

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

Untersuchungen über die Einwirkung der Tide auf Salzgehalt, Schwebstoffgehalt, Sedimentation und Bakteriengehalt in der Unterelbe

Von P. H. KOSKE, H. KRUMM, G. RHEINHEIMER und K.-H. SZEKIELDA

Zusammenfassung: Im Elbeaestuar erfolgten in der Zone des Schwebstoffmaximums hydrographische, mineralogische und bakteriologische Untersuchungen, um Einblick in die Sedimentationsvorgänge und die Zusammensetzung der Schwebstoffe zu gewinnen. Bei zwei Dauerstationen querab Brokdorf und einer Profilfahrt von Altenbruch nach Stadersand wurden kontinuierliche Messungen von Trübung, Strömung, Salzgehalt und Temperatur ausgeführt. Ferner erfolgten Bestimmungen des Gehaltes an Seston und partikulärem Kohlenstoff. Die mineralogischen Untersuchungen ergaben, daß die qualitative Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Elbe sich kaum von der in der Ost- und Nordsee unterscheidet. Quantitative Unterschiede bei den Elbeproben können auf Transport-sonderungsvorgänge im Gezeitenbereich zurückgeführt werden. Es wird die Frage der Entstehung der Trübungszone diskutiert. Die bakteriologischen Untersuchungen ergaben, daß der Mikrobengehalt des Wassers stark von Sedimentationsvorgängen beeinflußt wird. Mit den Salzgehaltsschwankungen ändert sich im Verlauf der Tide auch die Zusammensetzung der Bakterienflora.

Investigations on the influence of tides on salinity, content of suspended matter, sedimentation and bacteria counts in the Elbe Estuary (Summary): The hydrographic conditions in the zone of maximal suspended matter of the Elbe Estuary are described by continuous records of transparency, currents, salinity, temperature, and by measurements of the content of particulate carbon and seston. Investigations on mineralogical composition of suspended matter show no qualitative differences. But there are quantitative differences, obviously influenced by tidal transport sorting effects. With tidal variations of sedimentation and salinity the distribution and composition of the bacterial flora is changing.

Die vorliegende Arbeit behandelt Untersuchungen, die im Oktober 1964 mit dem Kieler Forschungskutter „Hermann Wattenberg“ auf der Unterelbe durchgeführt wurden. An dieser Fahrt waren mehrere Arbeitsgruppen beteiligt, die hydrographische, geologische und mikrobiologische Arbeiten ausführten. Gemeinsames Objekt dieser Untersuchungen war der erhöhte Schwebstoffgehalt im Elbe-Wasser etwa in der Gegend von Brunsbüttelkoog.

Die Verteilung des Sestongehaltes in der Elbe soll an Hand der Tabelle 1, die auf frühere Untersuchungen von G. RHEINHEIMER (unveröffentlichte Untersuchungen 1962—1964) zurückgeht, kurz erörtert werden.

Tabelle 1

Mittelwerte des gravimetrisch bestimmten Sestongehaltes von Elbwasserproben, entnommen bei Profilfahrten in den Jahren 1962—1964

km	474	550	610	630	666	678	698	706
Probenzahl	10	10	10	6	10	8	8	3
Schwebstoffgehalt (mg · l ⁻¹)	33,7	27,8	19,2	21,6	112,8	164,3	133,8	54,6

Während bei Hamburg (km 623) der Sestongehalt in der Elbe ca. $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ beträgt, steigt er weiter elbabwärts stark an, erreicht bei km 678 (Störmündung) mit $164,3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ etwa den achtfachen Wert und sinkt dann in der Gegend der Oste-Mündung (km 706) auf $54,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Aus den Zahlenangaben folgt, daß etwa zwischen km 660 und km 700 eine Zone erhöhten Sestongehaltes liegt mit Werten $> 100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, ein Sestonmaximum, das Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen war.

Die Unterelbe ist ein von den Gezeiten beeinflusstes Gewässer, in dem sich außerdem Süß- und Salzwasser mischen. Infolgedessen treten hier sowohl starke zeitliche als auch starke räumliche Änderungen auf, die möglichst klar voneinander getrennt untersucht werden sollten.

Zur Untersuchung der zeitlichen Veränderlichkeit wurden zweimal etwa 8 Stunden lang Messungen auf einer Ankerstation bei km 688 (Scheelenkuhlen) durchgeführt. Zur Untersuchung der räumlichen Veränderlichkeit wurde versucht, die Unterelbe von Altenbruch bis Stadersand möglichst gleichphasig mit der Tide abzulaufen, was angenähert auch gelang. Die allgemeine örtliche Situation und die Lage der Ankerstation gehen aus Abbildung 1 hervor. Im folgenden soll näher auf die durchgeführten Untersuchungen und die erhaltenen Ergebnisse eingegangen werden. Dabei wird so verfahren, daß zunächst über die hydrographischen Arbeiten berichtet wird. Anschließend folgen dann die geologischen Arbeiten und den Abschluß bildet ein Bericht über die bakteriologischen Untersuchungen.

