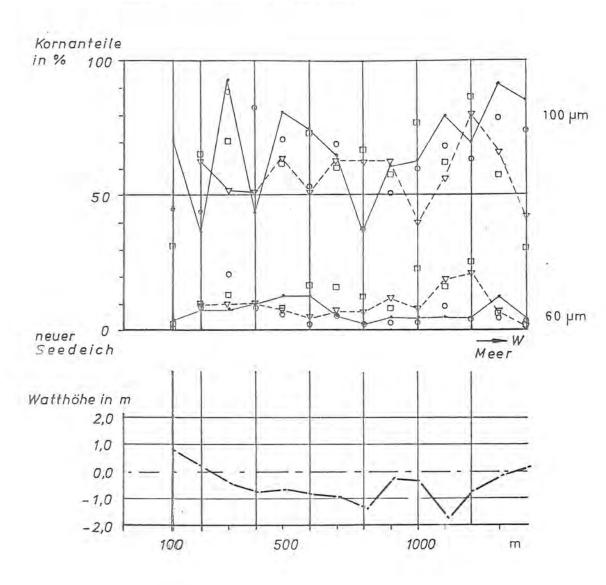
Monat   Profil Wetterlage in der Woche vorher			sichtbare Veränderungen		
Aug. 78	1,2,3	ruhig <b>,</b> warm	keine Veränderungen		
Sept.	1 <b>,</b> 2	stürmisch	keine Veränderungen landseitig trocken Deichschluß		
Okt.	1,2 3	wechselhaft	Erosion besonders auf Profil 2 seeseitige Fläche zw. den 2 großen Prielen sehr stark erodiert (Mya in Lbd.—stell		
Nov.	1 <b>,</b> 2	ruhig	geringe Sedimentation  Erosion nimmt seeseitig weiter zu		
Dez.	1,2,3	starke Ostwinde -9 C	Wattflächen dick vereist		
Jan. 79	1,2,3	Eis! 2,5 m hoch -7 °C	Eisschlick		
März	1,2,3	ruhig, <sup>±</sup> 1 <sup>O</sup> C Eis abtauend (noch 1 m dick)	Eisschlick		
April	1,2,3	stürmisch	Eisschlick wieder weg starke Erosion Profil 3		
Juni			weitere Erosion Profil 3		
Juli	1,2,3	stürmisch 15 – 17 °C	weitere Erosion Profil 3		
Jan. 80	1,2	ruhig	Eisbedeckung, wenig Eis- schlick		
	3		etwas Erosion		
Juli	1,2	wechselhaft kühl	etwas Sedimentation (Deichnähe)		
	3		keine Veränderungen		
Aug.	1	wechselhaft	keine Veränderungen		
Đ	2		Aufschlickung in Deichnähe		



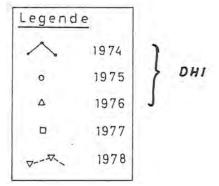
)



Profil 3 Westseite



.



Auf dem landseitigen, östlichen Teil des dritten Profils war mit dem fortschreitenden Deichbau auch eine deutliche Zunahme des Schlickanteils in der Sedimentzusammensetzung verbunden. Nach Deichschluß im Sept. 1978 wurde ein geringfügiger Anteil des Schlicks vom Regen wieder ausgewaschen bzw. auch vom Wind ausgeblasen.

Im seewärtigen Teil des dritten Profilstreifens tieften sich zwei größere Priele, die das Profil queren, vor allem nach dem Deichschluß deutlich ein. Muschelfelder wurden freigelegt und die Sedimentverteilung veränderte sich in der Nachbarschaft der Priele ständig. Ein etwa 800 m vor dem Deich parallel verlaufender Priel verlagert sein Bett seit dem Okt. 1978 langsam in Richtung auf den Deich.

An den Rändern des Testfeldes hat sich die Sedimentverteilung auf dem ersten Profilstreifen bei Büsum im Beobachtungszeitraum nicht signifikant verändert, während auf dem 2. Teststreifen bei Deichhausen eine geringe Aufschlickung von etwa 10 cm in Deichnähe zu beobachten war. Diese Verschiebung von Faziesgrenzen hat sich im Laufe des Jahres 1980 auch im Testfeld fortgesetzt, so daß sich bei Betrachtung der gleichen Sedimenttypen gelegentlich zwischen den Positionsnummern bis 1979 und den Nummern für 1980 Abweichungen ergeben.

Stürme hatten jedoch auf etwas tiefer gelegene, von Cardien besiedelte Flächen, die sich z. B. in der Nachbarschaft des 2. Profiles finden, stärkere Auswirkungen. Diese wurden in den letzten 3 Jahren bei stürmischem Wetter mehrfach freigelegt, und das Korngrößenspektrum verschob sich jedesmal vom schlickigen Schlicksand zum sandigen Schlicksand.

Alle auf den Profilen entnommenen Proben wurden mit den schon beschriebenen Verfahren der Klassifikationsanalyse untersucht. Hierbei wurde besonderes Interesse darauf gelegt, ob und in welchem Umfange jahreszeitliche Schwankungen in den Korngrößenverteilungen auf den Teststreifen eintreten können. Hierfür wurden die Korngrößendaten der in den Wintern 1977/1978, 1978/1979 und 1979/1980 entnommenen Proben zu jeweils einer Gesamtheit zusammengefaßt und mit Hilfe der Programme YHAK und KDIAG klassifiziert.

Eine Frühjahrsgruppe hätte nur schlecht gesondert untersucht werden können, da das Frühjahr von den Witterungsbedingungen her in den letzten Jahren schlecht vom Winter abzugrenzen war, und es stets im Mai einen schnellen Umschwung von winterlicher zu sommerlicher Witterung gab.

Für die Interpretation der Klassifikationsergebnisse wurde, wie im Kapitel EDV-Auswertungen erläutert, eine Vereinigungsstufe der Klassen gewählt, deren Summe der Fehlerquadrate in Prozent der Summe der Fehlerquadrate des Gesamtsystems bei 20 % liegt. Dies ergab für die drei Datengesamtheiten jeweils eine Unterteilung in 6 Sedimentklassen, deren Mittelwerte in Tab. 9 festgehalten sind. Diese Sedimentklassen stimmen mit den oben beschriebenen Typen überein.

Aus dem Vergleich der Daten aus den drei untersuchten Jahreszeiten lassen sich nachstehende Ergebnisse ableiten:

Der prozentuale Anteil feinerer Korngrößen der Stufungen kleiner 9, 6, 5, 4 und 3 PHI<sup>O</sup> liegt bei den Winterprofilen in den Klassen 3 bis 6 (Wattsedimentgruppen: Wattsand 3, Schlicksand 1, Schlicksand 2, Schlicksand 3) deutlich niedriger als in den entsprechenden Sedimentklassen der Sommer- und Herbstprofile.

Die Werte der Sommer und Herbstprofile unterscheiden sich in diesen Klassen nur geringfügig. Der "dunkle Wattsand" besitzt im Herbst einen etwas höheren Grobsiltgehalt, während sein Feinsilt- und Tongehalt im Sommer ein wenig größer ist.

Der Schlicksand 1 (Klasse 4) stimmt in den Werten für Sommerund Herbstproben gut überein. Auch die Klasse des mittleren Schlicksandes (Schlicksand 2) zeigt keine größeren Unterschiede zwischen Sommer- und Herbstdaten. Der schlickige Schlicksand schließlich besitzt in diesen beiden Jahreszeiten fast die gleichen Werte.

Tabelle 9

Mittelwerte und Fehlerquadratsummen der verschiedenen Sedimentklassen Auszug aus Programm KDIAG Klassendiagnose

	Massag and Fragramm verse services									
		Klasse 1 Wattsd.	Klasse 2 Wattsd.2	Klasse 3 Wattsd.3	Klasse 4 Schlicksd.1	Klasse 5 Schlicksd.2	Klasse 6 Schlicksd.3	FQS in %		
		n=4	n=23	n=44	n=79	n=30	n=27			
Winterprofile	MIW SDV SCH KUR 9 6 5 4.25 4	2.98 0.68 -1.25 14.50 0.21 0.27 0.34	n=23 3.31 0.79 -3.98 30.49 1.05 1.52 1.91 4.68 8.88 78.67	n=44 3.44 0.52 -5.46 56.58 0.39 0.56 0.69 3.68 7.90 92.21	n=79 3.49 0.78 -5.11 35.58 1.15 1.81 2.17 5.16 11.93 93.93	n=3a 3.57 a.98 -4.36 23.49 1.87 3.31 4.11 9.43 18.74 95.78	n=27 3.66 1.36 -3.26 12.57 3.90 7.22 9.81 17.39 28.49 96.48 FQS-Ges.:	49.40 80.90 64.38 79.94 71.31 86.27 86.19 72.96 69.49 67.77		
		- 40	- 40	- (7	n-69	n-28				
Sommerprofile	MIW SDV SCH KUR 9 6 5 4.25	n=18 3.22 0.80 -3.52 26.01 0.93 1.45 1.68 3.08 6.24 76.60	n=19 3.25 0.67 -5.92 50.49 0.81 1.08 1.21 2.12 4.19 79.11	n=67 3.44 0.83 -5.16 35.43 1.37 1.98 2.32 4.72 9.54 94.35	n=62 3.56 1.05 -4.19 21.42 2.11 3.84 4.77 9.95 17.81	n=28 3.65 1.36 -3.28 12.77 3.77 7.17 9.05 16.17 25.81 97.32	n=15 3.61 1.80 -2.64 7.74 7.58 12.57 16.40 27.49 38.97 97.71 FQS-Ges.:	52.39 80.76 66.87 72.57 76.59 82.07 88.94 85.51 65.16 76.99		
		n=11	n=13	п=17	n=31	n=22	n=14			
Herbstprofile	MIW SDV SCH KUR 9 6 5 4.2:	3.22 0.71 -5.95 48.29 0.99 1.25 1.40 2.13 3.91 78.64	3.34 0.94 -4.59 27.16 1.77 2.55 2.99 5.39 9.64 84.75	3.52 0.76 -5.32 37.71 1.17 1.78 2.23 5.22 11.59 94.99	3.51 1.08 -4.32 21.85 2.53 3.75 4.59 8.13 15.46 94.61	3.58 1.35 -3.63 14.84 4.11 6.05 7.66 14.57 24.84 95.42	3.59 1.84 -2.62 7.49 8.33 12.78 16.48 27.16 40.33 98.53 FQS-Ges. :	69.45 84.80 84.90 78.89 86.26 89.65 91.67 89.29 85.70 55.21 81.06		

Abkürzungen :

MIW = Mittelwert

SDV = Standardabweichung = Sortierung

SCH = Schiefe

KUR = Kurtosis

9,6,5,4.25,4,3 = Summenprozent bei 9,6,5,4.25,4,3 PHI-Grad

Die Wattsandklassen weisen von Jahreszeit zu Jahreszeit etwas größere Unterschiede auf. Der Vergleich von Wattsandklassen erbrachte auch bei der großen Flächenkartierung in der Meldorfer Bucht die höchsten Abweichungen von den jeweiligen Mittelwerten (große Standardabweichungen). Ein Grund dafür ist, daß die Wattsandflächen von ihrer Lage her viel stärkeren hydromechanischen Kräften ausgesetzt sind und damit auch schnelleren und vielfältigeren Veränderungen unterliegen, als die geschützteren schlickreicheren Gebiete.

Die Klassifikation nach VOGEL (1978) hat bei den Winterprofilen eine besonders schlickarme Klasse, die aus nur vier Proben besteht, ausgeschieden. Diese Proben stammen von den besonders der Erosion und dem Wellenschlag ausgesetzten Wattflächen am westlichen Deichfuß des dritten Profils.

Die Werte der Wattsandklasse 1 der Herbstprofile unterscheiden sich von denen der Sommerprofile kaum. Dagegen besitzt die Wattsandklasse 2 im Herbst deutlich höhere Schlickgehalte als im Sommer (Tab. 9).

Beim Vergleich der verschiedenen Klassendiagnosen fällt auf, daß die Sedimentklassen (1 - 6) bis auf die Erosionsgruppe einander sehr ähneln, diese Klassen sich jedoch in den drei Jahreszeiten nicht immer aus den einander entsprechenden Stationen zusammensetzen. Hier treten charakteristische Verschiebungen in der Lage der Sedimentzonen auf, die auf von Jahreszeit zu Jahreszeit wechselnde Sedimentations- und Erosionsbedingungen hinweisen. Darüber hinaus ergab sich im Sommer 1980 teilweise eine Verschiebung gegenüber den Vorjahren.

Die ersten beiden Wattsandklassen bestehen nur aus Positionen der Profile 1 und 3 (Seeseite). Folgende Verschiebungen im Sedimentationsmuster lassen sich festhalten:
Wattsande der ersten Klasse finden sich im Sommer nur auf der seewärtigen Hälfte des ersten Profils und an drei charakteristischen Stellen des 3. Profils, die im Sommer 1979 der Erosion ausgesetzt waren. Im Herbst sind nur Proben der seewärtigen Hälfte des ersten Profils vertreten.

Interessanterweise existiert für die Proben der Winterprofile keine dem Wattsand 1 entsprechende Sedimentklasse. Positionen, die im Sommer und Herbst in dieser Klasse eingeordnet waren, sind vor allem auf den Profilen 1 und 2, im Winter in den Klassen 2 und 3 und wenige auch in der Sonderklasse Erosion zu finden. Die Wattsandklassen 2 und 3 weisen im Winter geringere und teilweise mit der Klasse 1 vom Sommer und Herbst vergleichbare Schlickgehalte auf.

Wattsande der Klasse 2 finden sich im Sommer fast nur auf dem 3. Profil, im Herbst dagegen sind zusätzlich auch einige Positionen der deichnahen Hälfte des ersten Profils in diese Klasse eingeordnet. Da sich die Wattsandklassen 2 und 3 im Herbst in ihren Schlickgehalten nicht sehr unterscheiden, beruht die Eingliederung auf dem geringeren Gehalt an Korngrößen > 125 um (=<3 PHI<sup>0</sup>, Tab. 9).

Erst ab Wattsandklasse 3 sind Positionen des zweiten Profils vertreten. Bei den Sommerprofilen findet sich dieser Wattsandtyp seewärtig der Spartinabestände bis ca. 200 m vor dem Wöhrdener Loch und im Randbereich dieses Priels. Im Herbst werden die Positionen des ersten Profils aus Priel- und Deichnähe zugewiesen und auch das 3. Profil besitzt einige Stellen im deichfernen Drittel, die in diese Klasse gehören. In den Winterprofilen ist das Sediment der Wattsandklasse 3 ähnlich wie im Sommer verteilt, besitzt aber deutlich geringere Schlickgehalte.

Einen zahlen- und flächenmäßig großen Anteil kann auf dem zweiten Profilstreifen der sandige Schlicksand (Schlicksand 1) vorweisen. Auch auf dem ersten Profil und dem landwärtigen Teil des dritten Profils ist dieser Sedimenttyp weit verbreitet. Auf Profil 1 bleibt die Verteilung des Sediments in den drei Jahreszeiten unverändert. Sandiger Schlicksand findet sich nur in Deich- und Prielnähe. Ebenfalls stabil ist die Verteilung des Schlicksandes 1 auf dem zweiten Profilstreifen. Im Spartinafeld, im mittleren Teil des Profils und in Prielnähe ist dieses Sediment stets anzutreffen.

Der Vergleich der Schlicksand 1-Proben des 3. Profils erbrachte für die Sommer-, Herbst- und Winterprofile keine signifikanten Unterschiede. Insgesamt besitzt die Schlicksand 1-Klasse der Winterprofile, wie oben erwähnt, im Winter jedoch erkennbar niedrigere Schlickgehalte. Dies trifft auch für die Klassen Schlicksand 2 und Schlicksand 3 zu, obwohl hier die Probenverteilungen in den Klassen ebenfalls über die Jahreszeiten relativ stabil bleiben.

Somit zeigt sich, daß sich die Sedimentverteilung in den Profilen 1 und 2 = Grenzen des Testfeldes trotz extremer Wetterlagen und trotz der Deichbaumaßnahmen nur wenig verändert hat. Nur im Profil 3 sind stärkere Verschiebungen sichtbar, die jedoch auf Auswirkungen der Baumaßnahme zurückzuführen sind.

Die Klassifikationsanalyse ergibt aber deutliche Unterschiede zwischen den Wintergesamtheiten und Probendaten aus der ruhigeren und wärmeren Jahreszeit. Eine Frühjahrsgesamtheit wurde nicht ausgeschieden, da sich der Frühling in den letzten Jahren nicht vom Winter abgrenzen ließ. Die Sommer- und Herbstgesamtheiten sind ebenfalls untereinander nur wenig verschieden.

Allgemein haben die Winterproben gegenüber den Sommerproben der sich entsprechenden Wattsedimentklassen durchweg geringere Anteile an Schluff und Ton (<63/um) und feinsandigem (63 - 125/um) Material. Den außerhalb der durch Baumaßnahmen beeinflußten Gebiete recht stabilen Langzeittendenzen stehen erhebliche kurzzeitige Schwankungen um die Mittellage gegenüber.

#### 7. Testfeld (Bearbeiter: R. Gast)

#### 7.1 Sedimentverteilung im Testfeld

Im Testfeld östlich von Büsum wurde die Zusammensetzung des Sediments der obersten 2 m mit Hilfe von 125 Bohrsondierungen untersucht. In schlickigem Sediment wurde für die Bohrsondierungen eine "Pürkhauerspitze" benutzt, deren Hohlkerbe einen Durchmesser von ca. 2 cm besitzt und deren unteres Ende offen ist. Für sandigeres Sediment war der Einsatz einer dünneren Bohrspitze mit ca. 1 cm breiter Hohlkerbe und geschlossener Spitze sinnvoller, da ein nasser Feinsand aus der breiten Pürkhauerspitze wieder herausfließt und eine Schichtenaufnahme unmöglich macht. Die Bohrspitzen haben eine Länge von einem Meter und können mit weiteren Stahlstangen verlängert werden.

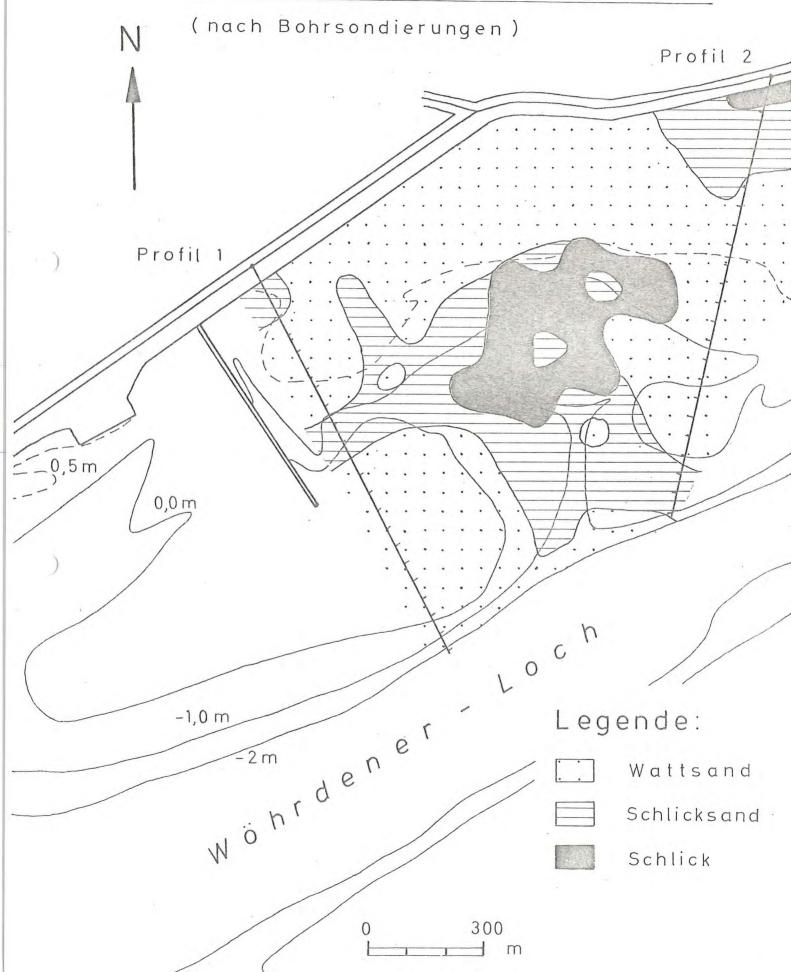
In den Bohrprotokollen wurde außer dem Schichtenverzeichnis auch die Lagerungsdichte und die Färbung des Sediments notiert. Der Schillgehalt wurde in Hydrobiaschill und anderer Schill getrennt.

Die Ergebnisse der Grobansprache der Oberflächensedimente, des Materials in 90 - 100 cm Tiefe und in 190 - 200 cm Tiefe, wurde auf drei Karten dargestellt (Abb. 22, 23, 24). Der Vergleich dieser Grobansprache-Karten zeigt, daß in 2 m Tiefe Schlicksande und auch Schlick eine größere Verbreitung besitzen, als in 1 m Tiefe und an der Oberfläche. Das schlickreiche Zentrum kennzeichnet auf allen drei Karten die Position eines inzwischen weitgehend aufgefüllten Baggerlochs.

Die Auftragung der Lagerungsdichte, die bei der Rammsondierung nach dem Eindringwiderstand ermittelt wurde, ergab zusätzliche Informationen über den sedimentären Aufbau der Wattgebiete des Testfelds. In einer Kartendarstellung wurden Flächen dichter, mittlerer und lockerer Sedimentlagerung unterschieden (Abb. 25).