Hydrographische Untersuchungen auf der Unterelbe

(P. H. KOSKE, K. H. SZEKIELDA)

Die hydrographischen Arbeiten beschränkten sich auf die Untersuchung der zeitlichen Veränderlichkeit während der Ankerstationen. Es wurden folgende Faktoren gemessen bzw. bestimmt:

Oberflächentemperatur	}	in Form kontinuierlicher Registrierung
Oberflächensalzgehalt		
Oberflächenstrom		
Oberflächendurchsichtigkeit		
Vertikalverlauf d. Durchsichtigkeit		
Oberflächenschwebstoffgehalt	}	aus entnommenen Wasser- proben
Oberflächengehalt an partikulärem		
Kohlenstoff		

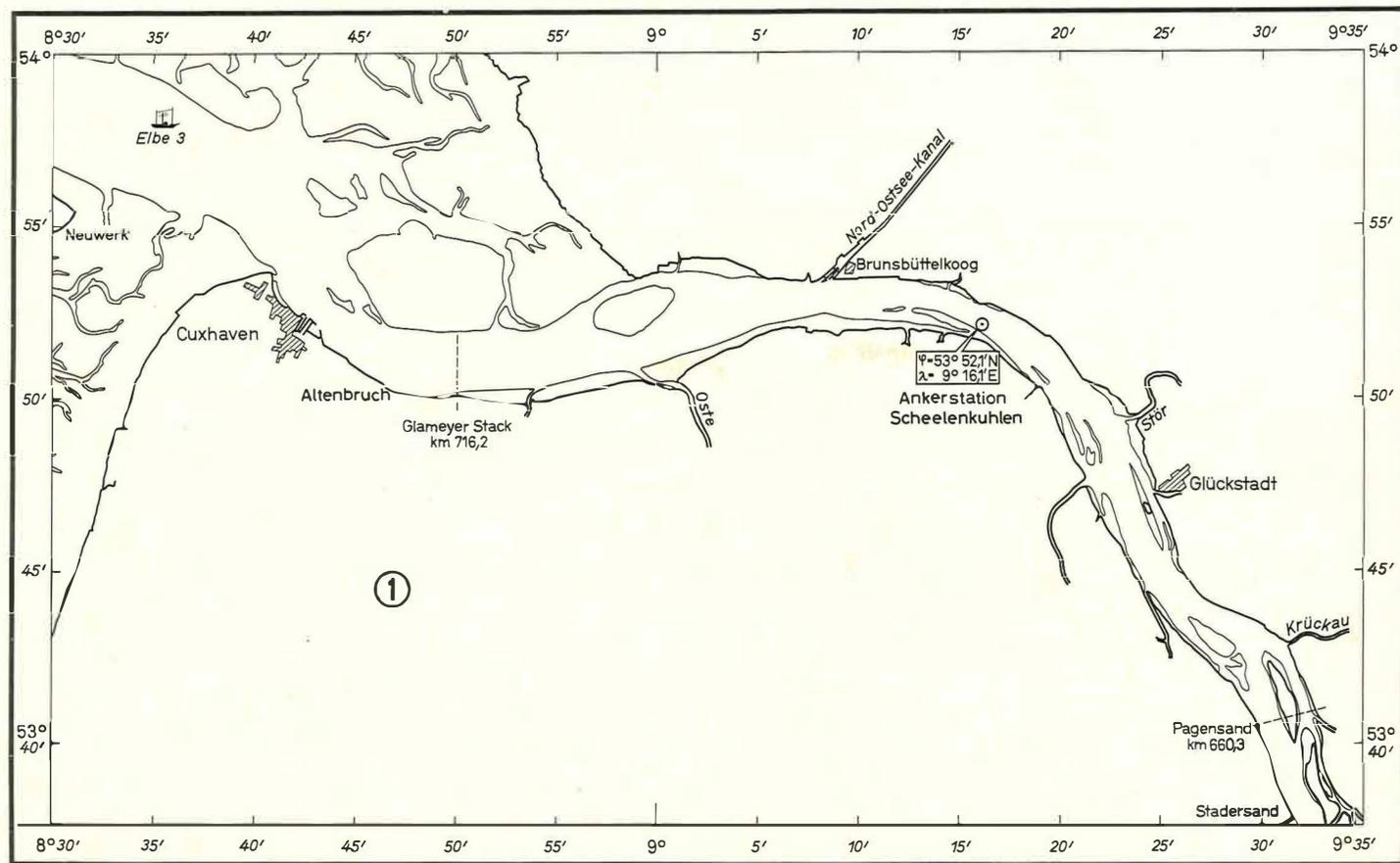
Zum Methodischen ist im einzelnen folgendes zu sagen: Temperatur und Salzgehalt wurden mit einer TS-Sonde (P. H. Koske, 1964) auf einem 2-Kanal-Schreiber registriert. Die Salzgehaltsanzeige der Sonde wurde an von Zeit zu Zeit entnommenen Wasserproben mittels der Knudsen-Titration überprüft. Richtung und Stärke des Gezeitenstroms wurden mit einem Gerät der Firma HYTECH¹⁾ gemessen und ebenfalls auf einem 2-Kanal-Schreiber registriert. Gleichzeitig wurde in etwa halbstündigen Abständen ein Reelingslog durchgeführt.

¹⁾ Für die leihweise Überlassung des Strommessers sei Herrn Prof. W. Krauss auch an dieser Stelle herzlichst gedankt.

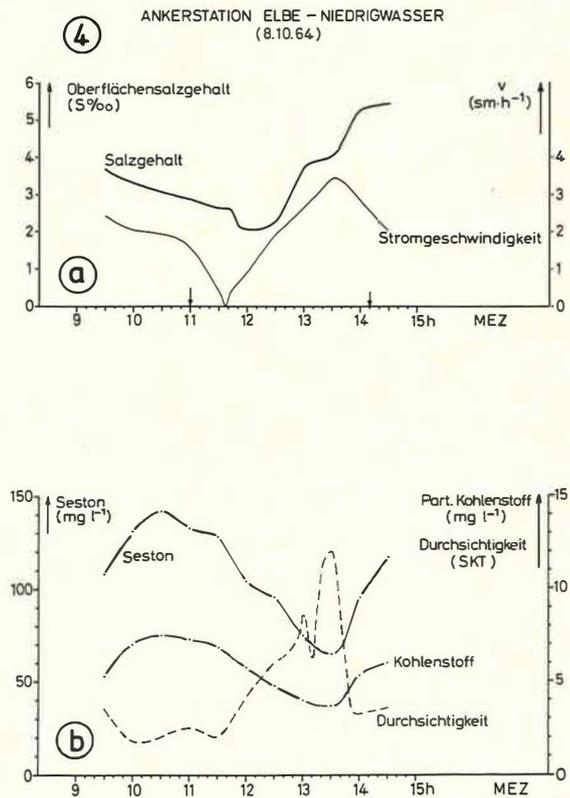
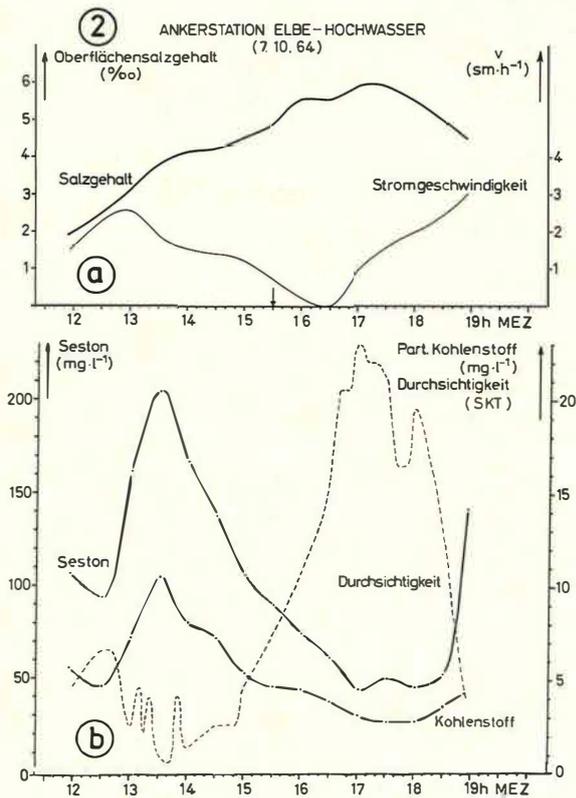
Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

Abb. 1: Lagekarte.

Tafel 1 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekieda)



Tafel 2 (zu P.H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiela)



Bei den Durchsichtigkeitsmessungen wurde ein eigens für diese Fahrt entwickeltes D-Gerät eingesetzt mit einer Meßstrecke von etwa 15 cm. Es wurde mit weißem Licht gearbeitet. Die Anzeige des D-Gerätes wurde auf einem Kompensationschreiber registriert, wobei der Schreiberausschlag der durchgelassenen Lichtintensität direkt proportional war.

Der Schwebstoffgehalt wurde gravimetrisch an Schöpfproben ermittelt. Die Bestimmung des partikulären Kohlenstoffes erfolgte durch Filtration von Wasserproben, Veraschung der Glasfilter im Sauerstoffstrom und konduktometrische Bestimmung des freigesetzten CO_2 (K. H. SZEKIELDA, 1965).

Die bei den vorliegenden Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse sind in den Abbildungen 2—7 und in den Tabellen 2 und 3 wiedergegeben.

Die beiden Ankerstationen waren zeitlich so gelegt worden, daß an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Hochwasser (7. 10. 1964) und Niedrigwasser (8. 10. 1964; etwa 19h — 1,5 Gezeitenperioden — später) erfaßt wurden.

Die in den Abbildungen dargestellten Ergebnisse sollen nachfolgend diskutiert werden:

Abbildung 2a zeigt die Änderungen von Stromgeschwindigkeit¹⁾ und Salzgehalt²⁾ (jeweils an der Oberfläche) in Abhängigkeit von der Zeit am Nachmittag des 7. 10. 1964. Es handelt sich hier um das Kentern des Gezeitenstromes bei Hochwasser. Der Salzgehalt steigt von 2‰ (12.00 MEZ) auf 6‰ (17.00 MEZ) an, während gleichzeitig die Geschwindigkeit des Flutstroms nachläßt und gegen 16.25 Uhr den Wert Null erreicht. Um 19.00 Uhr beträgt die Stromgeschwindigkeit bereits wieder ca. 3 m h^{-1} , nun jedoch flußabwärts gerichtet als Ebbstrom, verbunden mit einer Abnahme des Salzgehaltes. Abbildung 2b zeigt bei gleichem Abszissenmaßstab die zeitlichen Änderungen des Sestongehaltes, des Gehaltes an partikulärem Kohlenstoff und der Durchsichtigkeit³⁾ im Elbewasser.

Während sich der Gehalt an Seston und an partikulärem Kohlenstoff in gleicher Weise ändert, verläuft die Durchsichtigkeit, wie zu erwarten, umgekehrt proportional dazu. Bemerkenswert ist der starke Einfluß des Gezeitenstromes. Die höchsten Seston und Kohlenstoffwerte so wie die geringste Durchsichtigkeit treten kurz nach dem Maximum der Stromgeschwindigkeit auf, entsprechend sind die Minimalwerte bei Seston und Kohlenstoff so wie maximale Durchsichtigkeit kurze Zeit nach dem Kentern des Stromes anzutreffen.

Diese Abhängigkeit des Schwebstoffgehaltes im Elbewasser von der Stärke des Gezeitenstroms ergibt sich auch aus den in Abbildung 3 dargestellten Ergebnissen. Hier wird

¹⁾ Die Stromgeschwindigkeit v ist hier und in Abbildung 4a als Skalar aufgetragen.

²⁾ Auf eine Wiedergabe des Temperaturverlaufs wurde verzichtet, da die Oberflächentemperatur praktisch konstant war.

³⁾ Bei der Durchsichtigkeit wurde für die Ordinate ein Relativmaßstab (Skalenteile) gewählt, der, wie bereits weiter oben ausgeführt, der durchgelassenen Lichtintensität direkt proportional ist. Extinktionswerte können auf Grund der Vielfalt des suspendierten und gelösten Materials nicht angegeben werden.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 2: Ankerstation 7. 10. 64 bei Hochwasser

a: Oberflächensalzgehalt und Stromgeschwindigkeit

b: Seston-, partikulärer Kohlenstoffgehalt und Durchsichtigkeit der Oberfläche.