## Testfeld bei Deichhausen

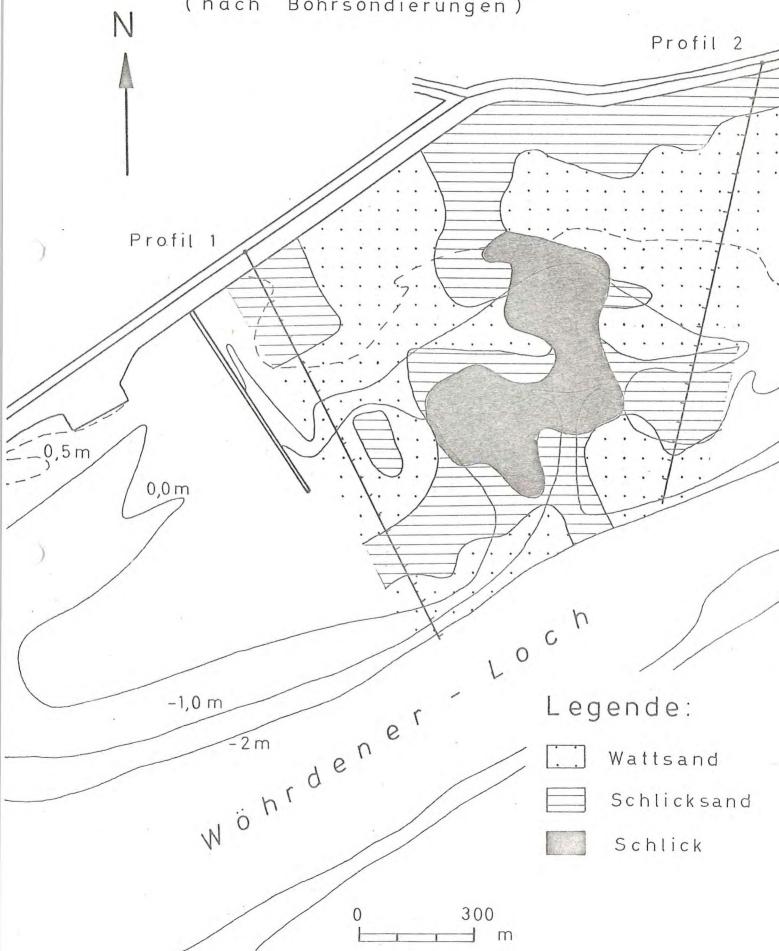
## Sediment in 0,0 - 0,10 m Tiefe



## Testfeld bei Deichhausen Sediment in 0,90 - 1m Tiefe (nach Bohrsondierungen) N Profil 2 Profil 1 0,5 m 0,0 m Loch Wohrdener -1,0 m Legende: Wattsand Schlicksand Schlick 300

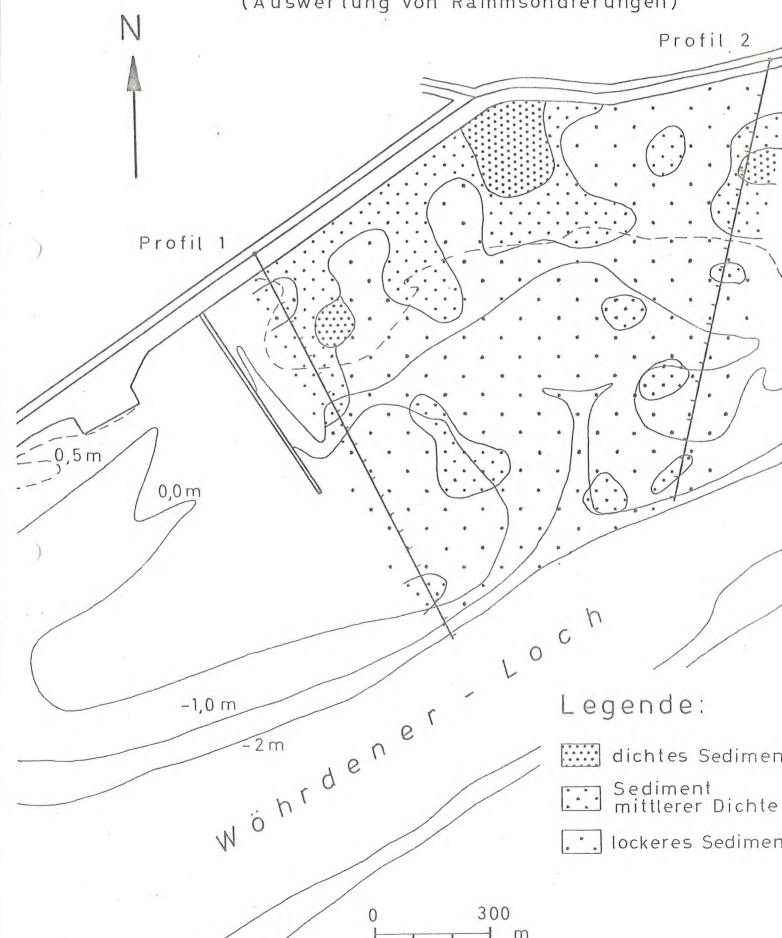
## Testfeld bei Deichhausen

Sediment in 1,90 - 2m Tiefe (nach Bohrsondierungen)

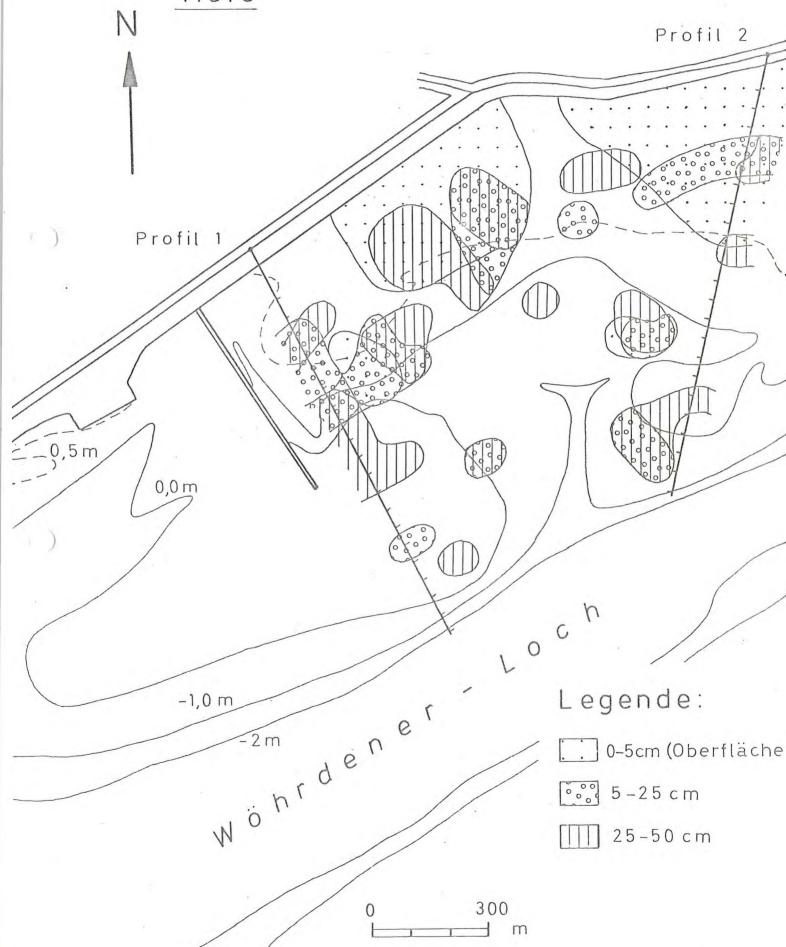


#### Testfeld bei Deichhausen

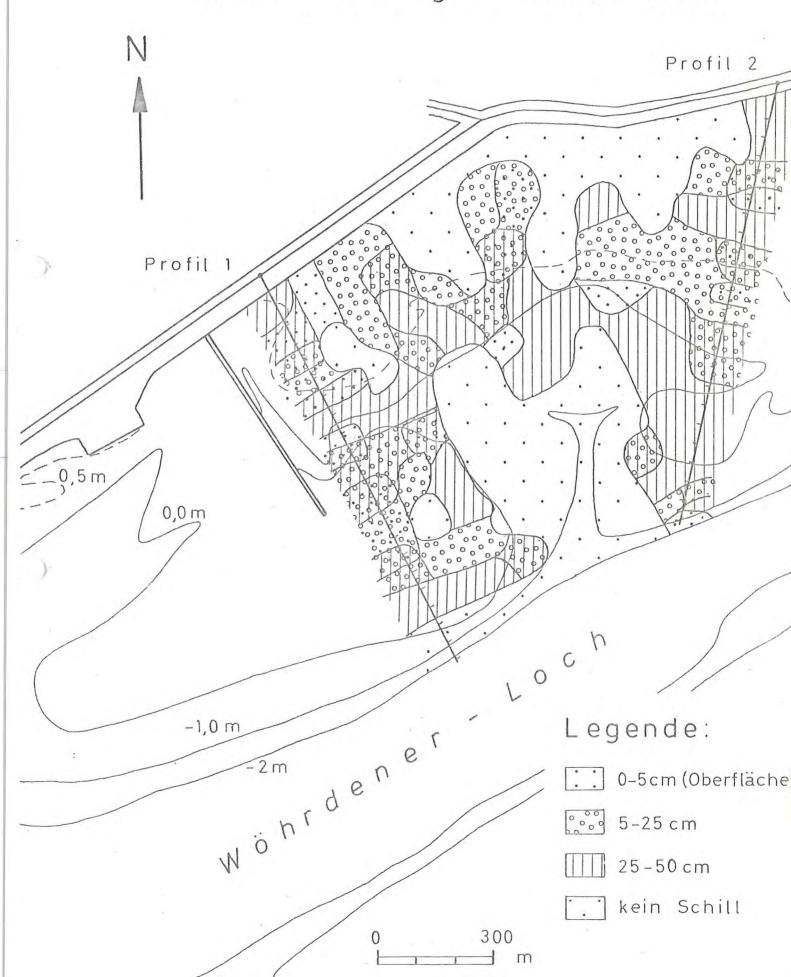
Sedimentdichte 0-30 cm Tiefe (Auswertung von Rammsondierungen)



## Testfeld bei Deichhausen Hydrobia-Schillverteilung in 0-50cm Tiefe



# Testfeld bei Deichhausen Schillverteilung in 0-50cm Tiefe



Die stärkste Sedimentverdichtung wurde im Vorfeld des Deiches angetroffen. Mit der Ausnahme eines kleinen Feldes auf dem 2. Profil bestehen die Sedimente stärkster Verdichtung stets aus Wattsanden. Sedimente mittlerer Dichte konzentrieren sich ebenfalls meist auf das Vorfeld des Deiches. Kleinere Partien liegen über das restliche Testfeld verstreut.

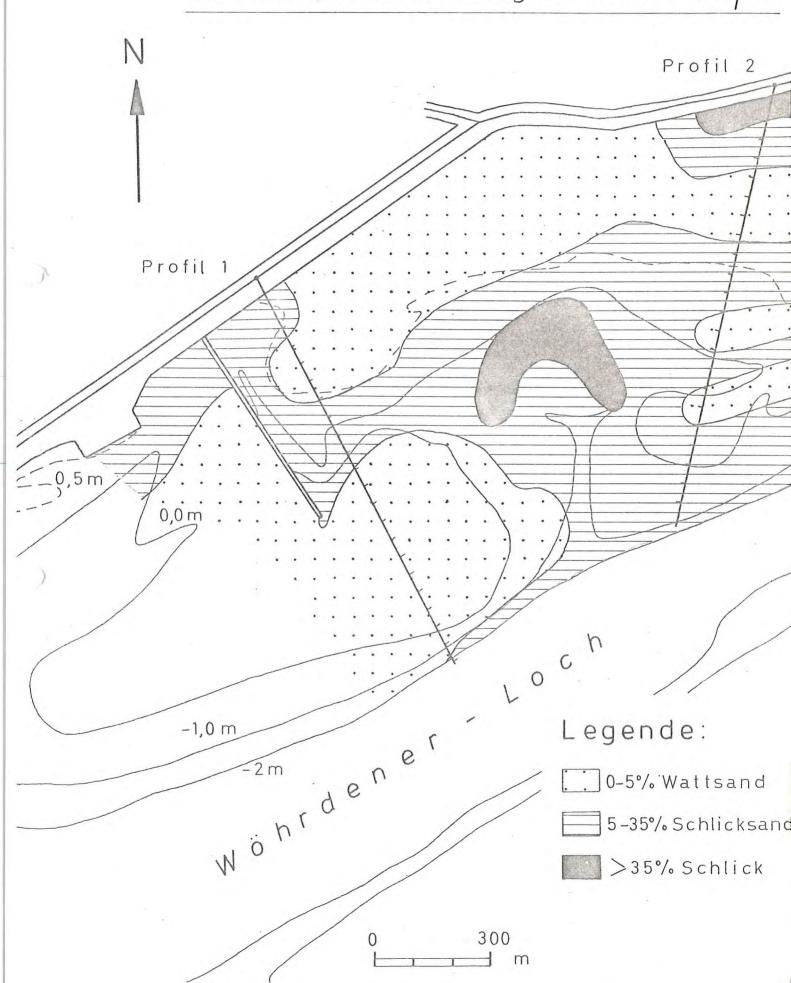
Zum großen Teil wird der Eindringwiderstand der verstreut liegenden kleinen Areale mittlerer Dichte von Hydrobia-Schillagen
in 5 - 50 cm Tiefe beeinflußt (vergl. Abb. 26). Der Vergleich
mit der Verteilungskarte des gesamten Schills (Abb. 27) zeigt,
daß landferne Gebiete ohne Schill stets einen geringen Eindringwiderstand besitzen. Auf dem 2. Profil wird der Zusammenhang
zwischen Sedimentdichte bzw. Eindringwiderstand und dem Schillgehalt besonders deutlich. Hier führte der hohe Schillanteil
sogar in schlickigem Sediment zu der Angabe "dichtes Sediment".

# Prozentanteile von Korngrößen < 50/um, < 63/um und >125/um (Abb. 28, 29, 30)

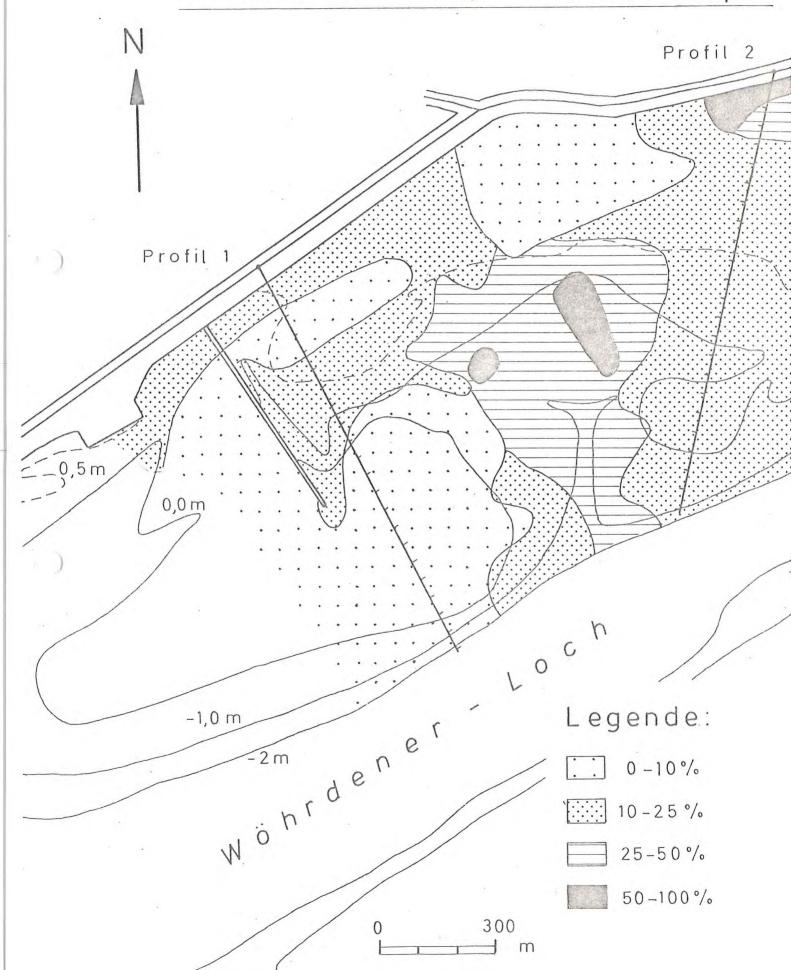
Entsprechend den Ergebnissen der großflächigen Darstellungen der Meldorfer Bucht ähnelt die Verteilung der Korngrößen < 50 um der Grobansprachekarte am meisten, da auch hier eine Dreierstufung der Sedimentaufteilung gewählt wurde. Die < 50 um-Karte zeigt eine etwas geringere Flächenausdehnung des Schlicks und eine entsprechend größere des Schlicksandes.

Eine noch größere Verbreitung von Schlicksandflächen zeigt die vierfach gestufte Darstellung der Korngrößen < 63 / um. Nach dieser Auftragungsart nehmen die beiden Schlicksandstufen (10 - 25 und 25 - 50% < 63 / um) den größten Teil der Testfeldflächen ein. Schlick ist nach der Korngrößendefinition (mehr als 50% < 63 / um) nur in kleinen Arealen des Baggerlochs und im Spartinagrasfeld am Deichfuß im Osten des Testfelds anzutreffen.

# Testfeld bei Deichhausen Sedimentverteilung %-Anteil <50µm

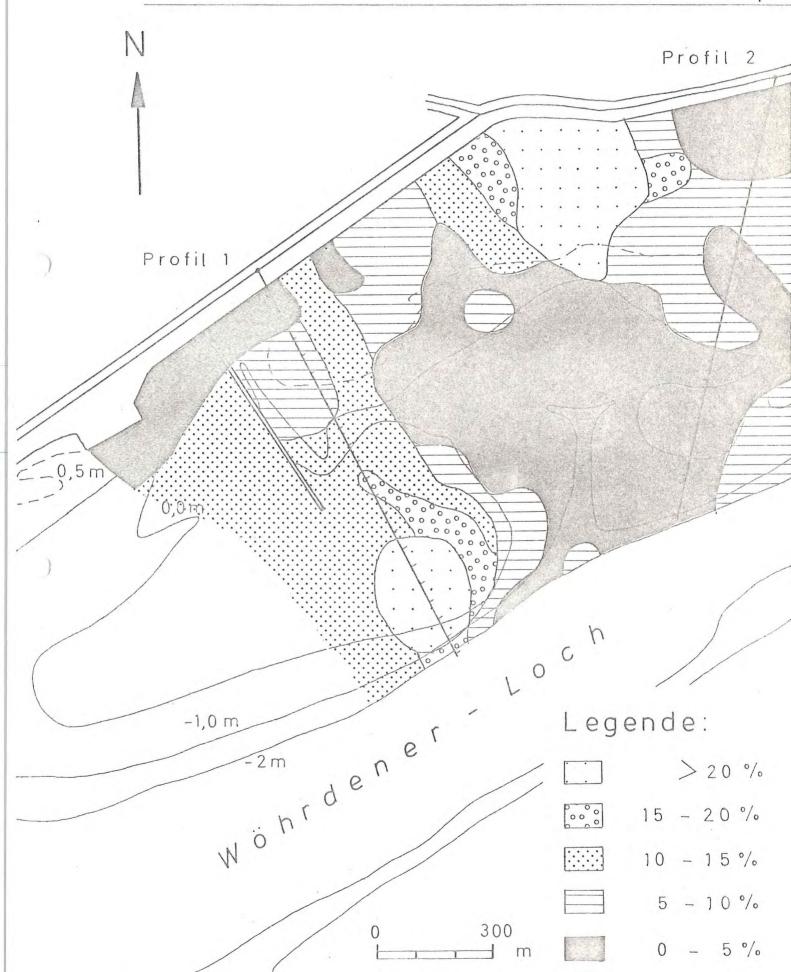


## Testfeld bei Deichhausen Sedimentverteilung %-Anteil <63μm



### Testfeld bei Deichhausen

### Sedimentverteilung %-Anteil > 125 µm



Der Unterschied zwischen Grobansprache im Gelände und Laboranalyse der Korngrößenverteilungen ist im Bereich des Baggerlochs besonders auffällig. Nach der Definition von SINDOWSKI (1973) ist das locker gelagerte leicht bindige Sediment eindeutig als Schlick zu bezeichnen.

Die Kartendarstellung des Prozentanteils >125 um macht, wie bei der Gesamtdarstellung der Meldorfer Bucht, auch im lokalen Bereich die Einwirkung der hydromechanischen Kräfte deutlich (Abb. 30). Die Stufung der Prozentanteile wurde im Bereich der Wattsande enger gewählt als auf der Übersichtsdarstellung der Bucht, da Sedimente mit einem größeren Anteil > 125 um im Testfeld nicht auftreten.

Die geschützten Bereiche des Baggerlochs, die von der 0.0m NN-Linie begrenzt werden, enthalten Sedimente mit einem geringen Prozentsatz (0-5%) > 125/um. Auch die Stillwassergebiete der von Vegetation bedeckten oder von Lahnungen gesicherten Gebiete weisen entsprechende Anteile auf.

Nur zwei Teilgebiete des Testfeldes besitzen Sedimente mit einem Prozentsatz von mehr als 20 % >125 / um. Ein Vergleich mit den Häufigkeitsverteilungen dieser Gebiete zeigt, daß dort zweigipfelige Kornverteilungen vorherrschen. Auf den möglichen Einfluß von Schichtung auf die zweigipfeligen Verteilungen wird in Kap. 6.6 hingewiesen. Der für dieses insgesamt relativ geschützte Wattgebiet hohe Anteil an Korngrößen > 125 / um weist auf eine dort etwas stärkere Belastung durch Seegang hin. Auf dem seewärtigen Teil des 1. Profils konnte diese hydromechanische Belastung des Watts über zweieinhalb Jahre verfolgt werden. Auch im Gebiet zwischen den beiden Profilen 1 und 2 kann an einer nicht durch Lahnungen geschützten Stelle in Deichnähe eine starke Brandung auflaufen, die das dort abgelagerte Sediment relativ grobkörnig erhält (Badestrand Deichhausen).

#### Verteilung von Mittelwerten verschiedener Parametersysteme:

Bei den vergleichenden Darstellungen der Sedimentverteilung im Testfeld wurde als einziger Parameter des Quartilsystems der Medianwert verwendet.

Die Medianwerte-Karte zeigt einen sehr ähnlichen Grenzverlauf der verschiedenen Sedimenttypen wie die Karte der Prozentanteile <63/um. Zusätzlich zu dieser scheidet sie ein Erosionsgebiet auf der seewärtigen Hälfte des ersten Profils aus. Die Medianwerte des Quartilsystems sind viel besser als die Mittelwerte des Momentensystems dazu geeignet, Schlickgebiete und Flächen von Schlicksanden mit korrekten Verbreitungsgrenzen darzustellen. Auch die Gliederung von Wattsand- und Schlicksandflächen wird durch die Medianwerte besser vollzogen.