Abb. 4: Ankerstation 8. 10. 64 bei Niedrigwasser

a: Oberflächensalzgehalt und Stromgeschwindigkeit

b: Seston-, partikulärer Kohlenstoffgehalt und Durchsichtigkeit der Oberfläche.

für den in Abbildung 2 a durch Pfeile auf der Abszisse gekennzeichneten Zeitraum der Vertikalverlauf der Durchsichtigkeit wiedergegeben.¹⁾

Aus der Abbildung 3 geht hervor, daß kurz nach dem Kentern des Stromes, also kurz nach dem Zeitpunkt der Stromruhe, die Durchsichtigkeit der gesamten Wassersäule stark zunimmt und gegen 17.20 Uhr mit Werten > 20 SKT ein Maximum durchläuft. Dieses „Klarwerden“ des Wassers, das sich von oben nach unten hin ausbreitet, ist zurückzuführen auf den zu dieser Zeit nur schwach laufenden Bodenstrom und die damit verbundene, verstärkte Sedimentation. Mit zunehmender Stromgeschwindigkeit beginnt wieder die Aufwirbelung von Sediment und damit von unten nach oben fortschreitend die Eintrübung der Wassersäule.

Die Abbildungen 4 a, 4 b und 5 behandeln die entsprechenden Verhältnisse auf der Ankerstation am Vormittag des 8. 10. 1964 bei Niedrigwasser. Sie zeigen qualitativ ähnliche Verhältnisse und sollen im einzelnen nicht näher erörtert werden. Die wesentlichen quantitativen Unterschiede sind in der nachfolgenden Gegenüberstellung zusammengefaßt.

A. Hochwasser

1. Der Strom kentert langsam. Die Zeit der „Stromruhe“ (für die vorliegende Arbeit definiert durch eine Stromgeschwindigkeit $V < 0,5 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$) beträgt 107 Minuten.
2. Sestongehalt_{max} : $200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Sestongehalt_{min} : $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
3. Maximale Durchsichtigkeit an der Oberfläche: > 20 SKT
Maximale Durchsichtigkeit am Boden: > 20 SKT

B. Niedrigwasser

1. Der Strom kentert schnell. Die Zeit der „Stromruhe“ beträgt 48 Minuten.
2. Sestongehalt_{max} : $140 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
Sestongehalt_{min} : $70 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
3. Maximale Durchsichtigkeit an der Oberfläche: ~ 12 SKT
Maximale Durchsichtigkeit am Boden: ~ 1 SKT

Aus dieser Gegenüberstellung folgt, daß bei Hochwasser, d. h. beim Übergang von Flutstrom auf Ebbstrom, das im Elbewasser suspendierte Material stärker sedimentiert, als beim Übergang von Ebbstrom auf Flutstrom, also bei Niedrigwasser.

In Abbildung 6 ist dargestellt, wie groß der Anteil des partikulären Kohlenstoffs im Seston ist. Es zeigt sich, daß die Beziehung zwischen Kohlenstoff und Seston in guter Näherung linear ist und daß in 100 mg Seston etwa 5 mg partikulärer Kohlenstoff enthalten sind. Aus der Linearität dieser Beziehung folgt, daß die Zusammensetzung

¹⁾ Die in Verbindung mit den Gezeiten auftretenden Wasserstandsänderungen wurden in der Abbildung 3 vernachlässigt, da sie innerhalb der 3 Std. zur Zeit des Kenterns des Stromes kaum mehr als 1 m ausmachen.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

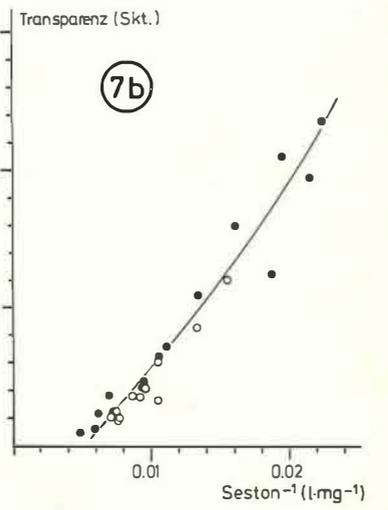
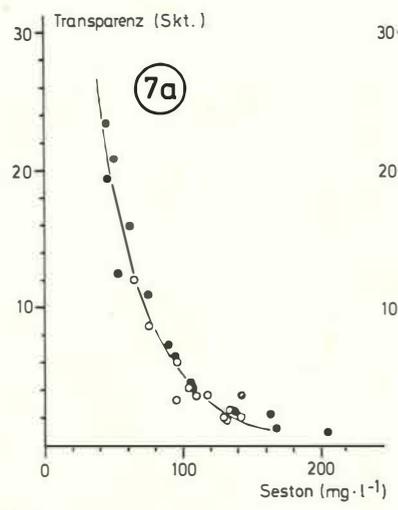
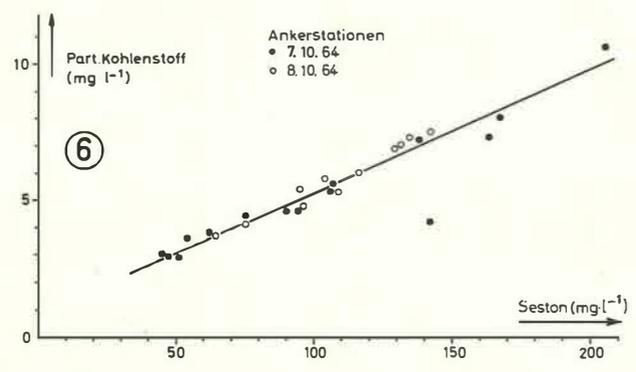
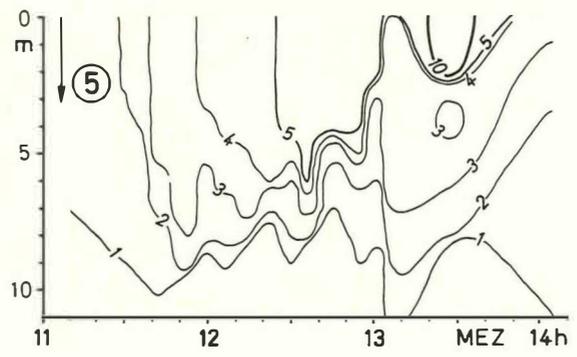
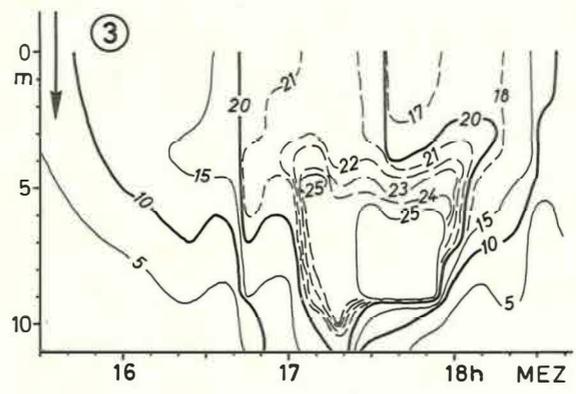
Abb. 3: Zeitliche Änderung der Durchsichtigkeit auf der Ankerstation am 7. 10. 64.