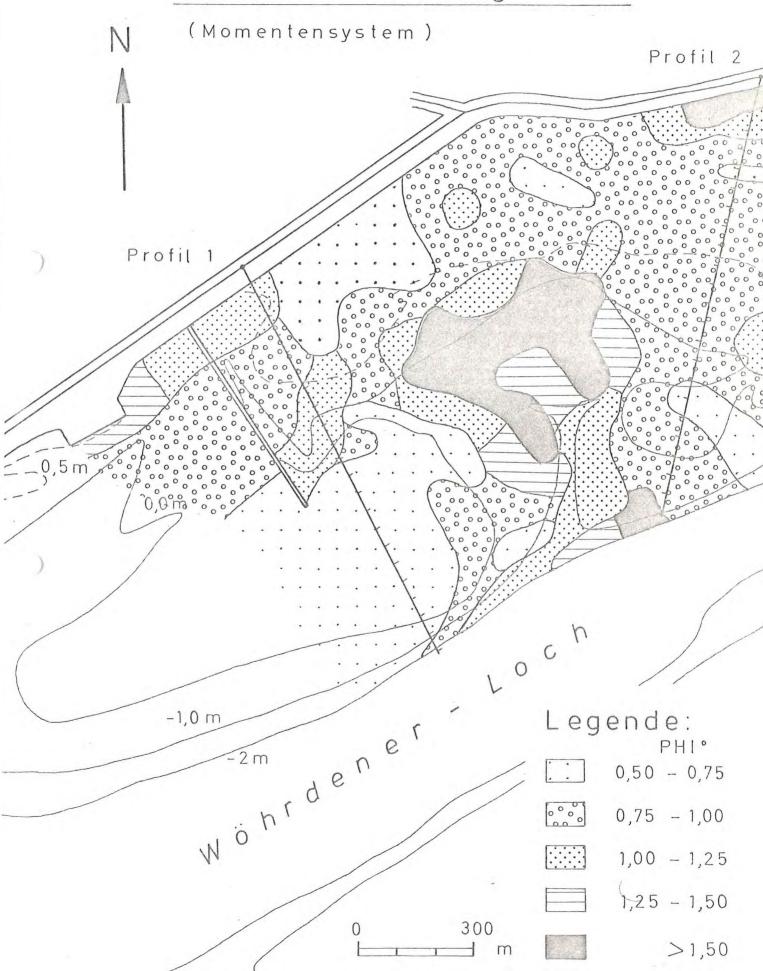
Die aussagereichsten Mittelwertkarten von Wattsedimenten konnten mit Hilfe des hydraulischen Mittelwerts nach BAGNOLD (1968) gezeichnet werden. Dieser Mittelwerttyp ermöglicht eine Kartendarstellung, die der <63/um-Karte gut entspricht, aber noch einige zusätzliche Informationen enthält. Die hydromechanisch besonders beanspruchten Bereiche des Testfeldes treten noch deutlicher hervor als bei den Quartil-Medianwerten und bei der mit den %Anteilen > 125/um.

### Momenten-Sortierung (Standardabweichung) (Abb. 31)

Im Gegensatz zur Quartilsortierung zeichnet die Sortierung des Momentensystems eine mehr den natürlichen Sedimentverteilung entsprechendes Bild. Die Beurteilung des Sortierungsgrades wurde von FOLK (1966) übernommen. Demnach variieren die Wattsedimente des Testfeldes zwischen gut sortierten (wellsorted) Wattsanden (0.5 - 0.75) und schlecht sortierten (poorly sorted) Schlicken (1.5 - 2.0). Dazwischen liegen die mäßig gut (moderately well) und mäßig (moderate) sortierten Kornverteilungen der Schlicksande.

### Testfeld bei Deichhausen

### Standardabweichung PHI°



Wird die Kartendarstellung der Sortierungsgrade mit der nach dem Prozentanteil < 63 um entworfenen Nomenklatur verglichen, so läßt sich folgende Einteilung vornehmen: Wattsande (0 - 10 % < 63 um) sind meist "gut" sortiert, fallen aber auch teilweise in die Kategorie der "mäßig guten" Sortierung. Sandige Schlicksande (10 - 25 % < 63 um) sind überwiegend "mäßig gut" sortiert und schlickige Schlicksande (25 - 50 % < 63 um gehören zu den drei Kategorien "mäßig gut", "mäßig" und "schlecht" sortiert. Schlicksedimente (> 50 % < 63 um) weisen ausschließlich schlechte Sortierungen auf.

#### Momenten-Schiefe (Abb. 32)

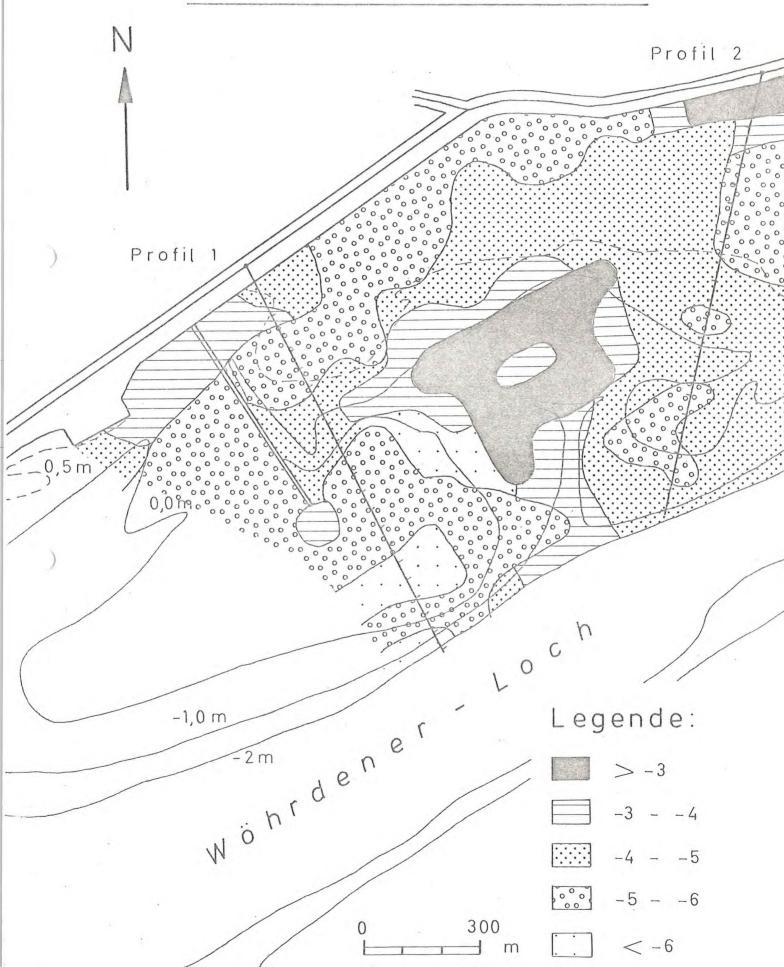
Die Momentenschiefe bietet durch die Miteinbeziehung sämtlicher Perzentile der Summenkurve im Gegensatz zur Quartilschiefe eine gute Möglichkeit, die Sedimentverteilung von Wattsedimenten zu charakterisieren.

Die Werte, die von ca. -3 bis ca. -6 für Wattsedimente berechnet wurden, lassen sich nicht mit Werten anderer Systeme vergleichen. Auch bei verschiedener Anwendung des Momentensystems ergeben sich unterschiedliche Werte. Der Schiefe-Grad ist unter anderem davon abhängig, in welcher Form der Schlickanteil < 63 um in die Berechnungen miteinbezogen worden ist (vergl. FDLK 1966). Auch von anderen Autoren werden für Wattsedimente generell negative Schiefewerte angegeben (MüLLER, 1960; DUANE, 1964; PRÖBER, 1978), die mit den meist hohen Schluff- und Tonanteil begründet werden.

Die fünffache Stufung der Schiefewerte für die Kartendarstellung ermöglicht einen Vergleich mit den Verteilungen anderer Sedimentparameter. Die höchsten Werte erreicht die Schiefe in den Verbreitungsgebieten von Schlick und schlickigem Schlicksand. Werden diese beiden Bereiche zusammengefaßt und dann mit der Ausdehnung der beiden Schiefe-Stufen minus 3 bis minus 4 (vgl. Karte) verglichen, fallen die gut übereinstimmenden Grenzen dieser Gruppierungen auf.

### Testfeld bei Deichhausen

### Schiefe (Momentensystem)



Die flächenmäßige Verbreitung mittlerer Schiefewerte deckt sich teilweise mit den "sandiger Schlicksand"-Flächen. Große Teile der von sandigem Schlicksand bedeckten Areale werden wie die Wattsande von den beiden Stufen der niedrigsten Schiefewerte eingenommen.

#### Momenten-Kurtosis (Abb. 33)

Wie bei der Schiefe fallen die Verbreitungsgrenzen der Schlicke und schlickigen Schlicksande mit denen von zwei Stufen der Kurtosisskala (0 - 20) übereinander. Im Bereich der Wattsande und sandigen Schlicksande stimmen die Areale der Kurtosiswerte nicht so gut mit deren Grenzen überein. Jedoch überwiegen bei den sandigen Schlicksanden Werte zwischen 20 und 30 und bei den Wattsanden Werte zwischen 30 und 50. Die höchsten Kurtosiswerte des Testfeldes finden sich auf der seewärtigen Hälfte des ersten Profils und in Deichnähe zwischen den beiden Profilen (Badestrand). Insgesamt wird die natürliche Sedimentverteilung im Testfeld durch die Kurtosis gut wiedergegeben.

### 7.2 Sedimenttypen des Testfelds östlich von Büsum

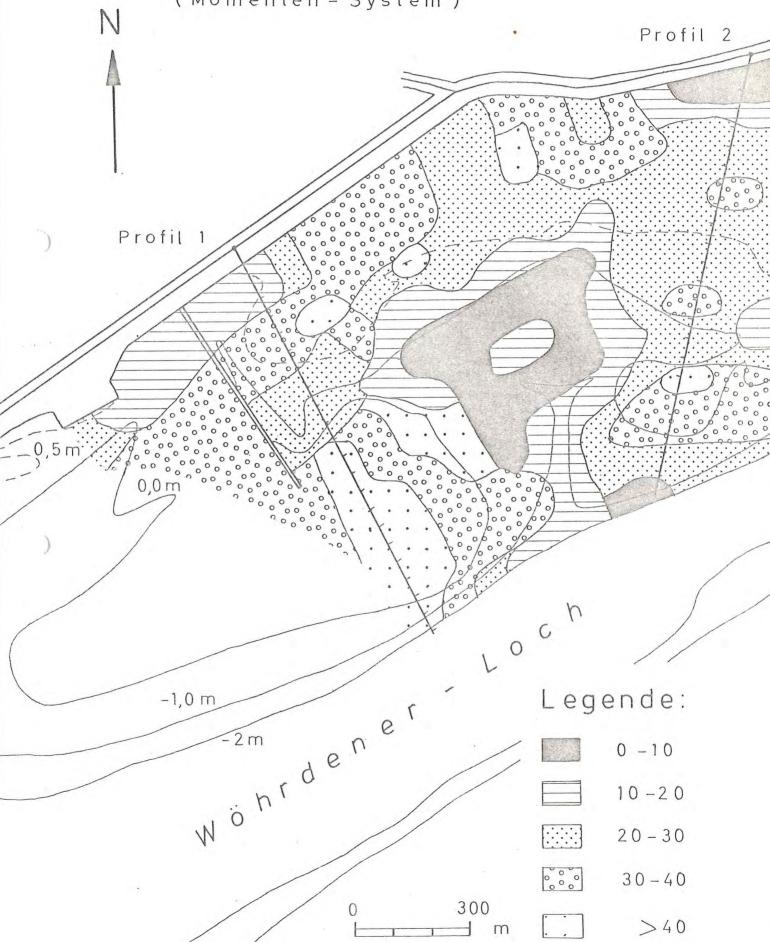
Für die Typisierung der Wattsedimente des Testfeldes wurden die Momentenperameter (MIW, SDV, SCH, KURT) benutzt, um festzustellen, ob auch die Momentenparameter alleine eine gute Kartendarstellung der Sedimenttypen ermöglichen. Obwohl auch im Testfeld
die Klassifikation mit den Momentenparametern keine Trennung der
Schlicksandklassen 1 und 2 ermöglicht, entspricht die resultierende Karte doch besser den natürlichen Verhältnissen als die
Einzeldarstellungen der verschiedenen Sedimentparameter (Abb. 34).

Im Westen des Testfeldes befindet sich in Lee einer Buhne ein schlickiges Sediment (Schlicksand 3). Ein südlich davon gelegenes Sandwattgebiet wird von einer Wattsandklasse eingenommen, die typisch für starke Umlagerungsintensitäten ist (Wattsand 2).

### Testfeld bei Deichhausen

### Verteilung der Kurtosis

(Momenten - System)



### Testfeld bei Deichhausen

Karte der Wattsedimenttypen

(Momentenparameter klassifiziert nach VOGEL Programm YHAK-KDIAG) Profil 2 Profil 1 0,5 m 0,0 m Loch Wohrdener -1,0 mLegende: 000 Wattsand 2 00000 Wattsand 3 Schlicksand 1+2 Schlicksand 3 300 Schlick 1

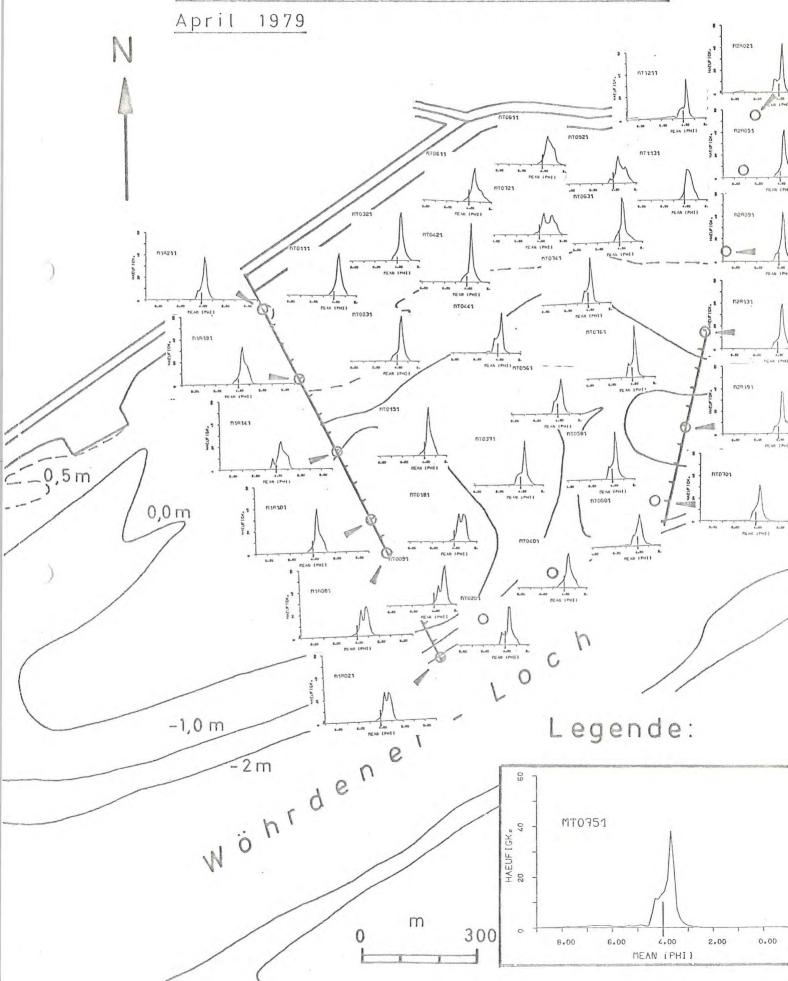
Solche Wattsande finden sich auch vor dem Deich etwa in der Mitte zwischen beiden Profilen (Badestrand). Zu beiden Seiten dieses Vorkommens erstrecken sich in einer etwa 300 m breiten Zone vor dem Deich Wattsande des Typs Wattsand 3. Beim 2. Profil rahmen diese Sande ein Schlickgebiet ein, das sich in einem Spartinagrasfeld gebildet hat. Auch seewärts des von schlikkigen Sedimenten angefüllten Baggerlochs im Zentrum des Testfeloes bilden die Wattsande des Typs Wattsand 3 einen schmalen Streifen, der in der Osthälfte des Testfeldes in Richtung Wöhrdener Loch von schlickigen Sedimenten abgelöst wird. Im Gebiet des ehemaligen Baggerlochs verteilen sich die schlickigen Sedimente der Wattsedimenttypen Schlicksand 1 und 2, Schlicksand 3 und Schlick 1 entsprechend den morphologischen Gegebenheiten.

Stellvertretend für die Wattgebiete der Meldorfer Bucht wurden charakteristische Häufigkeitsverteilungen der Sedimente im Test-feld auf einer Karte dargestellt (Abb. 35). Der Vergleich mit den Sedimentverteilungskarten des Testfelds läßt folgende Schlüsse zu:

Die Wattsande und sandigen Schlicksande von Gebieten, in denen keine stärkere Umlagerungsaktivität nachzuweisen war, besitzen stets eingipfelige Verteilungen. Kornverteilungen mit höheren Schlickanteilen zeigen bei ca. 4 PHI<sup>O</sup> (63/um) einen Knick in der Häufigkeitskurve. Bei Schlicken, zum Beispiel im zweiten Profil in Deichnähe, deutet sich ein zweites Maximum im Grobsiltbereich an. Deutlich bimodale Verteilungen besitzen Wattsande von hydromechanisch stärker beanspruchten Gebieten auf der Südhälfte des 1. Profils und im Norden des Testfeldes zwischen den beiden Profilen.

### Testfeld bei Deichhausen

Charakteristische Häufigkeitsverteilungen



#### 7.3 Bivariate Streudiagramme verschiedener Parameter /

Um zu prüfen, welche Parameterkombinationen auch in zweidimensionaler Darstellung erfolgreich eine Trennung der Wattsedimenttypen ermöglichen, wurden von zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten bivariate Streudiagramme gezeichnet. Möglich war dies durch das Programm GRAPHB von KACHHOLZ (1980). Aus der bei zehn Parametern großen Zahl von Kombinationsmöglichkeiten wurden nur diejenigen Streudiagramme herausgegriffen, deren Punktwolken voneinander trennbar waren.

In den Korrelationsdiagremmen MIW/SDV, MIW/SCH und MIW/KURT wurden die Proben des Sedimenttyps Schlick 3 ausgelassen. Deren Werte sind so extrem, daß sie das restliche Punktefeld auf der Darstellung im Fall der Auftragung zu einem kleinen unübersichtlichen Feld zusammenschrumpfen lassen würden.

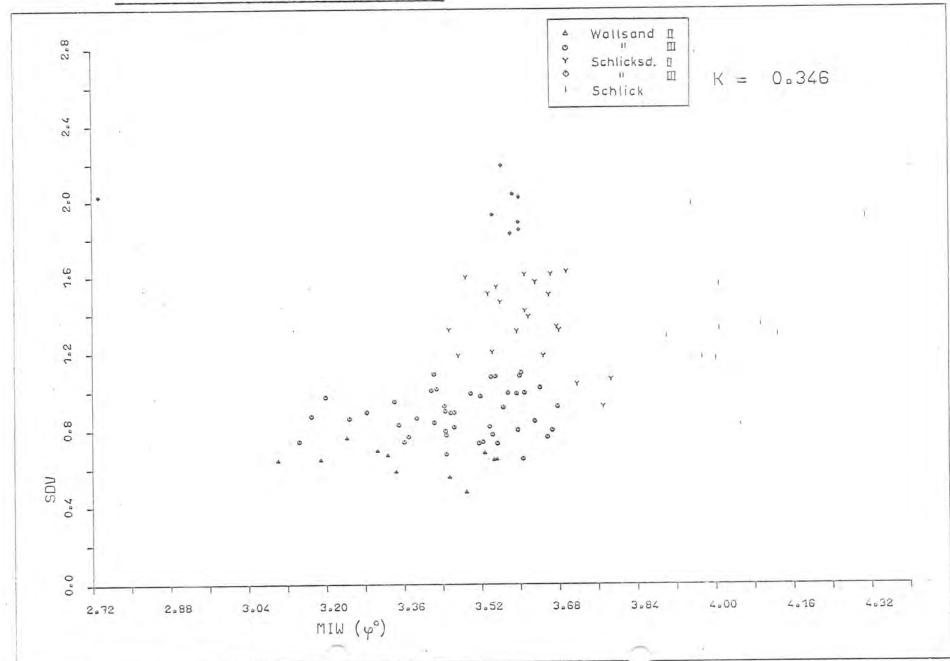
#### Mittelwert/Sortierung (Abb. 36)

Der Mittelwert und die Sortierung sind allgemein gut geeignet, die Wattsedimenttypen voneinander zu trennen. Überschneidungen gibt es nur in den Bereichen Schlicksand 1 und 2 und Schlicksand 3 und Schlick 1. Bei den Proben aus dem Testfeld ist die Trennung der Wattsedimenttypen wegen der begrenzten Zahl der hier vorkommenden Typen besonders deutlich.

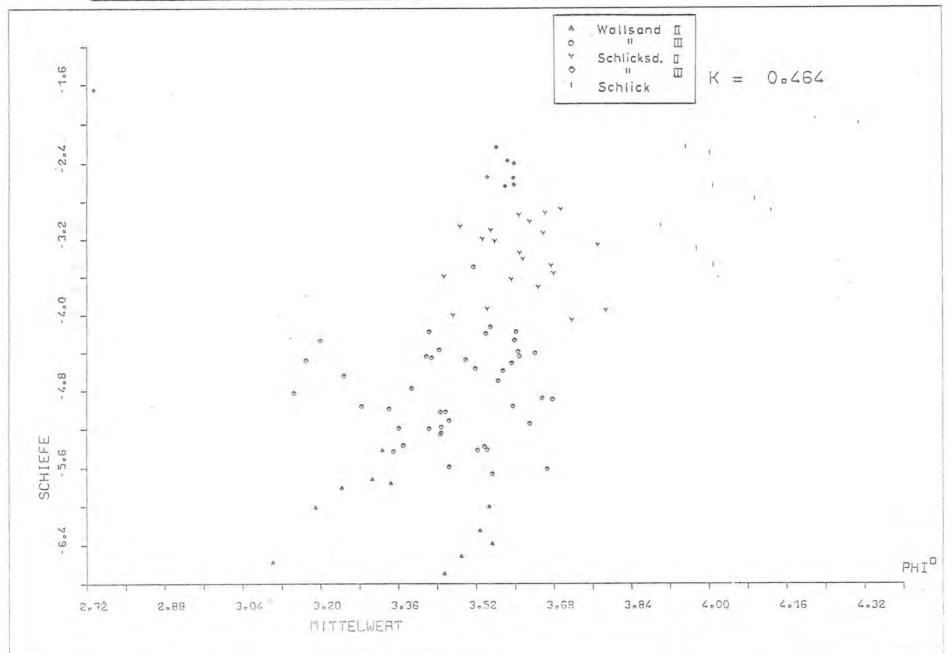
### Mittelwert/Schiefe (Abb. 37)

Mit Hilfe der Parameterkombination Mittelwert/Schiefe lassen sich die Wattsedimenttypen ebenfalls gut unterscheiden. Wiederum lieferte die Darstellung der Testfeldproben ein sehr klares Bild deutlich voneinander getrennter Sedimenttypen.