Abb. 5: Zeitliche Änderung der Durchsichtigkeit auf der Ankerstation am 8. 10. 64.

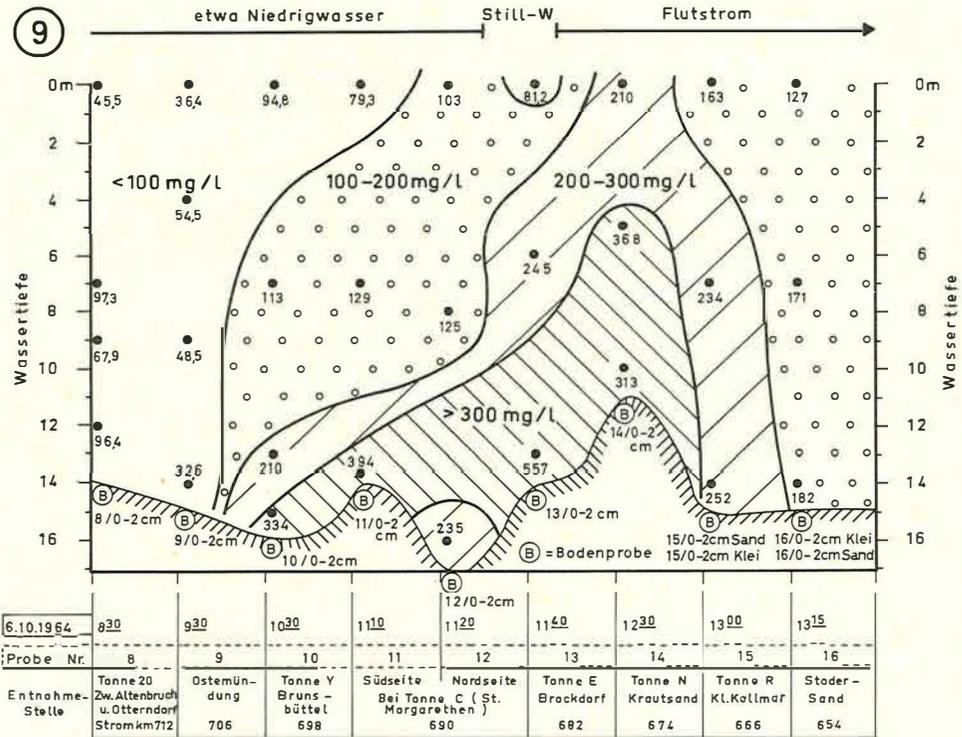
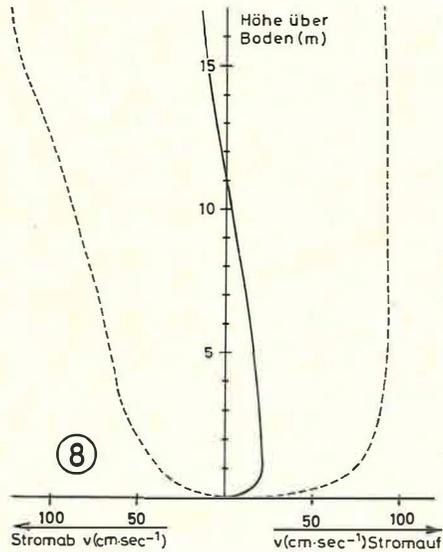
Abb. 6: Relation Seston — partikulärer Kohlenstoff auf der Ankerstation am 7. 10. und 8. 10. 64.

Abb. 7a u. 7b: Darstellung der Sestonkonzentration in Abhängigkeit von der Transparenz.

Tafel 3 (zu P. H. Koske, H. Krümm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiedla)



Tafel 4 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiéda)



des im Elbewasser suspendierten Materials weitgehend konstant und von der Phase des Gezeitenstromes unabhängig ist.

Abbildung 7 schließlich zeigt in zweierlei Darstellung die Abhängigkeit der Durchsichtigkeit vom Sestongehalt. Es besteht zwischen den Ergebnissen der Durchsichtigkeitsmessungen und den Sestonwerten eine gute Relation, die zu einer einfachen, kontinuierlichen Bestimmung des Sestongehaltes benutzt werden könnte, die jedoch nur in einem Gebiet Gültigkeit besitzt, in dem Größenverteilung und Zusammensetzung des suspendierten Materials den entsprechenden Werten im Untersuchungsgebiet ähneln.