Testfeld bei Deichhausen



Testfeld bei Deichhausen



#### Mittelwert/Kurtosis (Abb. 38)

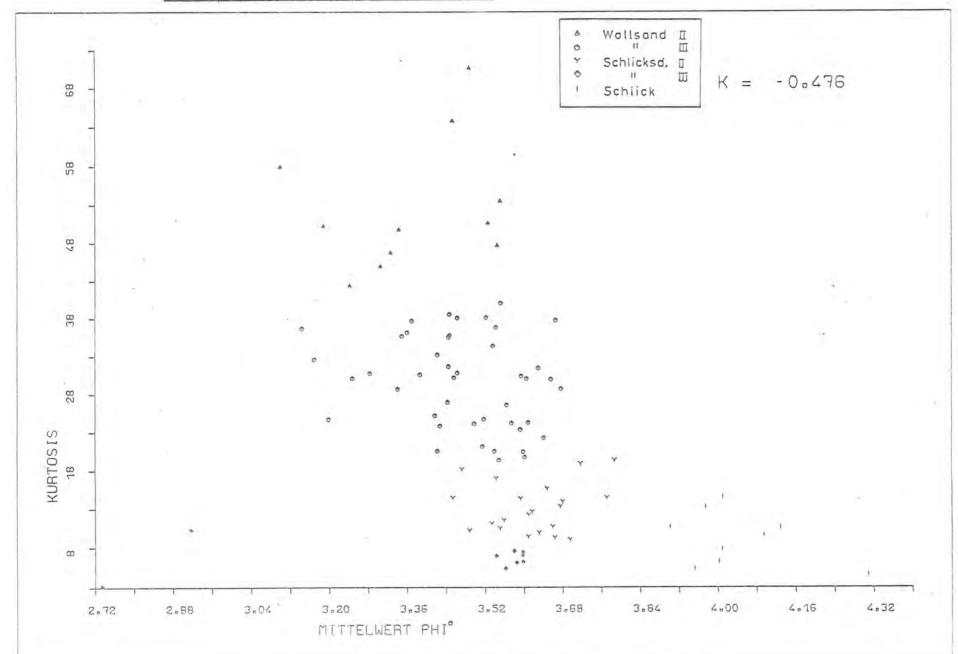
Das Streudiagramm mit den Proben der Sedimenttypen trennt auch in dieser Darstellung die Wattsande gut voneinander ab, zeigt aber Überschneidungen der Bereiche Schlicksand 1 mit 2 und Schlicksand 3 mit Schlick 1. Schlick 1 wiederum überdeckt teilweise das Feld von Schlick 2.

- 8. Schwebfracht, Sedimentation und Biodeposition
- 8.1 Suspensionsmessungen in den Jahren 1978 und 1979 (Auszug aus dem Bericht des Geologischen Institutes der Universität Hamburg, Bearbeiter: S. Kempe)

In den Jahren 1978 und 1979 wurden während 4 Tiden von der Meßplattform aus und an der Hafenschleuse Büsum Suspensionsproben
entnommen, die neben einer Bestimmung der Suspensionskonzentration zur Materialgewinnung für geochemische Untersuchungen bestimmt waren, die im Bericht des Geologischen Institutes der
Universität Hamburg näher beschrieben werden.

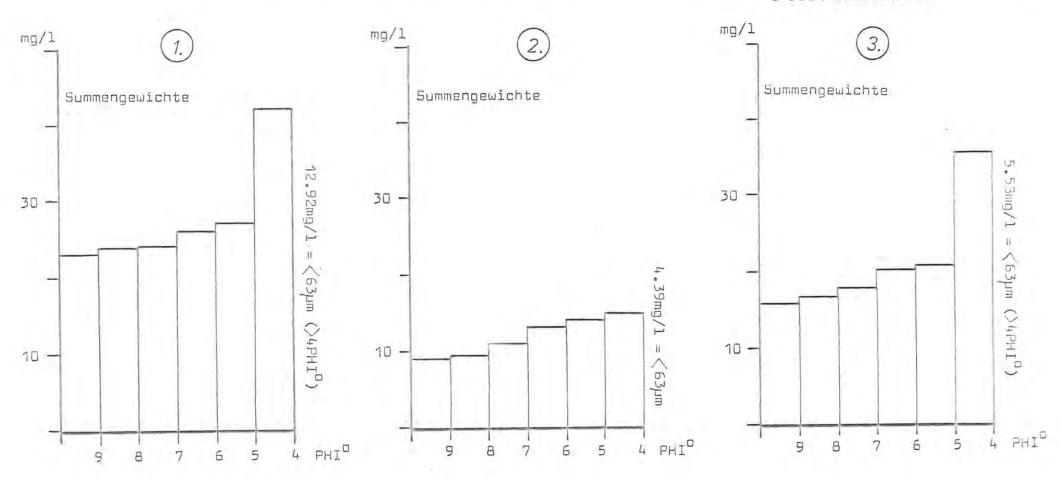
Die Mittelwerte der Suspensionskonzentrationen dieser vier Tiden zeigen große Differenzen zwischen den einzelnen Probenreihen. Diese waren in erster Linie vom Wind abhängig. Am 21,09.1978 wurden im Mittel 109 mg/l Suspension gemessen. An diesem Tag herrschte Windstärke 4. Alle anderen Serien wurden bei geringeren Windgeschwindigkeiten gewonnen.

Der Suspensionsgehalt ändert sich in charakteristischer Weise mit der Tide, Am 21.06.1979 sank der Suspensionsgehalt von 80 mg/l im "ersten Wasser" auf unter 30 mg/l zur Zeit der Flut. Im "letzten Wasser" ernöht sich die Konzentration noch einmel auf 37 mg/l. Diese starke Asymmetrie der Suspensionskurve zeigt, daß der Suspensionsgehalt nicht allein eine Funktion der Über-



Schwebfrachtmessungen über der Position 54 im Testfeld östlich von Büsum, derselben Stelle an der auch ein Teil der "Kotpillen"untersuchungen durchgeführt wurden.

Probenentnahme: jeweils 601 aus Windstärke 3 aus SE Tag: 10. Juli 1980 Wind: 0-30cm Wassertiefe



#### Entnahmezeiten:

- (1-)  $1\frac{1}{2}$  Stunden vor Hochwasser
- (2.) bei Hochwasser (3.)  $1\frac{1}{2}$  Stunden nach Hochwasser

strömungsgeschwindigkeit ist. Zwar ist auch die Tidenkurve am Meßpunkt merklich asymmetrisch und entsprechend dürfte das auflaufende Wasser eine etwas höhere Geschwindigkeit haben, als das ablaufende.

Die von der Suspensionskurve gezeigte Asymmetrie ist jedoch weit stärker als die der Tidenganglinie. Die sehr hohen Suspensionsgehalte zu Beginn der Überflutung sind vielmehr im Zusammenhang mit den hydrochemischen Daten erklärbar: Die während der Ebbe von Diatomeen und anderen Algen auf der Wattoberfläche erzeugten Sauerstoffbläschen sind durch freigesetzte organische Substanzen an den Schlickpartikel festgeklebt und heben die Diatomeenfelder mitsamt anhaftenden Partikeln von der Wattoberfläche ab, sobald das erste Wasser sie erreicht und ihnen Auftrieb verleiht ("Bläschen-Lifting").

Die Suspensionskurve vom 10.04.1979 ist dagegen ausgeglichener, da an der Schleuse der Überströmungsvorgang des Watts nicht eintreten kann. Hier verursacht lediglich das aus dem Hafenbecken strömende Wasser eine Erhöhung der Suspensionskonzentration um 10 mg/l aufgrund der dort abgelaufenen Planktonblüte.

### 8.2 Suspensionsmessungen im Jahre 1980 (Bearbeiter: R. Cast)

Ergänzend zu den Suspensionsmessungen für geochemische Untersuchungen wurden am 10. Juli 1980 in der Nähe der Position 54 (Grenzbereich des Schlickgebiets im Testfeld) von einem Boot aus weitere Proben zur Bestimmung der Kornverteilung der Schwebfracht entnommen. An der geichen Stelle erfolgten auch die Untersuchungen über die Bindung der Schwebfracht in Kotpillen.

Um mit den Sedimentanalysen vergleichbare Messungen durchführan zu können, werden größere Mengen (1 g) Schwebfracht pro Probe benötigt. Die Wassermenge betrug jeweils etwa 60 l, um eine genügende Schwebfrachtmenge zu erhalten. Untersucht wurde nur der Suspensionsgehalt der oberen 30 cm der Wassersäule.

Die Entnahmezeiten lagen 1 1/2 Stunden vor Hochwasser, bei dW und wiederum 1 1/2 Stunden nach HW. Die Probenentnahme erfolgte bei ruhigem Wetter (ca. Windstärke 3).

Entsprechend den Messungen von KEMPE (vgl. 8.1) wurden im Flutwasser deutlich höhere Schwebfrachtgehalte als zur Hochwasserzeit und den wieder erhöhten Gehalten bei Ebbe festgestellt.

Der Suspensionsfrachtgehalt lag jedoch während der Ebbephase
im Verhältnis beträchtlich höher als bei Hochwasser (vgl. Abb.
39). Eineinhalb Stunden vor Hochwasser wurde ein Gesamtgehalt
von 57 mg/l, zur Hochwasserzeit nur 18 mg/l und bei Ebbe eineinhalb Stunden später eine Menge von 41 mg/l gemessen.

Den größten Anteil an Korngrößen im Grobsilt- und Feinsand- Bereich (>31/um (<5 PHI<sup>0</sup>)) besitzt das Suspensionsmaterial des Flutwassers. Bei Stauwasser zur Hochwasserzeit besteht degen nur ein Viertel der Schwebfracht aus Material dieser Korngrößenklassen. Bei ablaufendem Wasser steigt der Prozentsatz gröberen Materials (>31/um) dagegen wieder erheblich an.

Wie die Auftragung der Summengewichte der drei Schwebfrachtproben zeigt, liegt der Hauptanteil der Suspensionsfracht im Bereich von Korngrößen < 2/um  $(>9 \text{ PHI}^0)$ . Der Fainsiltanteil < 31/um  $(>5 \text{ PHI}^0)$  ist nur in sehr kleinen Prozentsätzen vertreten. Bei der Hochwasserprobe fällt auch der Anteil an grobem Silt (31 bis 63/um)  $(5-4 \text{ PHI}^0)$  nur gering aus.

Der mit der Pipetteanalyse nicht erfaßbare Korngrößenbereich >63/um (<4 PHI<sup>O</sup>) konnte wegen der sehr geringen Materialmengen nicht in weitere Fraktionen aufgeschlüsselt werden. Es besitzt aber ohnehin über dem schlickreichen Gebiet nur einen sehr geringen Anteil am Korngrößenspektrum der Suspensionsfracht (vgl. WOHLENBERG 1953).

Insgesamt lassen sich die im Testfeld bei Büsum gemessenen Sinkstoffmengen sehr gut mit denen von PETERSEN (1941) zwischen Pellworm und Südfall vergleichen. Dort ergab sich eine Streubreite von wenigen mg/l bis 53 mg/l und ein Mittelwert von 25 mg/l.

Die Proben der zitierten Verte wurden ebenfalls unter der Wasseroberfläche entnommen. PETERSEN (1941) hat auch die Schwebfracht verschiedener Tidephasen auf dem Watt untersucht und maß bei Flut 20 - 40 mg/l, bei Hochwasser 12 - 19 mg/l und bei Ebbe 5 - 30 mg/l Schwebfracht. Auch er stellte also eine starke Abnahme des Schwebstoffgehaltes bis zum Hochwasser mit einer anschließenden etwas schwächeren erneuten Zunahme fest.

### 8.3 Sedimentation der Schwebfracht (Bearbeiter: R. Gast)

Da Schwebfrachtmessungen verschiedener Wattgebiete bei Ebbe stets geringere Werte ergeben, als bei auflaufendem Wasser, liegt der Schluß nahe, daß ein Teil der Schwebfracht in landnäheren Gebieten abgelagert oder über andere Wege wieder in die größeren Wattrinnen zurückgeführt wird.

Nach den Ergebnissen von POSTMA (1961) sinkt gegen Hochwasser ein großer Teil des Materiales zu Boden, und kann bei ablaufendem Wasser erst nach Erreichen höherer Strömungsgeschwindigkeit wieder suspendiert werden. Daraus ergibt sich ein Überwiegen des landwärts gerichteten Flutstrom-Transportes. Die Festlegung von Schlick im Sediment erfolgt in erheblichem Umfange durch filtrierende Organismen.

# 8.4 Mikroskopische Untersuchung von kotpillenbedeckten Wattoberflächen (Bearbeiter: R. Gast)

Mit diesem Teil der Untersuchungen wurde angestrebt, das Ausmaß der Biodeposition sowie die Größe von "fecal pellets" im Testfeld Büsum zu bestimmen, und die Kotpillen mit den im Labor ermittelten Korngrößenverteilungen zu vergleichen. So sollte der Einfluß der Festlegung sehr feiner Suspensionspartikel in den sehr viel größeren Kotpillen geklärt werden.

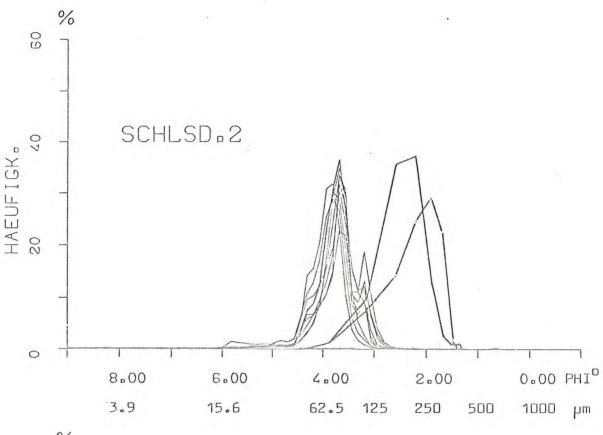
Diese Arbeiten erfolgten an drei Positionen (53, 54 und 55) im Testfeld. Hier finden sich die Sedimenttypen Wattsand 3 (Position 53), Schlicksand 2 (Position 54) und Schlick 1 (Position 55).

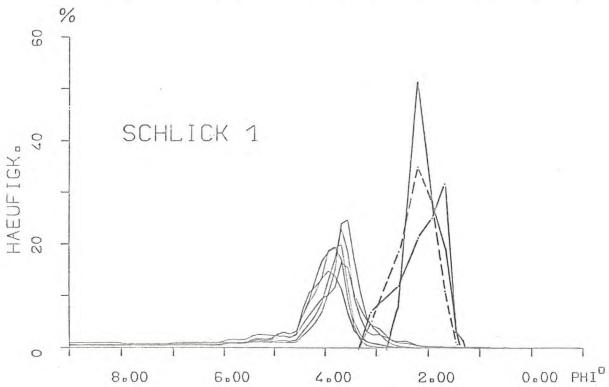
Mit großer Vorsicht wurden sechs möglichst ungestörte Oberflächenproben entnommen und sofort in der nahegelegenen Außenstelle des Amtes für Land- und Wasserwirtschaft Heide in Büsum
untersucht. Mit Hilfe eines Binokulars aus dem Institut für
Hydrobiologie der Universität Hamburg wurden die noch intakten
Oberflächen der Sedimentproben mit verschiedenen Vergrößerungsstufen fotografiert. Die größte Anzahl an der Oberfläche meßbarer Teilchen innerhalb einer geschlossenen Fläche betrug 269.
Die geringste Anzahl, die noch zur Auswertung herangezogen
wurde, bestand aus 149 Kotpillen.

Die Auswertung der Fotografie einer natürlichen Oberfläche hat stets den Nachteil, daß nur die Teile der Partikel gemessen werden können, die an der Oberfläche sichtbar sind. Bei einem zweidimensionalen Schnitt durch ein nicht eingeregeltes Gemenge elliptischer Körper, wie es von einer mit Kotpillen bedeckten Fläche gebildet wird, kann jede Flächenform von der Kreisfläche bis zur Ellipsenfläche auftreten. Die Korngrößenverteilung – hier wurden jeweils die Durchmesser der äquivalenten Kreisflächen berechnet –, ergibt infolgedessen eine größere Variation der Korngrößen mit einem insgesamt niedrigeren Mitteluert, als es der Wirklichkeit entspricht.

Für die Untersuchungen im Labor wurden ebenfalls Gberflächensedimentproben benutzt. Deren organische Bestandteile zerfielen jedoch bei der Analyse weitgehend.

Die Kotpillen der Wattoberflächen in der Meldorfer Bucht erreichen zwar nicht die Grüße der von HAVEN & MORALES-ALAMO (1972) beschriebenen Beispiele, ihrs mittleren Korngrößen liegen jedoch noch erheblich über dem Medianwert der entsprechenden anorganischen Korngrößenverteilungen (Abb. 40). Für den Vergleich von Kornverteilungen der Wattsedimenttypen Schlicksand 2 und Schlick 1 mit den Korngrößenverteilungen von Kotpillen (fecal pellets) an den entsprechenden Wattoberflächen.





Vergleich der Pellet-Kornverteilungen mit dem Sediment der beiden Stationen wurden für die Abbildungen (Abb. 41) die auch für die ganze Meldorfer Bucht charakteristischen Kornverteilungen des Oberflächensediments gewählt.

Die Aufnahmen vom Wattsand 3 wurden nicht ausgewertet, da an seiner Gberfläche keine organischen Bildungen zu erkennen waren, die das Korngrößenspektrum beeinflußt hätten.

Der mittlere Durchmesser der den Ellipsenflächen äquivalenten Kreisflächen beträgt für die Proben der Schlicksand-Position 2.3 PHI<sup>O</sup> = 0.2 mm und für die der Schlick-Position 2.2 PHI<sup>O</sup> = 0.22 mm.

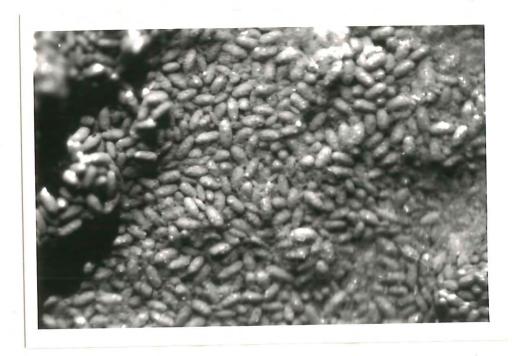
Da der Unterschied sehr gering ist, kann wahrscheinlich davon ausgegangen werden, daß der überwiegende Teil der Kotpillen beider Sedimenttypen von denselben Tierarten produziert wurden.

Bei den Schlicksandproben scheint jedoch noch ein etwas feinkörnigerer ebenfalls elliptischer Kotpillentyp möglicherweise von einer oder mehreren anderen Arten hervorgebracht zu werden. Die Verteilungen überspannen beim Schlicksand zum Feineren hin einen deutlich größeren Bereich bis hinab auf eine Korngröße von  $4.3~\mathrm{PHI}^{\,\mathrm{O}}=0.05~\mathrm{mm}$ , während beim Schlick die kleinste gemessene Kotpille eine Größe vo  $3.3~\mathrm{PHI}^{\,\mathrm{O}}=0.1~\mathrm{mm}$  besitzt. Die größten Kotpillen liegen bei beiden Sedimenttypen bei ca.  $1.3~\mathrm{PHI}^{\,\mathrm{O}}=0.4~\mathrm{mm}$ .

Die von Invertebraten aus dem Wasser herausfiltrierten Partikel sind meist kleiner als 5/um. Die Untersuchung an verschiedenen Muscheln und Schnecken an der amerikanischen Ostküste in vergleichbarem Watt ergab, daß 82 bis 93 Vol% der Pellet-Partikel kleiner als 4/um und noch 95 Vol% kleiner als 9/um (HAVEN & MORALES-ALAMO 1972) sind.

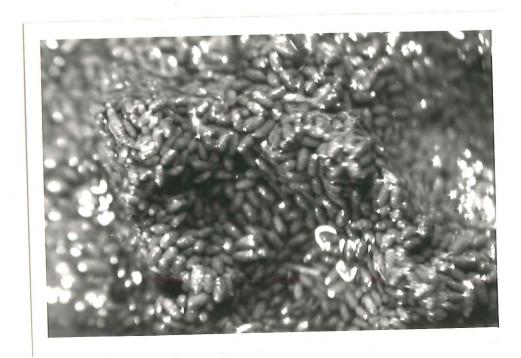
Die verdaute Substanz wird nach dem Passieren des Verdauungstraktes als "feste" Kotpillen je nach Tierart mit einer Länge von ca. 500 bis 3000/um ausgeschieden (HAVEN & MORALES-ALAMG

Abb. 41 Kotpillenbedeckte Wattoberflächen in der Meldorfer Bucht



1. Schlicksandoberfläche (Schlicksand 2)

1 mm



2. Schlickoberfläche (Schlick 1)

1972). Die Formen der Pellets reichen von kurzen, eiförmigen Pillen bis zu länglichen Strängen und besitzen je nach Tierart auch unterschiedliche Oberflächenstrukturen.

Kotpillen besitzen aufgrund ihrer beträchtlichen Größe eine sehr viel höhere Sedimentationsgeschwindigkeit als ihre Einzelbestandteile, die meist nur eine Größe von 1 - 5/um besitzen. Daraus folgt, daß auch an solchen Stellen biogene, schlickige Sedimente abgelagert werden können, wo sonst von den hydromechanischen Verhältnissen her nur sandige Korngemische sedimentiert werden.