Abschließend soll noch kurz auf die Strömungsverhältnisse im Unterlauf der Elbe eingegangen werden, da diese in Verbindung mit der unterschiedlichen Sedimentation während der Stillwasserzeiten geeignet sind, Richtung und Stärke von Materialverfrachtungen anzugeben und damit möglicherweise das Auftreten eines Sestonmaximums zu erklären.

Während oberhalb der Reichweite des Gezeiteinflusses der Transport des im Elbewassers suspendierten Materials mit dem Strom talwärts erfolgt, verliert diese flußabwärts gerichtete Schwebstoffverfrachtung mit zunehmender Annäherung an die Flußmündung ständig an Bedeutung, da die auf Grund der Gezeiten bewegten Wassermassen ein Vielfaches des Wasserablaufes der Elbe betragen. Entscheidend für die Richtung des Materialtransportes ist hier die vertikale Strömungsverteilung.

Die in Abbildung 8 für den Elbequerschnitt Glameyer Stack (km 716,2; siehe Abbildung 1) wiedergegebenen Stromprofile gehen zurück auf die ausführlichen Strömungsmessungen der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg im Gebiet der Tide-Elbe aus den Jahren 1958—1960 (Mitteilung, Nr. 11; 1960). Die unterbrochenen Linien geben die Stärke des mittleren Flut- bzw. Ebb-Stroms in Abhängigkeit von der Höhe

Tabelle 2

Ankerstation 7. 10. 1964. Zeitliche Änderungen der Konzentrationen des Seston und des partikulären Kohlenstoffs bei Hochwasser

Uhrzeit	Seston (mg · l ⁻¹)	part. c (mg · l ⁻¹)
1150	107,3	5,56
1230	94,0	4,56
1300	162,8	7,26
1330	205,3	10,60
1400	167,5	8,00
1430	138,3	7,18
1500	106,0	5,32
1530	90,0	4,60
1600	74,8	4,44
1630	62,3	3,76
1700	44,8	3,00
1730	51,3	2,86
1800	46,5	2,86
1830	53,5	3,56
1855	142,3	4,24

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 8: Mittlere Vertikalverteilung der Stromgeschwindigkeit während der beiden Gezeitenphasen
 Abb. 9: Übersicht über die Verteilung der Gesamtschwebstoff-Mengen in der Niederelbe zwischen Altenbruch und Stadersand für den 6. 10. 1964.

über dem Boden¹⁾ an, die ausgezogene Linie zeigt das vertikale Strömungsprofil gemittelt über eine ganze Gezeitenperiode.

An diesen Strömungsverteilungen läßt sich ablesen, daß im Mündungsgebiet der Elbe der Flutstrom in Bodennähe stärker ist als der Ebbstrom²⁾. In Verbindung mit der weiter oben geschilderten Beobachtung, daß beim Übergang von Ebbe auf Flut das Absetzen des im Wasser suspendierten Materials nur unvollkommen eintritt, führt diese Feststellung zu einem Netto-Schwebstofftransport flußeinwärts, der erst dort aufhört, wo Flut- und Ebbstromprofil den gleichen Verlauf zeigen, in der Elbe etwa bei Pagensand (km 660,3; siehe Abbildung 1).

Die flußabwärts gerichtete Materialverfrachtung mit dem Strom und der flußaufwärts gerichtete Materialtransport im Mündungsgebiet der Elbe führen somit zu einer „Sedimentfalle“, die das Auftreten hoher Sestonwerte im Bereich der Störmündung oberhalb von Brunsbüttelkoog erklären könnte.

Tabelle 3

Ankerstation: 8.10.1964. Zeitliche Änderungen der Konzentrationen des Seston und des partikulären Kohlenstoffs bei Niedrigwasser

Uhrzeit	Seston (mg · l ⁻¹)	part. c (mg · l ⁻¹)
0930	109,3	5,32
1000	131,0	7,00
1030	142,0	7,52
1100	133,3	7,28
1130	129,3	6,86
1200	104,0	5,76
1230	95,7	4,84
1300	75,0	4,12
1330	64,7	3,72
1400	95,3	5,44
1430	116,7	6,00

Mineralogische Untersuchungen an Schwebstoffen und Sedimenten

(H. KRUMM)³⁾

Die mineralogischen Untersuchungen hatten zum Ziel, eine Übersicht über Beteiligung, Menge, Art und Verhalten minerogener Schwebstoffanteile am Schlickfall im Elbe-aestuar zu geben, da m. W. über die Mineralverteilung in den Elbe-Schwebstoffen bisher keine Veröffentlichungen vorliegen.

¹⁾ Bei dieser Art der Darstellung ist zu berücksichtigen, daß die Strömungsverhältnisse nur bis zur Höhe des Niedrigwassers erfaßt werden und daß ferner keine Aussagen über Flut- bzw. Ebbwassermengen möglich sind, da der betrachtete Flußquerschnitt sich mit der Höhe über dem Boden ändert.

²⁾ siehe auch HENSEN (1958).

³⁾ Für intensive Mitarbeit bei der Probenentnahme und Auswertung danke ich auch an dieser Stelle Fräulein H. Gonschior.

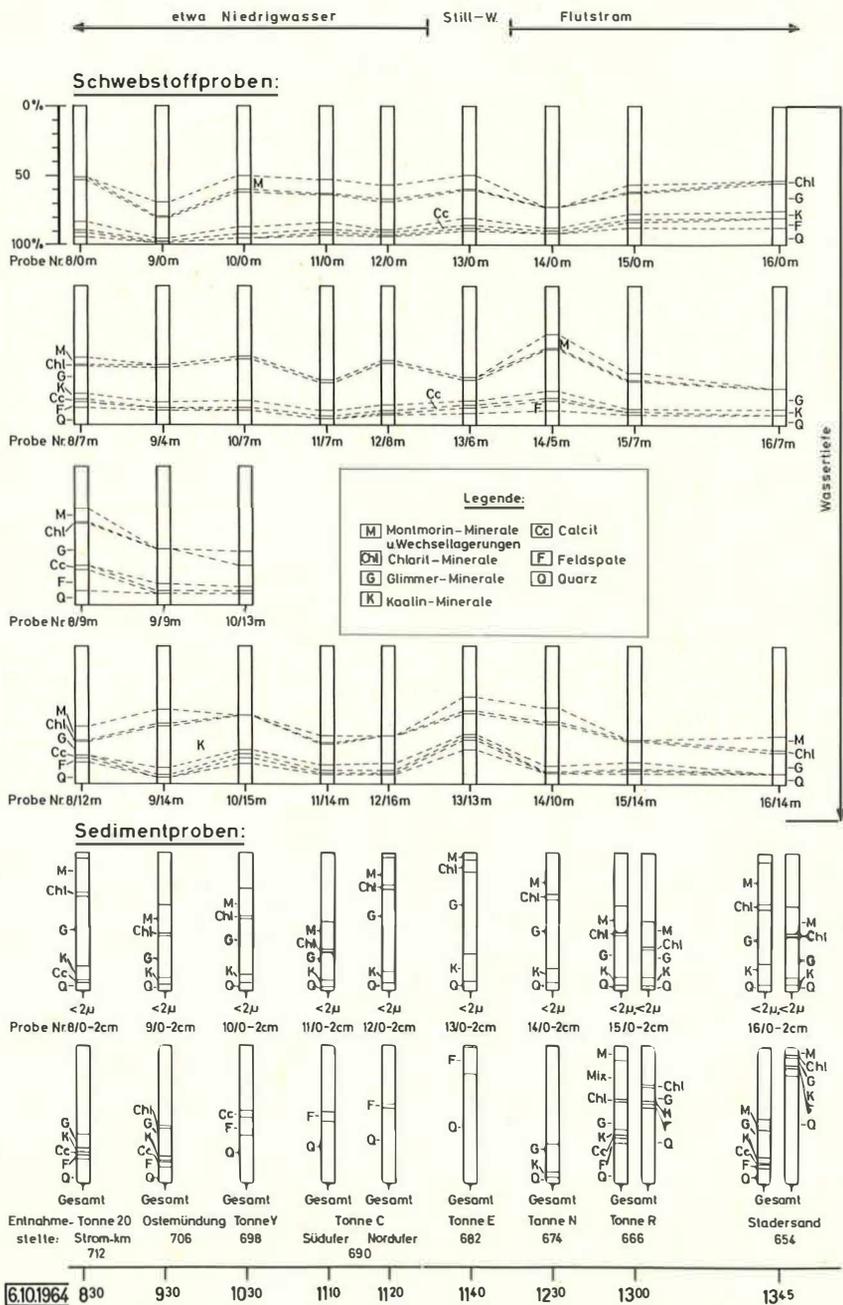
Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 5)

Abb. 10: Zusammensetzung von Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben aus der Niederelbe zwischen Altenbruch und Stadersand (6. 10. 1964).

Niederelbe zwischen Altenbruch und Stadersand

Zusammensetzung von Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben

10



Tafel 5 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiolda)

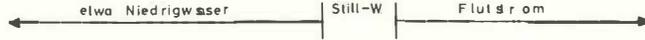
Niederelbe zwischen Altenbruch und Stadersand

Mineralzusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben

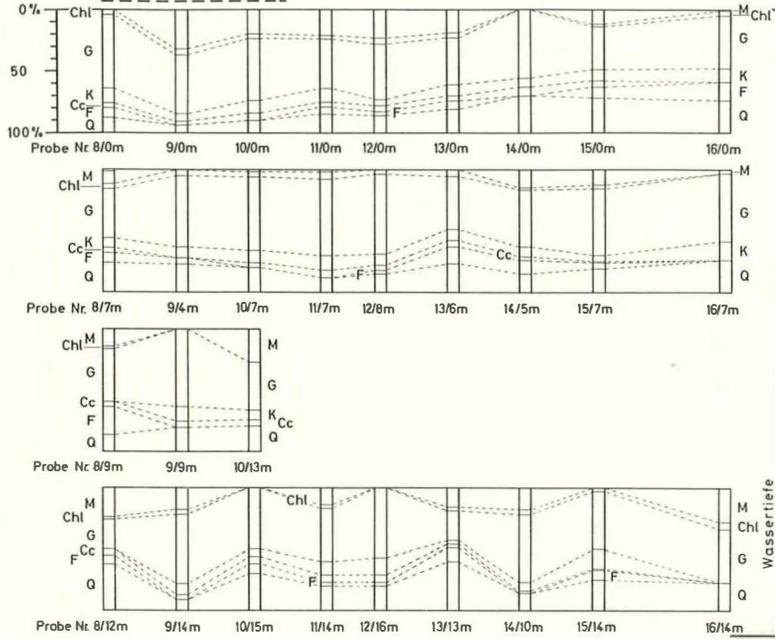
Legende:

M = Montmorillonit-Mminerale K = Kaolin-M., Cc = Calcit
 Chl = Chlorit-Mminerale F = Feldspäte, Q = Quarz
 G = Glimmer-Mminerale