Auf die Ablagerung der Kotpillen folgt der mechanische und bakterielle Abbau. Ein Teil des Materiales der Kotpillen wird nach deren Auflösung wieder resuspendiert, ein anderer Teil wird jedoch durch die Umschichtungstätigkeit von im Sediment lebenden Tieren (z. B. Arenicola marina) in das Sediment eingearbeitet. Versuche mit fluoreszierenden und radioaktiven Partikeln zeigten, daß Pelletteilchen innerhalb von knapp drei Wochen bis zu einer Tiefe von 15 cm in das Sediment mit eingemischt worden waren (HAVEN & MORALES-ALAMO 1972).

# 8.5 Der Einfluß von Diatomeen und Mikroorganismen auf die Sedimentation (Bearbeiter: R. Gast)

Der Diatomeenbewuchs ist in erster Linie auf den Schlickwatten der höher gelegenen, landnahen Bereiche von größter Bedeutung für die Festlegung der während der Wasserbedeckung sedimentierten Partikel (WOHLENBERG 1953).

Nach Beobachtungen in der Meldorfer Bucht können Diatomeen außerdem die Sedimentation von gröberem Wattsediment an den Prielrändern beschleunigen, indem sie die dort locker gelagerten Wattsande, die einen höheren Gehalt an organischer Subsatnz als andere Wattsande gleicher Kornverteilung enthalten, mit dichten Häuten überziehen und damit die Erosion erschweren.

Mikrobieller Bewuchs oder Überzug von Schwebstoffpartikeln in aquatischen Ökosystemen ist nach PAERL (1975) eher die Regel als eine Besonoerheit. Dadurch, daß schwebende Partikel das Substrat für verschiedene Mikroorganismen bilden, vergrößert sich ihre Masse, und die Sedimentation wird beschleunigt. Auch wann die Schwebstoffe selbst keine nachweisbaren Nährstoffe enthalten (z. B. Quarzpartikel), wirken sie stimulierend auf dan bakteriellen Bewuchs ihrer Oberfläche (JANNASCH & PRITCHARD aus PAERL, 1975).

# 8.6 Auswirkung der Wattvereisungen auf das Sediment (Bearbeiter: P. Gast)

In den Wintern 1978/79 und 1979/80 wurden von Treibschollen auf dem Watt vor Deichhausen bei Büsum Proben entnommen. Hierbei konnte zwischen der gefrorenen Schwebefracht des Wassers und dem von Wellen auf die Schollen geworfenen Sediment (Treibeis-aufwurf) unterschieden werden.

Zur Untersuchung der Schwebfracht mußten große Mengen Eis aus den Schollen -pro Probe etwa 3 bis 4 kg - herausgebrochen werden. Um den Sedimentaufwurf zu untersuchen, wurden ca. 1 kg Eis gezielt von der Schollenoberfläche abgekratzt. Nicht immer kann die Schwebfracht bei der Probenentnahme von sehr feinen Lagen aufgeworfenen Sedimentes unterschieden werden. Bei der Auswertung der sedimentologischen Analysendaten ergab sich jedoch eine deutliche Trennung der beiden oben beschriebenen Typen.

Bei der feinen Schwebfracht handelt es sich um ein sehr feinkörniges, siltig-toniges Material, das feinverteilt im Eis eingefroren ist. Teilweise ist es auch durch die Filterwirkung der porösen Eisstruktur konzentriert worden.

Da der organische Anteil in den Schwebfrachtproben recht hoch liegt (Planktonten), wurde besonderer Wert auf eine schonende Probenaufbereitung gelegt (ohne  $\pm_2 0_2$ ). Organischer Detritus

und Organismen blieben auf diesa Weise größtenteils unzerstört und gingen in die Korngrößenanalyse mit ein.

Die analysierten Eisproben der Schwebfrachtgruppe besitzen einen sehr hohen Feinanteil. Der Prozentsatz < 63 um liegt fast fünf mal höher als bei der Aufwurfprobe, und der des Tonanteils (< 2 um) um das zwölffache. 54 % der Schwebfracht besteht aus kleineren Korngrößen als 20 um (Feinsilt und Ton), 18 % aus Grobsilt und nur 20,5 % aus Feinsand.

Die Eisschwebfracht fällt von der Korngrößenzusammensetzung her in die Kategorie "Schlick" (50-85 % < 63 / um). Der Mittel-wert der Schwebfrachtproben beträgt 72,12 % < 63 / um.

Der Sedimentaufwurf wird durch die sich an den Eisschollen brechenden Wellen verursacht. Er besteht zum überwiegenden Teil aus einem Korngrößenspektrum, das nach seinem Anteil <63/um zwar einem sandigen Mischwatt entspricht, aber besser sortiert ist. Oft werden auch kleine Herzmuschelschalen (Cardium edule) auf den Schollen gefunden, die aus von der Erosisn freigelegten Cardiumfeldern stammen.

Nach der Wattsedimenttypisierung in K. FIGGE, R. KÖSTER, H. THIEL und P. WIELAND (1980), zählen die im Testfeld bei Deichhausen entnommenen Sedimentaufwurfproben zu den sandigen Schlicksanden (10 - 25 % <63/um). Der Hauptanteil des Sediments (80,6 %) liegt innerhalb der Grenzen 63/um bis 125/um. Der durchschnittliche Tongehalt (<2/um) dieses Materials entspricht dem Mittel eines sandigen Schlicksands (2,33 %). Der Anteil des feinen Silts (2 - 20/um) ist ungewöhnlich gering (ca. 1 %), und der des Grobsilts (20 - 63/um) beträgt 11,75 %.

Beim Abtauen der Eismassen auf dem Watt wird deren Sedimentfracht erst auf den dünner werdenden Eisschollen konzentriert und schließlich auf der Wattoberfläche abgelagert. Nach dem Abtauen des Eises im März 1978 und im März 1979 überzogen Eisschlickablagerungen die gesamte Fläche des Testfeldes bis auf eine Zone von etwa 200 m Breite entlang dem Wöhrdener Loch. Auch an Stellen, an denen sonst Wattsand anzutreffen ist, konnten Eisschlickmächtigkeiten bis 20 cm beobachtet werden.

Die Eisschlicksedimente waren im März 1979 innerhalb von knapp 14 Tagen wieder bis auf geringe Reste verschwunden (20.03.79 bis 03.04.79). Auch 1978 war Ende März die Eisschlickbedeckung zum größten Teil wieder abgetragen. Diese schnelle Wiederherstellung der alten Sedimentverhältnisse beweist die starke Abhängigkeit der Sedimentzusammensetzung von der Wattmorphologie und den Strömungsverhältnissen auf den Wattflächen. Auch extreme Wetterlagen bewirkten im Untersuchungsgebiet meist nur kurzfristige Änderungen in der Korngrößenzusammensetzung der Wattsedimente.

Gefügeuntersuchungen (Bearbeiter: K.-H. Runte) 1)

### 9.1 Auswahl der Meßstellen im Testfeld

Ergänzend zu den in den obigen Abschnitten beschriebenen Untersuchungen im Testfeld vor Deichhausen bei Büsum wurden vom Mai bis Oktober 1980 Gefügeuntersuchungen durchgeführt, um die jahreszeitlichen Veränderungen der Sedimente unter dem Einfluß von Sedimentations- und Erosions-vorgängen und vor allem der Einwirkung der Wattfauna (Bioturbation) zu erfassen.

Nach den Ergebnissen der Kartierung im Testfeld wurden drei Meßpunkte in Abständen von je 100 m so angelegt, daß nebeneinander Sandwatt, Schlicksand und Schlickwatt erfaßt wurden. Die Meßpunkte lagen auf einer ausgepflockten Profillinie, die etwa senkrecht zum Deich in Richtung auf das Wöhrdener Loch verlief. Die Probenentnahmen erfolgten jeweils innerhalb eines Kreises mit einem Radius von 5 m um den betreffenden Pflock.

Das Sandwatt wird durch den Meßpunkt am Pflock 52 beschrieben, der Schlicksand findet sich um den Pflock 53, während das Schlickwatt durch den Meßpunkt 54 charakterisiert wird. Letz-tere Position stand im Mittelpunkt der Untersuchungen. Beim Vergleich mit den vorherigen Abschnitten des Berichtes ist, wie schon erwähnt, zu berücksichtigen, daß 1980 gegenüber den Vorjahren leichte Versdiebungen der Faziesgrenzen eingetreten waren.

Die Probenentnahmen im Gelände erfolgten an 4 Terminen im Abstand von je etwa 7 Wochen (21.05.1980, 06.07.1980, 01.09.1980, 18.10.1980).

<sup>1)</sup> Die Untersuchungen werden über die Laufzeit des Schlick-Programmes hinaus gegenwärtig noch im Rahmen einer Diplom-Arbeit fortgesetzt.

#### 9.2 Methodische Grundlagen

Die zeitliche Veränderung der Korngrößenverteilungen des Sedimentes war durch die Entnahme von Proben mit Stechzylindern von 10 cm Eindringtiefe bestimmt worden. Schon in diesem Stadium der Untersuchungen hatte sich für das Schlickwatt um Position 54 eine stetige Sedimentation mit hohen Feinanteilen ergeben.

Um das Sedimentationsverhalten dieses Wattkörpers nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ durch Sedimentzuwachs oder Sedimentabnahme zu beschreiben, wurden an den Meßpunkten Stechkastenproben entnommen. Die Stechkästen sind rechteckige Metallkästen, die ungestörte Proben bis zu einer Tiefe von 25 om ergeben. Entnahmetechnik und Präparationsmethoden sind von H.-E. REINECK und F. WERNER in verschiedenen Veröffentlichungen beschrieben worden. Sie wurden für die Aufgaben dieses Vorhabens ergänzt.

Der große Vorteil des Verfahrens liegt in der Gewinnung eines nahezu ungestörten Profiles mit Wiedergabe der natürlichen Sediment- und Faunenverteilung. Für die räumliche Erfassung der Strukturen wurden je 2 Stechkästen entnommen, einer mit der Längsseite in Nord-Süd-, der andere mit der Längsseite in Ost-West-Richtung.

Die Auswertung der ersten Stechkastenprofile zeigte Schwierigkeiten bei der Parallelisierung charakteristischer Schichten
auf, deren Tiefenlage relativ zur Oberflächenfür die Beurteilung
von Sedimentation oder Erosion von Bedeutung war. Hierfür erwiesen sich künstliche "Leithorizonte" aus feinem Sand, der mit
Uranin präpariert war, als günstig. Der unter ultraviolettem
Licht stark fluoreszierende Farbstoff macht Sedimentationsvorgänge zwischen zwei Probenentnahmen deutlich, bleibt jedoch bei
Erosion naturgemäß unwirksam.

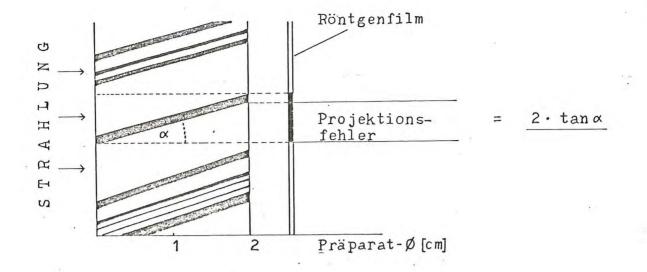
Für die Untersuchung der empfindlichen Wattoberfläche auf biogene oder sedimentologische Feinstrukturen wurden "Ministechkästen" in der Größenordnung einer Streichholzschachtel eingesetzt, welche direkt an den Meßpunkten zusammen mit der eingeschlossenen Wattprobe in flüssiger Luft (-193°C) schockgefroren wurden.

Im Labor wurden von den Stechkästen bis max. 2 cm dicke Profilpräparate über die ganze Kastenbreite angefertigt. Diese wurden in einem speziell entwickelten Röntgengerät mit 30 kV über einer Photoplatte bestrahlt. Die Röntgenaufnahme zeigt die Projektion von biologischen und sedimentologischen Informationen des Präparats auf die Photoebene.

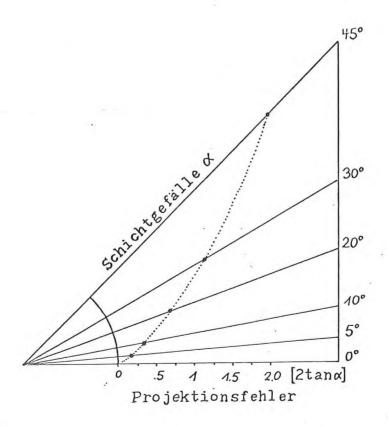
Wichtig bei dieser Betrachtung sind Überlegungen, in wie weit diese Projektionen der sedimentologischen Strukturen verfälschend wirken können, wenn ausgeprägte Schrägschichtungskörper in einer Probenahme erfaßt werden. Das Röntgenbild wird in diesen Fällen nicht die wahre Mächtigkeit der Schicht darstellen, sondern eine größere vortäuschen. Dieser Fehler ist hoch bei Horizonten geringer Mächtigkeit, wobei zusätzlich die optische Auflösung gegen benachbarte Schichten beeinträchtigt wird (Abb. 42).

Aus der Abbildung 43 ist ersichtlich, daß mit zunehmender Schichtneigung der Projektionsfehler exponentiell wächst. Hohe Schichtneigungen können z. B. bei Ablagerungen an Priel-Gleithängen auftreten, sind jedoch als mögliche Sedimentationsform für die Testfelder nicht wahrscheinlich. Winkelmessungen an den Präparaten ergaben, daß die Schichtfolgen in einer Projektionsmächtigkeit von max. 2 cm keine bedenklichen Einfallswerte erreichten und somit der Projektionsfehler vernachlässigt werden konnte.

Anhand unterschiedlicher Grautöne, welche direkt mit der Korngrößenverteilung und dem Wassergehalt eines Schichthorizonts in Beziehung stehen, konnte das Röntgennegativ sofort auf einem Leuchttisch ausgewertet werden. Feinkörnigere Sedimente



АЬЬ. 42



АЬЬ. 43

wurden aufgrund ihres relativ höheren Wassergehalts dunkler, Schichten mit zunehmendem Grobanteil heller abgebildet.

Versuche, sedimentologische Strukturen über Härtung der Wattprobe mit Kunststoffen oder Paraffin besser zu beschreiben,
verliefen unbefriedigend, da bei Proben mit hohem Feinanteil
durch den Trocknungsvorgang Schrumpfungserscheinungen und damit starke Gefügestörungen nicht zu verhindern waren. Dagegen
erwies sich die Auswertung von Radiographien in Verbindung mit
der direkten Präparat≰ansprache als effektiv und sinnvoll.

Die schon in den "Ministechkästen" im Gelände schockgefrorenen Oberflächenproben wurden im Labor in einem speziellen Verfahren bei extrem niedrigen Drucken evaporiert. Dabei wurde ihnen das gefrorene "Porenwasser" durch direkten Übergang der Eisphase in die Dampfphase entzogen. Biologische und sedimentologische Feinstrukturen bleiben bei dieser: Gefriertrocknung erhalten.

Die Trockenprobe wurde mit Kunststoff getränkt und im Trockenschrank gehärtet. Die Dünnschliffe für die Untersuchung der Proben sind erst teilweise angefertigt und bearbeitet.

### 9.3 Auswertung der Radiographien

Die Auswertung der Radiographien erfolgte nach einem System, das eine Parallelisierung der wichtigsten Parameter im Sedimentgefüge und der Faunenverteilung über die gesamte Zeitspanne der Probenahme ermöglichte. Wichtigster Parameter war die Einstufung der Grautöne auf dem Röntgennegativ. Da es sich hierbei um eine subjektive Beurteilung der Farbkontraste handelte, mußte zur Identifizierung eines Schichtmaterials auch die Direktansprache des Profils aus dem Stechkasten herangezogen werden. Es zeigte sich deutlich, daß schlickige Partien hierbei stark durch ihren Oberflächenglanz hervortraten, der für

feinkörnige Materialien mit hohem Wassergehalt typisch ist.

Der Parameter "glänzend" für die Präparatoberfläche korrelierte gut mit einer intensiven dunklen Grautönung auf dem Röntgenfilm, während mehr sandigere Partien je nach Korngröße durch mittelgraue bis hellgraue Abstufungen zu erkennen waren. Sie entsprechen den Parametern "mattglänzend" bzw. "mattstumpf" aus der Direktansprache für Bereiche mit geringerem Wassergehalt.

Nur auf diese Weise war es möglich, eine Verlagerung von Leithorizonten im Profil relativ zur Oberfläche über einen längeren Untersuchungszeitraum zu verfolgen und Aussagen über Sedimentations- und Erosionsvorgänge zu machen. Das Identifizierungsverfahren der Grautöne reichte bei Meßpunkt 54 aus, um eine Aufschlickung durch meßbare Größen zu erfassen. Bei den Punkten 52 und 53 mußten für eine Parallelisierung zusätzliche Parameter, wie kleinräumige Wechsellagerungen, Laminationen u. a., herangezogen werden, da eine deutliche Trennung von Grautönen durch sehr homogenes Sediment bei Meßpunkt 52 (Sandwatt) erschwert wurde. Bei Station 53 traten zusätzliche Schwierigkeiten durch kleinräumige Faziesänderung im Testfeld auf, die aber durch Berücksichtigung anderer Parameter gelöst wurden.

#### Erlüuterung der Parameter

homogen	Horizont im Liegenden und Hangendem gut
	durch einheitliches Material unterscheidbar
wechselgelagert	Horizont zeigtkleinräumig (mm-Bereich)
	Wechsellagerungen von dunkleren und
	helleren Sedimentbändern
vollständig	Horizont ist auf ganzer Profilbreite erhalten
Linsen	kleinräumiger Sedimentkörper ohne Schicht- verbund
Relikte	Überreste eines durch Bioturbation zer-
	störten Schichtgefüges
Turb. Wolken	durch Bioturbation hervorgerufene wolken-
10/12	förmige Turbulenzen
Laminationen	Fließgefüge
Cardium wenig	bis zu 2 Cardien auf 2 cm Profiltiefe
mittel	3 - 5 Cardien "
stark	6 und mehr Cardien
Hydrobia wenig	vereinzelte Exemplare
mittel	Anreicherung von etwa 3 Exemplaren / cm²
	Projektionsfläche
stark	starke Anhäufung etwa 10 / cm <sup>2</sup> in Schicht-
	horizonten(oder Nestern- gestrichelt markiert!
Schillbruch	zerkleinerte Kuschelbruchstücke

Auf die Erläuterung der von vornherein einsichtigen Parameter oder zuvor schon beschriebenen wurde verzichtet. Die Präparatnummer setzt sich zusammen aus der Mr. des Meßpunktes, z.B. 54, der Probennummer /1-4 (Abstand etwa 7 Wochen) und der Orientierung der Profilbreitseite Richtung M oder W. z.B. 54/1 M.

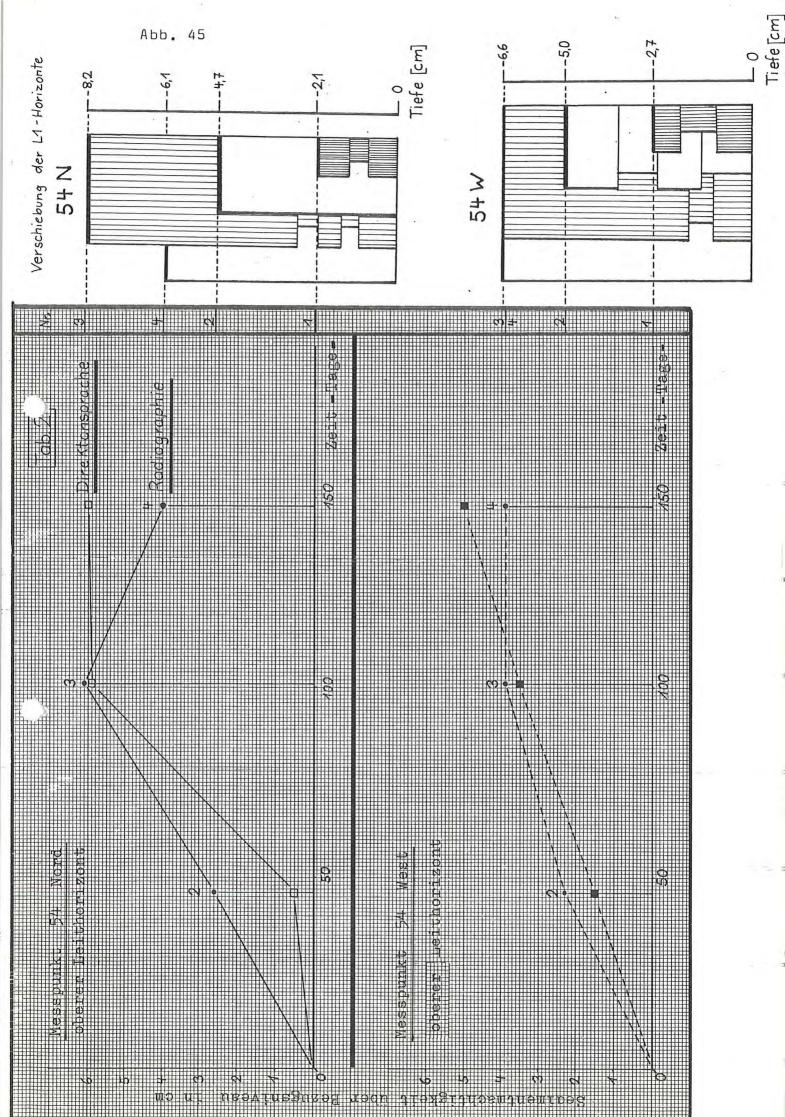
#### Meßpunkt 54

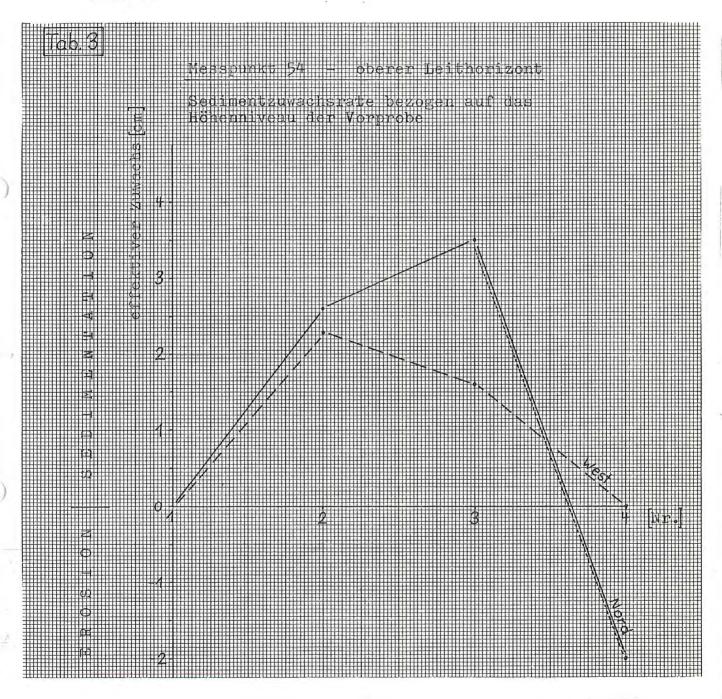
Für die Beschreibung der Sedimentationsvorgänge wurden zuerst die Stechkästen verwendet, die in ost-westlicher Orientierung entnommen worden waren, da hierbei der tendenzielle Ablauf der Sedimentation gut zu beobachten war. Die Nord-Süd orientierten Proben differierten leicht in ihren beobachtbaren Sedimentations-raten. Für die generelle Sedimentationstendenz jedoch sind sie durchaus gut mit den westlich orientierten Stechkästen zu vergleichen.

#### 1. Probenahme (21.05.80)

Grundlage der Betrachtung ist ein Leithorizont, der die Basis einer Schlicklage von der Oberfläche bis in 2,7 cm Tiefe bildet. (Abb. 44 bis 49). Dieser Horizont läßt sich sowohl in der radiographischen Aufnahme als auch in der Direkt-Ansprache vom Stechkasten aus gut verfolgen. Die Schlickschicht ist schwarz glänzend und von braun-grauer Farbe. Geringmächtige stumpfe Bänder weisen auf Einlagerung von mehr sandigem Material hin. Im Liegenden schließt sich ein schwarz-stumpf-sandiger Bereich an. (Einzelheiten sind der Parameterauflistung Abb. 49 zu entnehmen.)

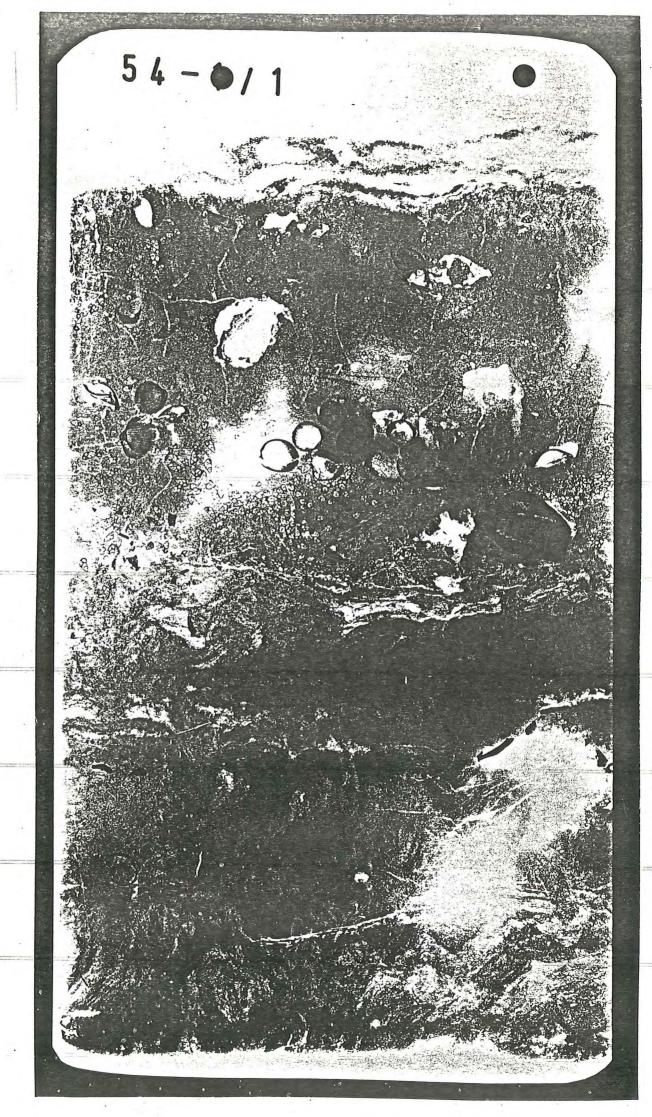
Die Basis dieses Bereichs hebt sich von dem liegenden, mattglänzenden Schichtkörper ab, der als "Kontrollhorizont" bei Verlagerungserscheinungen ausgewählt wurde. Von 14 bis 16,5 cm Tiefe
ist eine Sandlage mit unregelmäßigen Grenzen sichtbar, an die
sich eine Schicht aus sandig-schlickig turbiertem Material anschließt. Die Radiographie differenziert den letzteren Bereich
als deutliche Wechsellagen von schlickigen und sandigen Schichten, die erst bei 20,5 cm in eine homogenere Schlicklage übergehen. Die Profilaufnahme in Ost-West-Richtung zeigt die gleichen
Schichtabstufungen mit Differenzen im mm-Bereich.



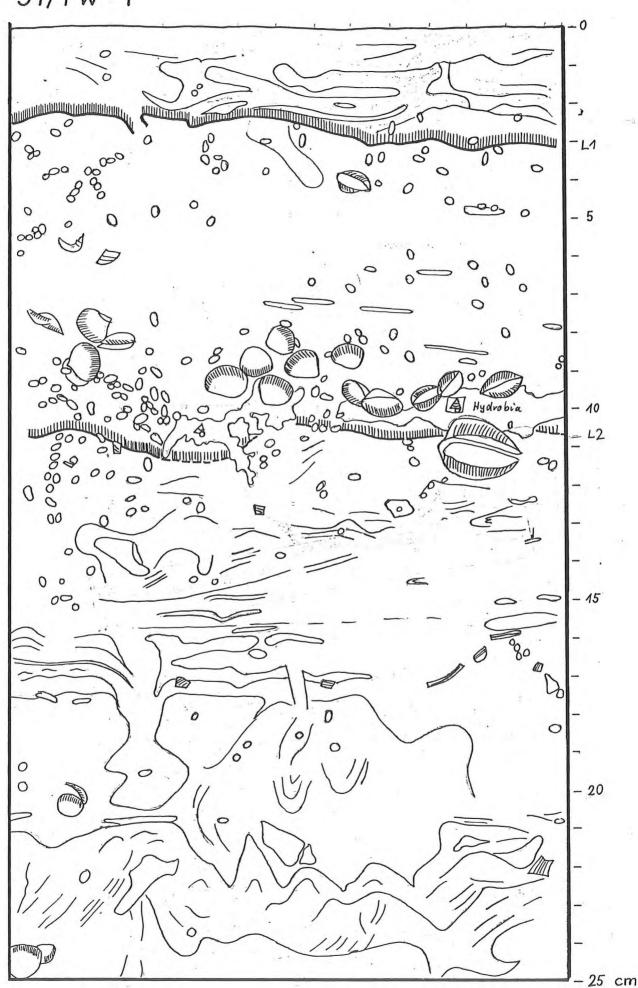


54/1 W

Abb. 47



54/1 W-1



Nr.	54/1W-1	0	5	10	15	20 cm Tiefe
Präparat	Lebensspuren C/My/Mac/A/H Farbe mattstumpf mattglänzend glänzend			Schill		
=	Schichtung dkl. grau mittel grau hell grau hell					
PHIE edimentgefüge	biog. unterbr. biog. verwühlt biog. verformt leicht mittel					
S	stark Relikte Turb. Wolken Laminationen	_	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
puren	Wurmgänge Sack. Trichter Fluchtspuren	1		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		
Fauna Sp	Cardium wenig	-	_		*	
	Hydrobia wng.					
	Mya arenaria Macoma balt. Littorina Schillbruch			u		

#### 2. Probenahme nach 46 Tagen (06.07.1980)

Verschiebung des 1. Leithorizonts in 5.0 cm Tiefe (Abb. 44 bis 46). Der absolute Aufschlickungsbetrag liegt bei etwa 2,3 cm. Gleichzeitig verändert sich der Kontrollhorizont L2 von 10,7 auf 13,2 cm Tiefe. Das geregelte Interngefüge von schlickigsandigen Wechsellagen ist durch zunehmende Bioturbation verwischt-oder zerstört. In einer Tiefe von 3 bis 10 cm ist eine Zunahme der Konzentration vornehmlich junger Cardien zu beobachten. Diese Anhäufung rel. zur Vorprobe kann zufällig sein, sie könnte aber auch in Verbindung mit anderer Wattfauna auf eine Zunahme der biogenen Aktivität hinweisen. Die Umarbeitung des Sediments geschieht durch Fluchtspuren von Muscheln oder durch Freßvorgänge der beteiligten Organismen. Auch der 2. Leithorizont zeigt Internverwühlung mit Einarbeitung von schlickigem Material in die hangende Sandschicht. Für den Sedimentzuwachs ergeben sich für die N-S orientierten Proben und aus der Direktansprache des Sediments nur mm Unterschiede.

# 3. Probenahme nach 101 Tagen (01.09.1980)

L1 verschiebt sich von 5,0 auf 6,6 cm Tiefe mit einer effektiven Schlicksedimentation von 1,6 cm (Abb. 44 bis 46). Gleichzeitig weist die N-S ausgerichtete Probe einen Zuwachs von 3,5 cm auf.

Für Wattgebiete ist eine leichte Morphologie nichts Ungewöhnliches. Wahrscheinlich wurde bei der Probenentnahme ein Wattbereich angetroffen, der geringe Mächtigkeitsdifferenzen des liegenden Sandkörpers aufweist. Unebenheiten werden durch die i. d. R. horizontale Schlickablagerung abgeschwächt oder ausgeglichen, wobei als Folgeerscheinung die lokale Schlickmächtigkeit varieren kann. Da kleinräumig gesehen nicht nachweisbar ist, bei welcher der beiden Proben die Höhen- oder auch Tiefenanomalie auftrat, ist durch die Zuwachswerte die obere und untere Grenze der Schlicksedimentation gegeben.

Das Schlickmaterial weist starke Wühltätigkeit auf und wird an der Basis zunehmend in die oberen Bereiche des liegenden Sand-körpers einturbiert. Unmittelbar unter der Oberfläche sind junge Cardien abgebildet, deren Spuren im Sediment als Schichtdurchbrüche sichtbar sind. Der untere Leithorizont zeigt wiederum Ausbrüche von 'Sedimentwolken" in den hangenden Schichtkörper mit Verwühlungen von Arenicola und Nereiden. Lebende Cardien fehlen in diesem Tiefenbereich. Sie sind als Suspensionsfiltrierer mehr in den oberen Bereichen anzutreffen.

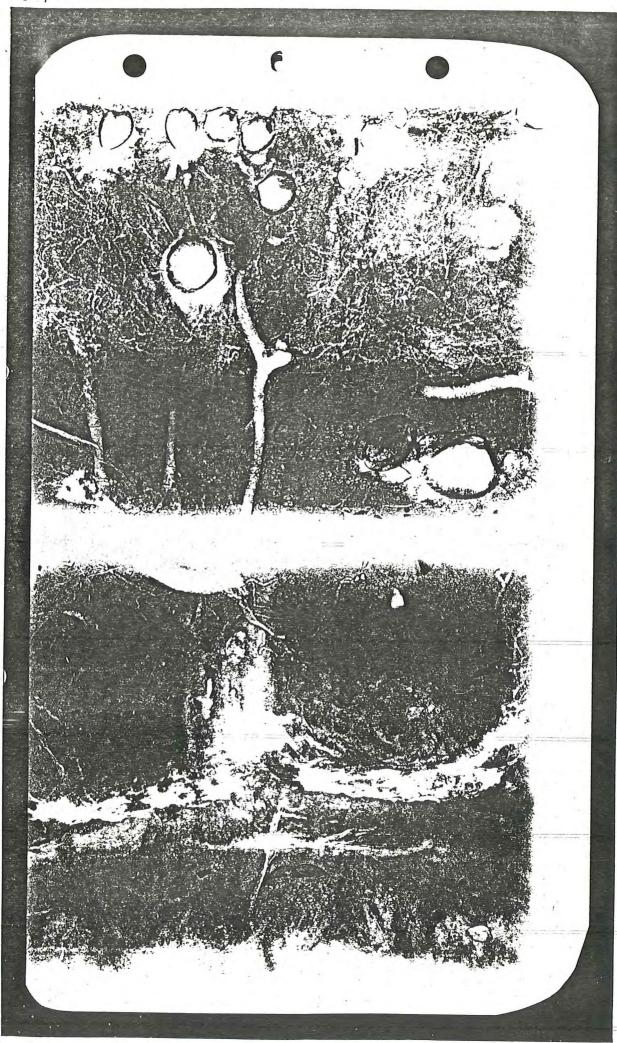
# 4. Probenahme nach 148 Tagen (18.10.1980)

Bei der Radiographieauswertung stagniert die Tiefenlage des 1. Leithorizonts bei 6,6 cm, die Direktansprache weist noch auf schwache Sedimentation hin. (Abb. 44 bis 46, 50 bis 52) Für die N-S ausgerichtete Probe ist sogar eine Abnahme der Schlickauflage festzustellen. Da Erosionserscheinungen weder bei Feldbeobachtungen noch bei der Analyse nachweisbar waren, sind morphologische Gründe für diese Erscheinung anzunehmen. Unter Voraussetzung einer Verallgemeinerung der Probedaten für das Testfeld hat sich die Wattfläche stabilisiert. Möglicherweise ist dies durch nachlassende biogene Aktivität zu erklären, wenn man annimmt, daß die Schlickfällung bisher stark durch die Wattfauna beeinflußt wurde.

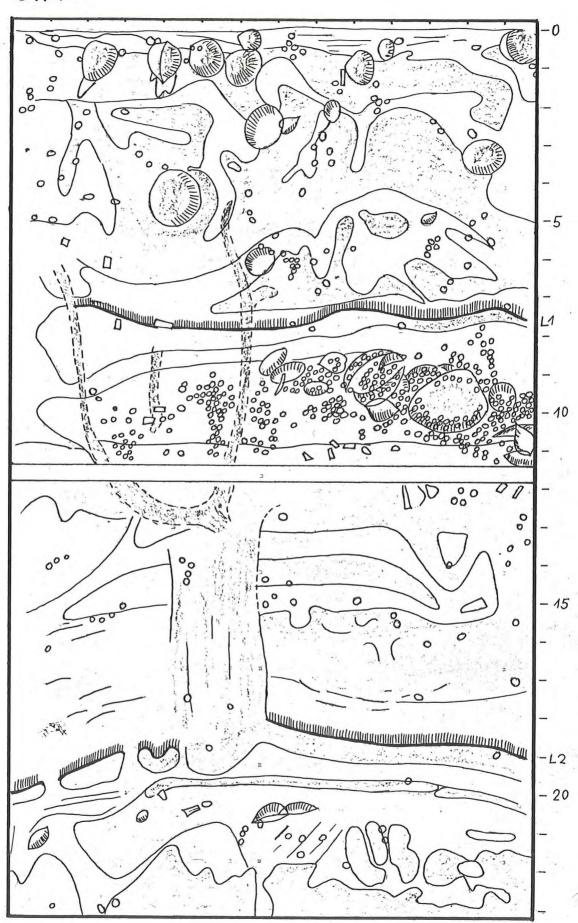
Dem steht jedoch die fortdauernde Anreicherung von jungen Cardien unter der Schlickoberfläche gegenüber. Durch Aufnahme von Suspension und Ausscheidung von Kotpillen sind sie einer der wichtigsten Schlicklieferanten bei der organischen Schlickfällung.

Andererseits fällt auf, daß zum ersten Mal die Oberflächenstruktur der ersten 6 mm ein feines Laminationsgefüge unter Einschluß von etwas hellerem, sandigem Material einschließt. Dieses Gefüge trat bei den drei zuvor betrachteten Stechkastenprofilen nicht auf und weist auf stärkere Wasserbewegung bzw. höhere Strömungsgeschwindigkeiten (Sandtransport) hin. Möglicherweise sind die

АЬЬ. 50



54/4 W



Nr.	54/4W	0	5	77.5	- 10		15		20	cm Tiefe
Präparat	Lebensspuren C/My/Mac/A/H Farbe mattstumpf mattglänzend glänzend									
	Schichtung dkl. grau mittel grau hell grau hell homogen					Н	16.			
imentgefüge	wechselgelag. vollständig Linsen biog. unterbr. biog. verwühlt biog. verformt leicht mittel							u u	_	
ed h				*		e-		n n		1 · gr -
5	Relikte Turb. Wolken Laminationen							÷	-	
puren	Wurmgänge Sack. Trichter Fluchtspuren					.——	****			
H R	Cardium wenig mittel stark									
Fauna	Hydrobia wng. mittel stark Mya arenaria					5		ž.		
	Macoma balt. Littorina Schillbruch									4

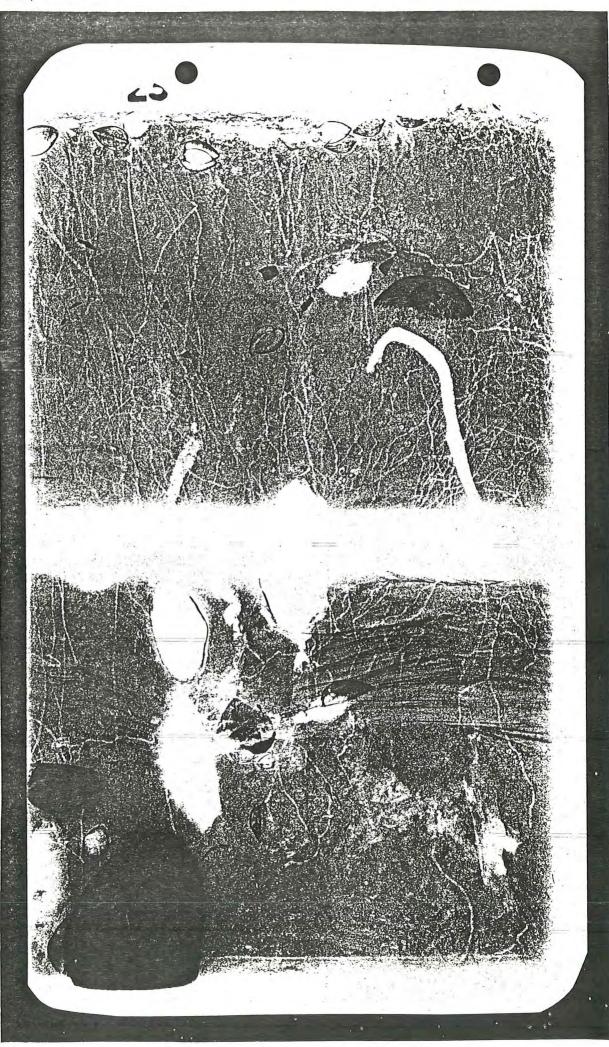
zum Herbst (4. Probenahme am 18. Oktober) häufiger auftretenden unruhigen Wetterlagen mit verantwortlich für eine Stagnation der Schlickfällung, ja sogar für Erosionserscheinungen in Gebieten mit hoher Sedimentationsrate.

Zusammenfassende Betrachtung der Beobachtungen am Meßpunkt 54 Für den Meßpunkt 54 ist im Beobachtungszeitraum während der Sommermonate eine kontinuierliche Schlicksedimentation festzustellen. Die Annahme liegt nahe, daß es sich bei der wechselnden Sedimentation von Schlick und mehr sandig beeinflußten Ablagerungen um jahreszeitlich bedingte Abfolgen handelt. Sie sind in der Zusammensetzung abhängig von biogener Schlickbindung und der jeweiligen Wetterlage.

Die Biokurve steigt in den Sommermonaten stark an. Gleichzeitig ist eine stetige Zunahme der Schlicksedimentation zu beobachten, die zusätzlich durch die im Sommer ruhigeren Wetterlagen begünstigt wird. Mit Abnahme der Bioaktivität flacht auch im Herbst die intensive Schlickfällung ab und geht in den Wintermonaten über in ein Ablagerungsmaterial, das wesentlich sandiger ist. Ob es sich bei den feinkörnigen Bestandteilen dieser Sedimente um rein anorganische Ablagerungen handelt, werden die Auswertungen der Dünnschliffe erweisen.

#### Meßpunkt 53

Der Meßpunkt befindet sich innerhalb des Schlicksandbereichs. Bis in eine Tiefe von etwa 10 cm liegen Wechsellagerungen von dunklen schlickigen Sedimenten und hellen Sanden mit Mächtigkeiten von 0,5 bis 3 cm vor. Unterhalb schließt sich ein Sedimentkörper an, in dem die erwähnten Wechselschichtungen in einem deutlichen Übergang durch Gezeitenschichtung mit mm- Wechsellagerungen von optisch dunklen und hellen Schichten ersetzt werden. Die feinen Sandbänder zeigen Strömungsschichtung mit



Laminationsgefüge. Sie sind eine deutliche Gefügemarke innerhalb des Profils und lassen sich im gesamten Untersuchungszeitraum gut verfolgen. Obwohl sich die deutliche Wechselschichtung
im oberen Bereich für die Festlegung von Leitschichten eigentlich anbot, konnten überraschenderweise keine Schichtglieder
bestimmt werden, die in allen Profilen eindeutig wiedererkennbar waren.

Der durch Gezeitenschichtung charakterisierte Schichtkörper hat eine Mächtigkeit von etwa 8 cm mit einer Basistiefe um 18 cm (Ge 2).

#### 1. Probenahme (21.05.80)

Der top der Gezeitenschichtung (Ge 1) liegt in 12,0, Ge 2 in 20,6 cm Tiefe (Abb. 53 bis 55). Oberhalb von Ge 1 sind die Gefügestrukturen kontrastreich erhalten. Die Schichten sind annähernd horizontal gelagert und weisen keine Strömungsmerkmale auf. Sie sind durch Wühltätigkeit mittel bis stark turbiert. In den tiefer gelegenen Umbiegungszonen der Freßbauten von Arenicola sind Muschelschill und Hydrobien angereichert. Bis in 8 cm Tiefe sind junge, lebende Cardien vorhanden. Im unteren Teil des Gezeitenbereichs ist Schill eingelagert.

# 2. Probenahme (06.07.80)

Sie ergibt eine deutliche Verschiebung des Gezeitenkörpers zur Wattoberfläche hin (Abb. 53). Die Abnahme liegt für Ge 1 bei 2 cm, für Ge 2 bei 3 cm. Der vorher gut in dunkle und helle Lagen untergliederte Bereich oberhalb von Ge 1 zeigt jetzt undeutliche Schichtstrukturen, Kontraste sind kaum noch vorhanden. Lebende Cardien sind nur noch in den ersten 3 cm anzutreffen.

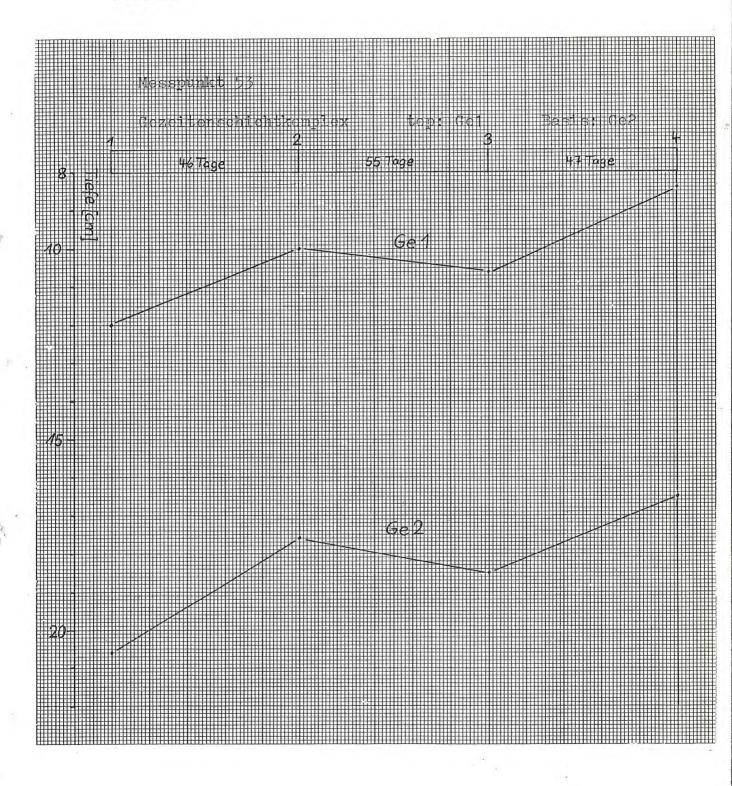
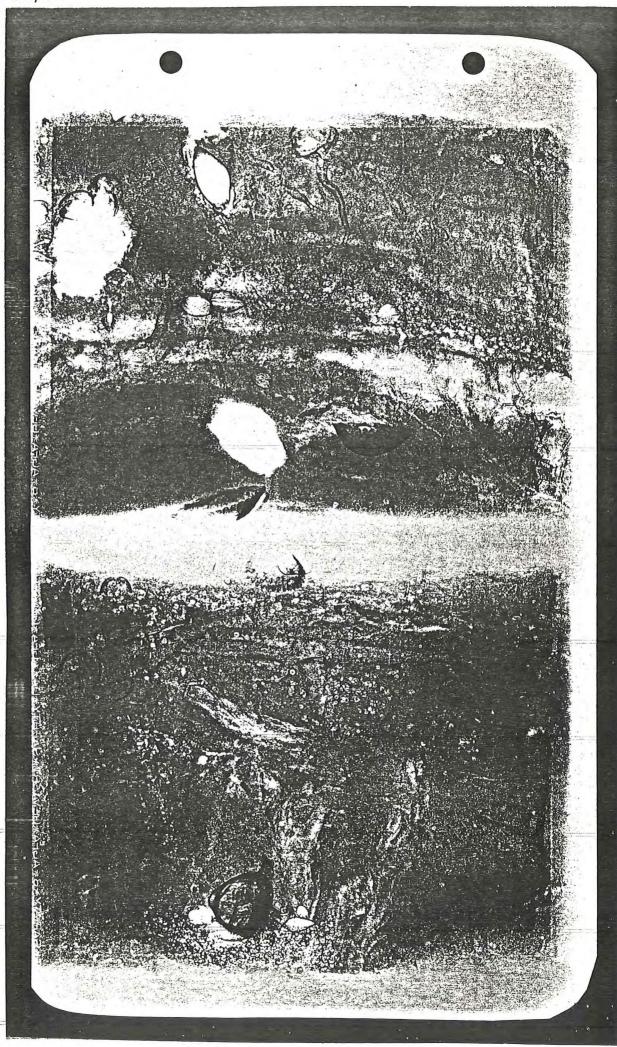


Abb. 54



Nr.	53/1W	0 5	10	1:	5 20	cm Tiefe
Präparat	Lebensspuren C/My/Mac/A/H Farbe mattstumpf mattglänzend glänzend					
üße	Schichtung dkl. grau mittel grau hell grau hell homogen wechselgelag. vollständig					
GRAPHIE Sedimentgefüge	Linsen biog. unterbr. biog. verwühlt biog. verformt leicht mittel stark Relikte Turb. Wolken Laminationen		<del></del>			
D I O					1	
R A Buna S	Cardium wenig mittel stark					
84	mittel stark Mya arenaria Macoma balt. Littorina Schillbruch					

#### 3. Probenahme (01.09.80)

Beide Leithorizonte haben sich nur unwesentlich verlagert (Abb. 53). Innerhalb der Meßgenauigkeit ist aus dieser Probe eine Stabilität der bisherigen Sedimentmächtigkeit oberhalb von Ge 1 ersichtlich.

# 4. Probenahme (18.10.80)

Die Gezeitenschichtkörper verschieben sich relativ nach oben (Abb. 53, 56, 57). Der Erosionsbetrag liegt bei etwa 2 cm. Trotzdem ist die Schlicksandschicht an der Oberfläche gemäß der Präparat- und Radiographiemessung um 0,5 cm auf 2,5 cm Mächtigkeit angewachsen. Langgezogene helle Sandflasern sind eingelagert. Unterhalb ist keine Schichtung zu ermitteln, der Bereich ist sandig und stark turbiert. Der Cardienschill ist nicht parallel orientiert, sondern regellos abgelagert worden, wahrscheinlich gemeinsamer Schill-Sand-Transport bei stärkerer Strömung.

Das Sedimentbild der Vorprobe wird im Wesentlichen bestätigt. In etwa 7 cm Tiefe ist ein heller Strömungshorizont mit gröberer Sandfraktion gut ersichtlich, ober- und unterhalb Ansätze von Rippelschichtung. Die in Probe 2 von der Oberfläche bis in 3 cm tief reichende schlicksandige Schicht hat sich auf 1,5 cm Mächtigkeit reduziert. Dies kann faziesbedingt sein und muß keine Erosion bedeuten. Unterhalb der Schlicksandlage sind feine Laminationsstrukturen erkennbar. Die Präparatansprache bestätigt die Tiefenlage der mattglänzenden Schlicksandschicht. Darunter liegt eine helle Sandschicht. Zwischen 2 und 19,5 cm Tiefe ist durch starke Bioturbation kein Schichtgefüge mehr erkennbar. Die Ergebnisse zeigen demnach eine völlige Abkehr von gleichmäßiger schlickig-sandiger Sedimentation von Probe 1 in unruhigere Ablagerungsphasen mit sandigem Sedimentbild.

Nr.	53/4W	0	5	10	15	20 cm Tiefe
Präparat	Lebensspuren C/My/Mac/A/H Farbe mattstumpf mattglänzend glänzend					
	Schichtung dkl. grau mittel grau hell grau hell					
Lüg	homogen wechselgelag. vollständig Linsen biog. unterbr. biog. verwühlt biog. verformt leicht mittel			-		
P H I E		til				
G R A	stark Relikte Turb. Wolken Laminationen	-				
A D I O Spuren	Wurmgänge	-				/
R A Sp	Cardium wenig				7	
Faun	Hydrobia wng mittel stark					,
	Mya arenaria Macoma balt. Littorina Schillbruch					

Zusammenfassende Betrachtung der Beobachtungen am Meßpunkt 53

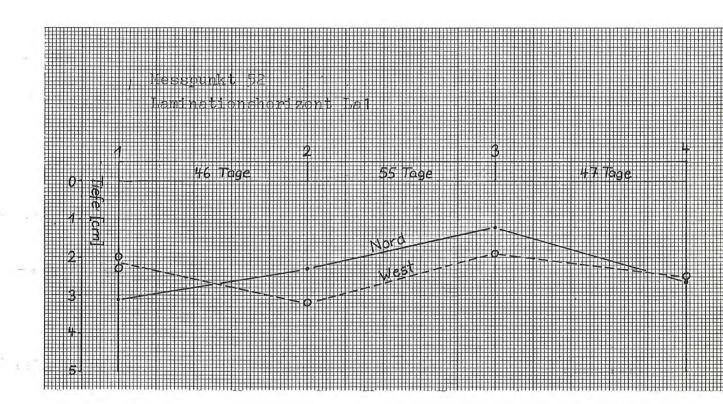
Die Schwierigkeit einer Gesamtbeurteilung der Sedimentation für den Schlicksandbereich wird deutlich durch die in Probe 4 sich widersprechenden Sedimentationsparameter.

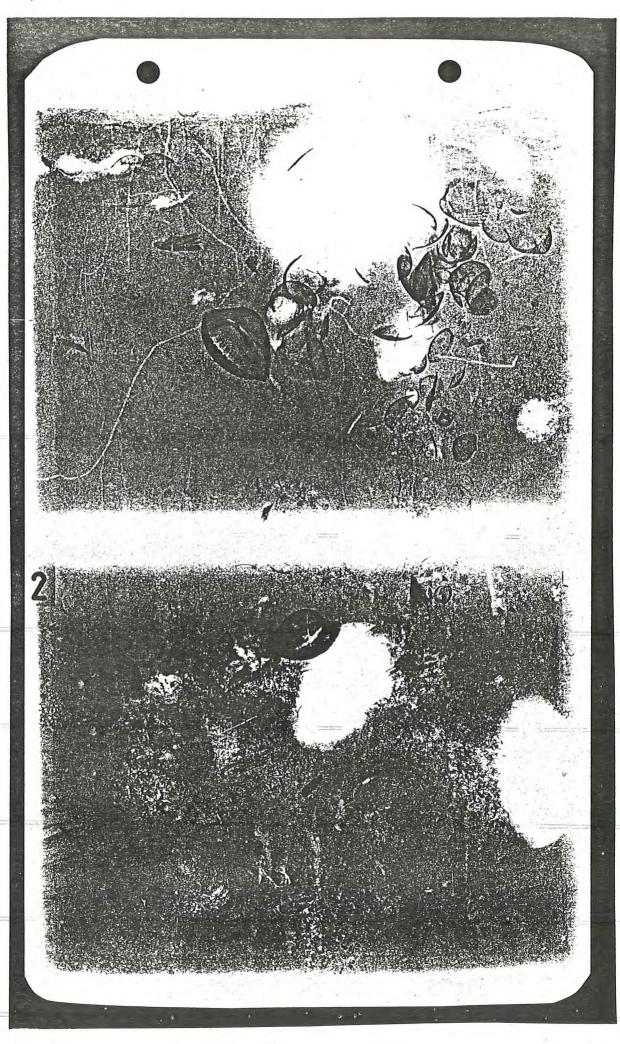
Einerseits verlagern sich für alle Profile typische Schichteinheiten relativ nach oben, also Sedimentabnahme, andererseits
wächst die Mächtigkeit der obersten Schlicksandlage um 0,5 auf
2,5 cm. Für Probe 3 ist demnach eine leichte Sedimentation
(Schlicksand!) anzunehmen, für Probe 4 ist sie gesichert, wie
eine Uranin-Sandlage, die nach der 3. Probenahme ausgelegt wurde, in 0,5 bis 1 cm Tiefe beweist.

Wenn sich trotz Ablagerungstendenzen deutliche Leithorizonte nach oben verlagern, kann dies ein Zeichen sein für lokale Unterschiede in der Schichttiefenverteilung, etwa durch überdeckte Morphologie, deren Niveauunterschied nur wenige cm zu betragen braucht. Hierdurch wird eine zeitbedingte Verlagerung von Schichten vorgetäuscht. Sind die Höhenunterschiede größer als die jeweiligen Sedimentations— oder Erosionsbeträge, so lassen sich mangels fester Bezugsgrößen nur schwer Aussagen über das Ablagerungsverhalten machen. Insgesamt gesehen ist aufgrund der geringen Unterschiede zwischen Materialverlust und Materialgewinn im Schlicksandbereich die Aussage zu vertreten, daß während des Beobachtungszeitraums keine wesentlichen Sedimenteinbußen eintraten und die Wattfläche im Rahmen der Meßgenauigkeit als stabil anzusehen ist.

#### Meßpunkt 52

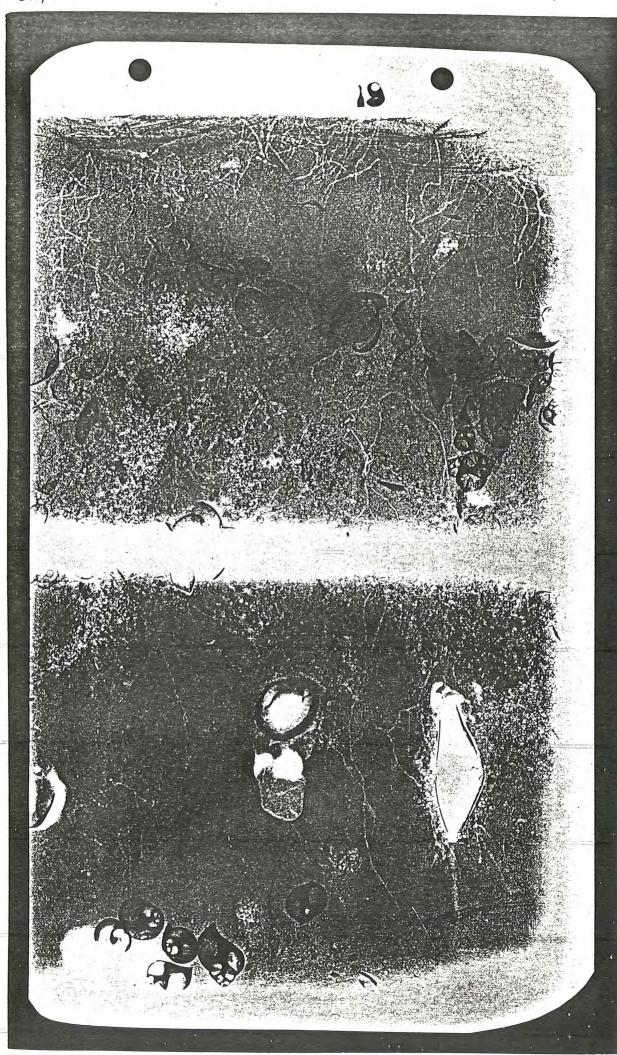
Die Stechkastenproben zeichnen sich alle durch sehr ähnliche Gefügestrukturen aus, die aus sandigen Sedimenten aufgebaut sind (Abb. 58 bis 62). 3 sedimentologische Einheiten sind zu unterscheiden. Der erste Bereich ist geprägt durch laminiertes





Nr.	52/1W-1	0	5	10	15	20 cm Tiefe
Präparat	Lebensspuren C/My/Mac/A/H Farbe mattstumpf mattglänzend glänzend	ı				
	Schichtung dkl. grau mittel grau hell grau hell					
edimentgefüge	biog. unterbr. biog. verwühlt biog. verformt leicht mittel					
S	stark Relikte Turb. Wolken Laminationen					
puren	Wurmgänge Sack. Trichter Fluchtspuren					
Fauna SI	Cardium wenig mittel stark Hydrobia wng. mittel stark Mya arenaria Macoma balt. Littorina Schillbruch					

Abb. 61



Nr.	52/4W	0	5	10	15	20 cm Tiefe
Präparat	Lebensspuren C/My/Mac/A/H Farbe mattstumpf mattglänzend glänzend					
	Schichtung dkl. grau mittel grau hell grau hell					
sefüge	homogen wechselgelag. vollständig Linsen biog. unterbr. biog. verwühlt biog. verformt leicht mittel stark Relikte Turb. Wolken Laminationen Wurmgänge Sack. Trichter Fluchtspuren					
P H I E						
G R A						
D I O				······································	·········· /	
RAS						
Fauna		1				
	Mya arenaria Macoma balt. Littorina Schillbruch					

Rippelgefüge mit deutlichen Wechsellagerungen von gröberem und feinerem Material der Sandfraktion. Die Direktansprache weist sie als braun-graue, helle Sandschicht (Oxidations-Bereich) bis in 3,5 cm Tiefe aus. Darunter schließt sich ein etwa 15 cm mächtiger strukturloser Sandkörper an. Die radiographischen Aufnahmen zeigen einen intensiv turbierten Schichtkomplex, der durchsetzt ist von Wurmgängen und Fluchtspuren von Mya arenaria und Cardium edule.

In den Sackungstrichtern der Wühlfauna reichert sich oft Schill von Hydrobien ("Nester") und Muscheln an. In der Sedimentansprache sind zungenförmig nach unten gezogene Sandkörper und wolkig turbierte dunkle bie mittelgraue Sande deutlich.

Aus dem Oxidationsbereich der Oberfläche in die Freßgänge nachgesackter Sand tritt im Profilanschnitt durch seine relativ zur schwarz reduzierten Umgebung hellere Farbe und kreis- und ellipsenförmige Anschnitte hervor.

In einer Tiefe von etwa 18 cm folgt wieder ein Gefüge, das auffallend ähnliche Strukturen aufweist, wie das schräggeschichtete Rippelmuster des oberen Horizontes. Durch Wühltätigkeit aufgelockert sind jedoch nur noch Schichtrelikte vorhanden. Als Leithorizont wurde die Basis des oberen Laminationskörpers in 3,5 cm Tiefe herangezogen. Kontrollhorizont ist die Obergrenze des zweiten Laminationskörpers in 18 cm Tiefe.

Gegenüber den sehr echr ebenen Ablagerungen am Meßpunkt 54 unterliegt Meßpunkt 52 leichten Höhenunterschieden. Die Tiefendifferenz der zeitlich parallel abgelagerten Sedimente liegt bei 1 cm. Dieser Schwankungsbereich setzt sich auch für die weiteren Proben fort. Hinsichtlich dessen sind für den Meßpunkt weniger die absoluten numerischen Sedimentzuwachs oder -abnahmenwerte als vielmehr die Tendenz der Entwicklung für die Beurteilung des Ablagerungsverhaltens von Bedeutung. Die ausgeglichene Tendenz weist auf ein stabiles Sandwatt, das in den Sommermonaten nur geringen Materialschwankungen unterworfen ist. Die ruhigen Wetterlagen im Beobachtungszeitraum ließen einen

stärkeren Sandtransport nicht zu. Sedimentbewegungen größeren Ausmaßes werden bei stürmischen Wetterlagen, z. B. in den Wintermonaten zu erwarten sein.

### 9.4 Auswertung von Dünnschliffen

Wattprobenentnahmen im Schlickbereich mittels "Ministechkästen" ermöglichen die Anfertigung von Dünnschliffen von ausgestochenen ungestörten Profilkörpern bis in 5 cm Tiefe. Die Untersuchung wurde notwendig, um den sedimentologischen Feinaufbau der Wattoberfläche bis in geringe Tiefe aufzuschlüsseln und weitere Auskünfte über Struktur und Mechanismus von organischer und anorganischer Schlickfällung zu erhalten.

Die Proben wurden direkt nach der Entnahme bei -180°C schockgefroren, im Labor evaporiert, gehärtet und dünngeschliffen.
Schon makroskopisch ist eine massenhafte Anhäufung von dunkel
erscheinenden "pellets" vor allem in der Umgebung junger Cardien
und Nereiden festzustellen. Der longitudinale Durchmesser der
Cardien schwankt von 8 bis 10 mm bei 0,3 mm Schalendicke. Durch
die Schockgefrierung sind sie im Sediment in Lebendstellung
erhalten, die interne Zellstruktur des Weichkörpers ist teilweise bewahrt. Auf eine Länge von 4 bis 10 mm sind Wurmgänge angeschnitten, in denen noch Weichteile von Nereiden liegen. Unterhalb der Wattoberfläche ist ein etwa 3 mm mächtiges hell
sandiges Sedimentband abgelagert. Durch feine Sedimentsackungen
im mm-Bereich unterhalb ist es leicht gewellt und abgeschert.
Weitere Gefügestrukturen sind durch die biogenen Anteile überprägt.

Mikroskopisch sind eiförmig gerundete Pillenkörper zu beobachten. Im Kontakt zweier Pillen ist eine optisch klare Hülle, wahrscheinlich ein Schleimmantel, zu sehen, wodurch ein Verschmelzen der Pillen verhindert wird. Ein Beweis für die Her-

kunft der Pellets sind Anschnitte der erhaltenen Weichteile von Cardien und Nereiden. Die unverdaulichen Stoffwechselabfälle werden im Verdauungstrakt der Suspensions- und Sedimentfresser zu Kotpillen zusammengefaßt (Abb. 63, 64, 65).

Im Innern eines Nereis sind diese Kotpillen in ihrer Entstehung und Entwicklung deutlich zu erkennen. Das feine Sediment wird bei der Verdauung zu einer kleinen, flachen Linse, die senkrecht zur Wurmlängsachse verdichtet ist und sich im weiteren Verlauf vergrößert. Die flachen Kotlinsen sind schon im Anfangsstadium durch eine Schleimhaut voneinander getrennt. Dies würde bedeuten, daß die Kotpillen nicht nur mit dem Schleim überzogen, sondern auch durchsetzt sind. Erst am Körperausgang nehmen die Linsen wahrscheinlich durch Körperkontraktion die beschriebene Form an.

Von ihrer Größe ausgehend können im Dünnschliff wenigstens 2 Arten von Kotpillen unterschieden werden:

- 1. 30 bis 60 um mal 30 bis 80 um, also fast kugelig, und
- 2. 120 bis 180 um mal 160 bis 360 um Größe, also länglich gerundet.

Die Herkunft der kugeligen Pellets konnte nicht nachgewiesen werden, sie sind aber mit Sicherheit Stoffwechselprodukte kleinerer Organismen. Offensichtlich ist die Stabilität der Kotpillen abhängig von der schützenden Schleimschicht, die durch ihren hohen Eigenwassergehalt wahrscheinlich im physikalisch und chemischem Gleichgewicht mit dem Porenwasser des Sediments steht. Ist die Schleimhülle noch intakt, reagiert der Kotkörper auf mechanische Beanspruchung mit plastischer Verformung.

Es wurden aber auch Dünnschliffe von Wattproben angefertigt, die schon verschiedenen Arbeitsabläufen unterworfen waren und deren Porenwasser vom Volumen und Chemismus her nicht mehr dem natürlichen entsprach. Hierbei zeigen sich Zerfallerscheinungen von

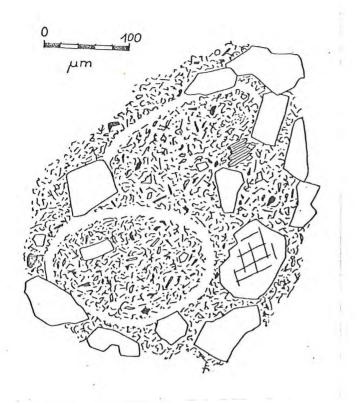


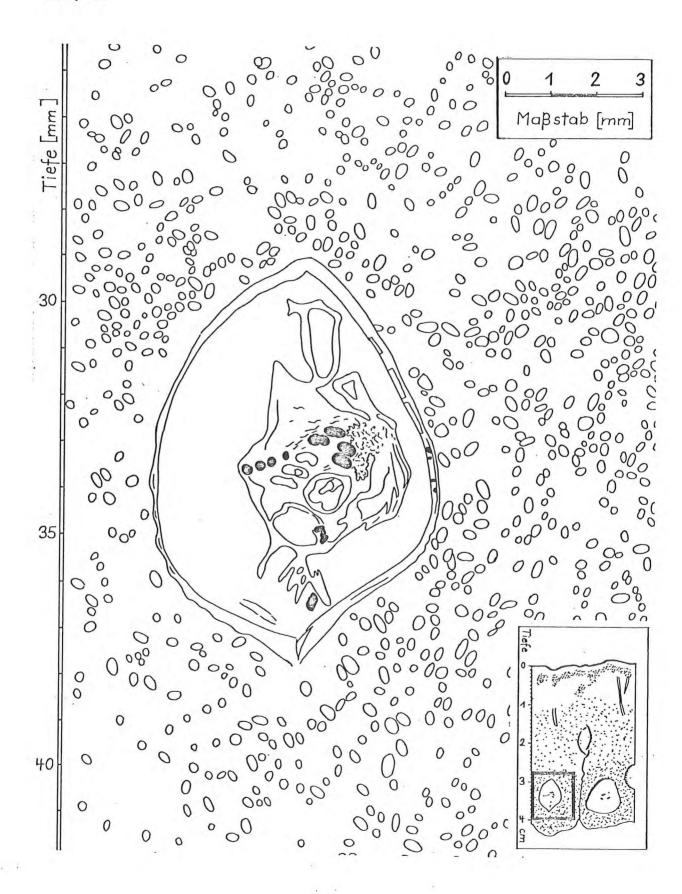
Abb. 63

Feinkristalline Minerale, teilweise stengelig ausgebildet, eingebettet in nichtkristalliner brauner Matrix (wahrscheinlich organische Substanz: org. Fasern, Breite etwa 1 /u)



Abb. 64

Gitterrelikte von Kieselalgen, Schleimhülle optisch klar



Kotpillen nach Auflösung des Schleimbindemittels in und um den Kotkörper herum. Die zuvor in anderen Schliffen einzeln zu beobachtenden Pillen verschmelzen zu einer bräunlich feinkörnigen Matrix, in die vereinzelt noch intakte Pillengefüge eingeschlossen sind. Deren Stabilität ist wahrscheinlich der Wasserspeicherfähigkeit der Matrix zuzuschreiben, die z. B. ein Austrocknen der Schleimhüllen verlangsamen.

# 9.5 Uranin-Fluoreszenz-Untersuchungen

Die Ergebnisse der Uranin-Fluoreszenz-Untersuchungen waren an den einzelnen Meßpunkten sehr unterschiedlich. Am Meßpunkt 52 war der mit Uranin gefärbte Sand als Folge von Erosion nicht mehr nachweisbar. Am Meßpunkt 53 konnte dagegen zwischen den Probenentnahmen 53/3 und 53/4 eine geringe Sedimentation (0,5) cm nachgewiesen werden. Für Position 54 stellte sich eine Durchmengung der Uranin-Sandkörner mit dem Schlicksediment etwa in den ersten 3 cm heraus. In Freßtrichtern und Gängen von Wattwürmern waren sie stellenweise angereichert. Eine Basis mit einem Häufigkeitsmaximum des Uranins innerhalb des Schlickes war nicht festzustellen, so daß eine Aussage über den absoluten numerischen Zuwachswert nicht möglich erscheint. Nachweisbar ist, daß zwischen den letzten Probenentnahmen die beteiligten Organismen Teile der Sedimentoberfläche bis in 3 cm Tiefe vollständig verteilt oder eingearbeitet haben, ein Faktum, das die Auflösung von sedimentologischen Feinstrükturen in biologisch aktiven Wattbereichen erklären hilft.

## 9.6 Auswertung von Paraffingüssen

Zur Verdeutlichung der Gefügemerkmale der Wattprofile und auch als Kontrolle der Kadiographie-Analysen wurden Paraffinwachs-abgüsse von einigen Präparaten angefertigt. Abgesehen von Präparationsproblemen, die mit schlickigen Wattprofilen verbunden waren, verlief der Versuch, eine mit Radiographien vergleichbare Schichtensystematik aufzustellen, nicht befriedigend.

Das Schichtgefüge war größtenteils durch intensive Verwühlungen überlagert und somit als Reliefinformation verloren. Die restlichen Strukturen korrelieren gut mit den bereits in den radiographischen Aufnahmen festgestellten Merkmalen. Der Vergleich der relativen Korngrößen verschiedener
Schichten zueinander zeigte in Relief und Radiographie gute
Übereinstimmung. Im Bodenrelief "eingetiefte" feinkörnige Sedimente sind radiographisch als dunkle Bereiche abgebildet.
Deutlich zeigt der Paraffin-Abguß die gekrümmten Röhrensysteme
und Bewegungsstrukturen der beteiligten Fauna. Durch extrovertierte Fe<sup>3+</sup>-Abscheidung verhärtete Wurmgänge zeigen den hohen
Verwühlungsgrad des Sediments auf. Die Auswertung feinerer biologischer und sedimentologischer Strukturen ist der Radiographie
vorbehalten.

#### 10. Zusammenfassung

Der Schlick des Wattenmeeres ist ein Sediment von komplexer Zusammensetzung, und mit den anderen Sedimenttypen dieses Gebietes durch fließende Übergänge verbunden. Zur Charakterisierung des Schlickes müssen sedimentologische Eigenschaften (mehr als 50 % <63/um, kein nennenswerter Anteil > 125/um) ebenso herangezogen werden, wie bodenmechanische (weiche Konsistenz).

Beide Eigenschaften verhalten sich oft parallel, einem hohen Anteil < 63 um entspricht auch meist eine weiche Konsistenz. Häufig treten jedoch Ausnahmen in beiden Richtungen auf. Sande mit geringem Anteil < 63 um und relativ hohem > 125 um können weich sein, und Sedimente mit hohem Anteil < 63 um fest.

Die Geländebeobachtungen wie die Besiedlung mit Wattorganismen legen nahe, die Abgrenzung des Schlickes nicht an eine starre Grenze zu binden. Bei sehr weichem Material ist sie schon bei geringeren Anteilen an Schluff und Ton zu suchen, bei sehr festem bei höheren. Das bisherige Datenmaterial erlaubt noch keine Quantifizierung.

Die bei den Untersuchungen erarbeiteten sedimentologischen Daten wurden unter Einschluß biologischer Parameter mit statistischen Methoden weitergehend untersucht. Sie zeigen die unterschiedliche Eignung verschiedener Kennziffern, wobei die besten Unterscheidungsmerkmale bei gleichzeitiger Berücksichtigung verschiedener Merkmale erhalten werden. Die Anwendung dieses Weges setzt entsprechende umfangreiche Labor- und Rechenarbeiten voraus.

In der Meldorfer Bucht ist die Schlicksedimentation im Vergleich zu anderen Gebieten der deutschen Nordseeküste gering. Sie beschränkt sich auf die inneren Winkel der Bucht, auf Lahnungsfelder und die Füllung eines Baggerloches vor Deichhausen bei Büsum. Letzteres wurde neben einem Ost-West-Profil nördlich des Helmsandes als Testfeld für Detailuntersuchungen ausgewählt.

Das Testprofil in der Buchtmitte sowie das Testfeld mit zwei weiteren Testprofilen innerhalb des Feldes zeigten während des gesamten Untersuchungszeitraumes sehr starke wetterabhängige kurzzeitige und deutliche jahreszeitliche Schwankungen der Sedimentverteilung, aber mit Ausnahme des landnahen Teiles des Testprofiles in der Buchtmitte keine stetigen Veränderungstendenzen. In letzterem Gebiet bildeten sich jedoch die Auswirkungen des Deichbaues vor dem Speicherkoog Nord in Gestalt einer Sedimentvergröberung deutlich ab.

Die Schlicksedimentation im Testfeld beruht überwiegend auf Biodeposition. Eine Ablagerung direkt aus der Suspension konnte hier nicht nachgewiesen werden. Die Bindung der Schlickpartikel erfolgt in erster Linie in Form von Kotpillen, die im Sediment schnell wieder verfallen. Sie werden durch Organismen (Bioturbation) verwühlt und im Sediment in die Tiefe verlagert.

Die Ergebnisse aus der Meldorfer Bucht dürfen auf keinen Fall unkritisch auf andere Teilgebiete der deutschen Nordseeküste übertragen werden. Das Verhältnis zwischen rein anorganischer Schlickfällung und Biodeposition ist in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren sehr unterschiedlich und müßte für eine allgemeinere Aussage zur Schlicksedimentation an einigen geeigneten Positionen bearbeitet werden. Solange diese Ergänzungen nicht vorliegen, beinhaltet jede Verallgemeinerung der Aussagen aus der Meldorfer Bucht die Gefahr schwerwiegender Fehlschlüsse.

#### 10 Schriften

- BAGNOLD, R.A. (1968): Deposition in the process of hydraulic transport. Sedimentology <u>10</u>, S. 45 56
- BRÜMMER, G. (1968): Untersuchungen zur Genese der Marschen. Diss. Univ. Kiel; 350 S.
- BRÜMMER, G. & LICHTFUSS, R. (1978): Phosphorgehalte und bindungsformen in den Sedimenten von Elbe, Trave, Eider und Schwentine. Naturwissenschaften 65, S. 527 531
- BRÜMMER, G., SCHROEDER, D. (1976): Bestand, Umwandlung und Neubildung von Tonmineralen in küstennahen Sedimenten der Nordsee. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. 1, S. 91 106
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

  Bericht über Dichtemessungen im Wattgebiet vor

  Büsum. Kiel 1981
- CADÉE, G.C. (1976): Sediment reworking by Arenicola marina on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. <u>10</u>, S. 440 460
- CARVER, R.E. (Ed.), (1971): Procedures in Sedimentary Petrology. New York, London, Sydney, Toronto, (Wiley-Intersience)
- DITTMER, E. (1952): Die nacheiszeitliche Entwicklung der Schleswig-Holsteinischen Westküste. Meyniana <u>1</u>, S. 138 168
- DUANE, D.B. (1964): Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. J. Sed. Petrol. 39/4, S. 864 874

- ELWERT, D. (1977): Erläuterungen zur Bodenkarte 1: 10 000 Speicherkoog Dithmarschen Nordteil I und II. -Geol. Landesamt S.-H., Kiel
- FIGGE, K., KÖSTER, R., THIEL, H. & WIELAND, P.

  (1980): Schlickuntersuchungen im Wattenmeer der

  Deutschen Bucht Zwischenbericht über ein Forschungsprojekt des KFKI. Die Küste, 35, 18 S.
- FISHER, J.J. (1977): Comparison between sieving and settling-tube determinations of sand sizes by using discriminant analysis: Comment. Geology (U.S.A.), 5, S. 264
- FOLK, R.L. & WARD, W.

  (1957): Brazos River Bar: A study in the significance of grain-size parameters. J. Sed. Petrol.

  27/1, S. 3 26
- FOLK, R. (1966): A review of grain-size parameters. Sedimentology 6, S. 73 93
- GELDOF, H.J. & SLOT, R.E.

  (1979): Settling tube anylysis of sand. Laboratory
  of Fluid Mechanics Department of Civil Engineering,
  Delft University of Technology, Internal Report
  No. 4/79
- GÖHREN, H. (1979): Gegenläufige Restströmungen im Küstenmeer zwischen Amrum und Knechtsand und ihr Einfluß auf die Sandbewegung. DFG-Forschungsbericht Sandbewegung im Küstenraum. S. 97 112, Boppard (Harald Boldt)
- GROSSMANN, M. (1979): Bestandsaufnahme der Makrofauna im Testgebiet des Büsumer Wattes. - Zwischenbericht im "Schlickprojekt" des KFKI (Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen), Hamburg

- GROSSMANN, M., MEIN, B. & SPYCHALA, H.

  (1981): Einwirkungen von Organismen auf den Schlick. Abschlußbericht im "Schlickprojekt" des Kuratoriums
  für Forschung im Küsteningenieurwesen, in Vorbereitung
- HANSEN, K. (1956): The sedimentation along the Römödam. Medd. fra Dansk geol. Foren. 13/2, S. 112 117
- HAVEN, D.S. & MORALES-ALAMO, R. (1972): Biodeposition as a factor in sedimentation of fine suspended solids in estuaries. Geol. Soc. Amer. Mem. 133, S. 121 130
- HIGELKE, B. (1975): Morphodynamik und Materialbilanz im Küstenvorfeld zwischen Hever und Elbe; Ergebnisse quantitativer Kartenanalysen für die Zeit von 1936 - 1969. - Diss. Univ. Kiel, 167 S.
- HJULSTRÖM, F. (1939): Transportation of detritus by moving water. In: Recent Marine Sediments, a symposium (Ed. by P.D. Trask).

  Spec. Publs. Soc. econ. Paleont. Miner. Tulsa, 4, S. 5 31
- HUNDT, C. KÖNIG, D. & REINECK, H.-E.

  (1977): Die voraussichtlichen sedimentologischen Veränderungen im Neuwerker Watt infolge der geplanten
  Dammbauten für das Hafenprojekt Scharhörn
  Die Küste 30, S. 157 179
- JONES, J.R., CAMERON, B.

  Comparison between sieving and settling-tube determinations of sand sizes by using discriminant analysis. Geology 4/12, S. 741 744
- KACHHOLZ, K.D. (1978): Gestalt und Entwicklung der Ostseeküste im Bereich Laboe-Bottsand. - Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Kiel
- KACHHOLZ, K.D. (1979): Sedimenttypen der Flachwasserzone im Ostteil der Kieler Außenförde (Schleswig-Holstein). Meyniana 31. S. 15 24
- KACHHOLZ, K.D. (1980): Erläuterungen des FORTRAN IV Programmpaketes für die Auswerung von Korngrößenverteilungen.- unveröffentlicht: Geol. Inst. Univ. Kiel

KEMPE

(1980): Geochemische und elektronenmikroskopische Untersuchungen der Schlickbildung im Büsumer Watt. - Abschlußbericht für das Schlickprojekt des Kuratoriums für Forschung im Küsteningenieurwesen, Hamburg

KLUG, H. & HIGELKE, B.

(1979): Ergebnisse geomorphologischer Seekartenanalysen zur Erfassung der Reliefentwicklung und des Materialumsatzes im Küstenvorfeld zwischen Hever und Elbe 1936 - 1969 . - DFG-Forschungsbericht, Sandbewegung im Küstenraum, S. 125 - 146, Boppard (Harald Boldt)

- KRUMBEIN, W.C. (1936): Application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments. J. Sediment. Petrol. <u>6</u>, S. 35 47
- LANG, A.W. (1975): Untersuchungen zur morphologischen Entwicklung des Dithmarscher Wattes von der Mitte des 16. Jahrhunderts bis zur Gegenwart. - Hamburger Küstenforschung 31, 154 S.
- LINKE, O. (1939): Die Biota des Jadebusenwattes. Helgol. wiss. Meeresunters. 1, S. 201 348
- MATTIAT, B. (1969): Eine Methode zur elektronenmikroskopischen Untersuchung des Mikrogefüges in tonigen Sedimenten. Geol. Jahrb. 88, S. 87 111
- MC CAVE, I. N. (1971): Mud in the North Sea. In: E.D. Goldberg (ed.), North Sea Science, p. 75 100, Cambridge, Massachusetts, London (MIT Press)
- MICHAELIS, H. (1976):Die Makrofauna des nördlichen Eversandes (Wesermündung). Forschungsstelle Norderney, <u>17</u>, S. 167 179
- MÜLLER, C.D. (1960): Fauna und Sediment in der Leybucht. Jahresbericht 1959 der F.S. Norderney
- NOMMENSEN, B. (1981): Die Sedimente des südlichen Nordfriesischen Wattenmeeres. Diss. Univ. Kiel in Vorbereitung

- OLSEN, H.A. (1959): The influence of the Romö-Dam on the sedimentation in the adjacent part of the Danish Wadden-Sea. Geogr. Tidskrift <u>58</u>, S. 119 141 Köbenhavn
- PAERL, H. (1975): Microbial attachment to particles in marine and freshwater ecosystems. Microbial Ecology  $\underline{2}$ , S. 73-83
- PAGE, H.G. (1955): Phi-millimeter conversion table. J. Sed. Petrol. <u>25</u>, S. 285 292
- PIERCE, J.W. & SIEGEL, F.R. (1969): Quantification in clay mineral studies of sediments and sedimentary rocks. J. sed. Petrol. 39, S. 187 193
- PLATH, M. (1943): Die biologische Bestandsaufnahme als Verfahren zur Kennzeichnung der Wattsedimente und die Kartierung der nordfriesischen Watten. Z. Westküste, Kriegsheft, S. 7 45
- POSTMA, H. (1961): Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Neth. J. Sea Res. 1, S. 148 190
- PRÖBER, C. (1978):

  Geologisch-sedimentologische Oberflächenkartierung
  im Watt der Nordstrander Bucht. unveröff. Diplomarbeit 77 S., Univ. Kiel
- REINECK, H.-E. (ed.) (1970): Das Watt, Ablagerungs- und Lebensraum.
   142 S., Frankfurt (W. Kramer)
- REINECK, H.E. (1975): Die Größe der Umlagerungen im Neuwerk/ Scharhörner Watt. - Hamburger Küstenforschung 33, S. 2 - 24
- RUBEY, W.W. (1933): Settling velocities of gravel, sand and silt-particles. Am. J. Sci 225, S. 325 338
- SCHÄFER, W. (1962): Aktuopaläontologie, nach Studien in der Nordsee. 666 S. Frankf./Main, (W. Kramer)
- SCHMIDT, R. (1975): Geologische Untersuchungen des Holozäns in der östlichen Meldorfer Bucht und angrenzender Marschen (Dithmarschen). Diss. Univ. Kiel; 90 S.

- SCHNEIDER, W.-M. (1979): Korngrößen- und Schilluntersuchungen in Holozänablagerungen der Schleswig-Holsteinischen Westküste (Deutsche Bucht, Nordsee). Diss. Univ. Kiel; 137 S.
- SHARP, R.P. & FAN, P.F. (1963):
  A sorting index. J. of Geol. <u>71</u>, S. 76 83
- SHIDELER, G.L. (1976): A Comparison of Electronic Particle Counting and Pipette Techniques in Routine Mud Analysis. J. Sed. Petrol. 46, S. 1017 1025
- SIEFERT, W. (1974): Über den Seegang in Flachwassergebieten. -Mitt. Leichtweiß-Inst. 40, S. 1 - 240; Braunschweig
- SMAYDA, T. J. (1969): Some measurements of the sinking rates of fecal pellets. Limnology and Oceanography 5/14, S. 621 625
- STRAATEN, L.M.J.U. VAN

  (1956): Composition of shell beds formed in tidal
  flat environment in the Netherlands and in the Bay
  of Arcachon (France). Geologie Mijnb. 18, S.209-226
- STRIDE, A.H. (1973): Sediment transport by the North Sea. In: E.D. Goldberg (ed.), North Sea Science. - MIT Press, Cambridge, Mass.: S. 101 - 130
- SUNDBORG, A. (1956): The River Klarälven; a study in fluvial processes. Geog. Ann. Stockholm, 38, S. 127 316
- TAIRA, A. & SCHOLLE, P.A.

  (1979): Origin of bimodal sands in some modern

  environments. J. sed. Petrol. 49/3, S. 777 786
- VERSTAPPEN, H.-TH. (1977): Remote sensing in geomorphology. New York, Amsterdam, Oxford 214 S. (Elsevier Scientific Publishing Comp.)
- VOGEL, F. (1975): Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation; 41o S., Göttingen (Vandenhoeck & Ruprecht)

- VOGEL, F. & FORST, H.T.
  - (1978): Klassifikationsprogramme: Beschreibung von den Programmversionen YHAK und KDIAG. - Institut für Statistik und Ökonometrie der Universität Kiel, 14 S.
- WADELL, H. (1934): Some new sedimentation formulas. Physics 5, S. 281 291
- WALGER, E. (1964): Zur Darstellung von Korngrößenverteilungen. Geol. Rundsch. 54, S. 976 1002
- WALGER, E. (1971): FORTRAN-IV-Programme zur EDV-Bearbeitung von Korngrößendaten. Geol. Inst. Kiel, unveröff.
- WENTWORTH, C.K. (1922): A scale of grade and class terms for classifying sediments. J. Geol. 30, 377 392
- WENTWORTH, C.K. (1922): Method of Computing Mechanical Composition Types in Sediments. - Bull. Geol. Soc. Am., <u>40</u>, S. 771 - 790
- WERNER, F. (1966): Herstellung von ungestörten Dünnschliffen aus wassergesättigten, pelitischen Lockersedimenten mittels Gefriertrocknung. Meyniana, 16, 7 S.
- WOHLENBERG, E. (1937): Die Wattenmeer-Lebensgemeinschaften im Königshafen von Sylt. Helgoländer wiss. Meeresunters.  $\underline{1}$ , S. 1 92
- WOHLENBERG, E. (1953): Sinkstoff, Sediment und Anwachs am Hindenburgdamm. - Die Küste 2, S. 33 - 94
- ZABAWA, C.F. (1976): Estuarine Sediments and Sedimentation processes in Winyah Bay, South Carolina. Technical Rep. <u>11</u> CRD Univers. South Carolina
- ZABAWA, C.F. (1978): Microstructure of Agglomerated Suspended Sediments in Northern Chesapeake Bay Estuary . Science 202, S. 49 51