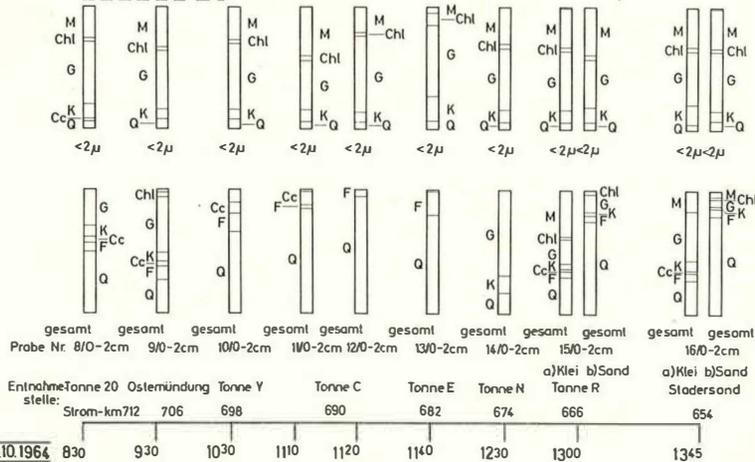
11



Schwebstoffproben:



Sedimentproben:



610.1964

Tafel 6 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiada)

Probeentnahme, Bearbeitungsgang, Untersuchungsverfahren und Auswertung wurden bereits bei der Beschreibung ähnlicher Untersuchungen an Schwebstoffen im Nordostsee-Kanal dargestellt (H. KRUMM, G. RHEINHEIMER 1966), worauf zu verweisen hier genügen mag. Zur Gegenüberstellung kristallisierter (= minerogener) und amorpher (= organogener) Substanz ist noch hinzuzufügen, daß Oxydationsversuche mit H_2O_2 auch hier, wie bisher stets, keine eindeutigen Resultate ergaben infolge unterschiedlicher Resistenz der organischen Substanzen. Stärkere Eingriffe verboten sich durch die Gefahr der Veränderung und Zerstörung der Tonminerale.

Elbelängsprofil zwischen Altenbruch und Stadersand (6. 10. 1964)

Zur Auffindung des Schwebstoffmaximums wurden auf diesem sich über etwa 60 km erstreckenden Längsprofil an 9 Stellen in drei bzw. vier verschiedenen Wassertiefen insgesamt 30 Schwebstoffproben auf die Gesamtschwebstoffmenge und die Zusammensetzung der anorganischen Schwebstoff-Anteile untersucht. Auf jeder Station wurden außerdem möglichst viele Bodenproben genommen, um möglicherweise erkennbare Zusammenhänge zwischen Schwebstoff und den faziesbedingt rasch wechselnden Sedimenten zu erfassen. Die Verteilung der Gesamtschwebstoff-Mengen (s. Abb. 9) zeigt ein sehr deutliches Maximum, dessen Basis auf der Stromsohle zwischen Brunsbüttel und Krautsand liegt, dessen Scheitel (infolge des in größeren Wassertiefen bereits hereindrückenden Flutstroms?) zum dargestellten Zeitpunkt unter den gegebenen Gezeitenverhältnissen zwischen Brockdorf und Krautsand liegt. Als Maximalwerte treten hier an der Stromsohle bis zu 557 mg/l Gesamtschwebstoff auf, dem ein Oberflächen-Maximalwert von 210 mg/l gegenübersteht. Es ist anzunehmen, daß zwischen dem eben genannten Einfluß des Flutstromes und der beim vorhergehenden Stillwasser verstärkten Sedimentation aus dem Oberflächenbereich hier nicht weiter auflösbare, komplexe Zusammenhänge bestehen. Der in Probe 12/16 m festgestellte und aus der allgemeinen Entwicklung herausfallende Wert von 235 mg/l läßt mehrere Deutungen zu, die aber den hier darzustellenden großen Rahmen nicht beeinflussen.

Wie sind nun diese Proben stofflich zusammengesetzt?

An den im folgenden besprochenen Abb. 10 und 11 fällt zunächst auf, daß sich das deutliche Schwebstoffmaximum der Abb. 9 weder im Verhältnis der kristallisierten zu den amorphen Schwebstoffanteilen (Abb. 10) noch in der Zusammensetzung der kristallinen minerogenen Schwebstoffe selbst (Abb. 11) ausgeprägt wiederfinden läßt. Abb. 10 zeigt, daß manchmal nur etwa 30%, häufig < etwa 50% aus kristalliner Materie bestehen. Im hier nicht näher unterteilten, nicht kristallinen Rest machen neben anderen organogenen Substanzen mikroskopisch in großer Menge feststellbare Diatomeenschalen den Hauptanteil aus. Dieses Verhältnis der röntgenamorphen zu den kristallinen Anteilen (gedeutet als Verhältnis organogenen zu anorganogenen) zeigt nun eben über der Stromsohle eine Zunahme der organogenen Bestandteile bei den Proben 11/14 m und 12/16 m, im nächsthöheren Untersuchungsniveau eine in 13/6 m und an der Wasseroberfläche eine entsprechende bei 14/0 m. Diese von der Stromsohle zur Wasseroberfläche fortschreitende Verschiebung mit der Zeit muß als Einfluß einer vor der einsetzenden Flut vor sich gegangenen Aussedimentation während der für die Wassertiefe jeweils geltenden Stillwasserzeit gedeutet werden. Für die Wasseroberfläche fällt dieser Vorgang allerdings nach den Gezeitentafeln nicht ganz mit dem Stillwasser zusammen, sondern in den ersten Abschnitt der einsetzenden Flut. Mit stärkerer Zunahme des Flut-

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 6)

Abb. 11. Mineralzusammensetzung von Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben aus der Niederelbe zwischen Altenbruch und Stadersand (6. 10. 1964).

stromes und zugleich mit Erreichen des nach allen Literaturangaben wohl stärker orographisch als vom Gezeitenverlauf beeinflussten Bereiches des Schlickfallmaximums wird jetzt ein ebenfalls phasenverschobenes flaches Maximum der anorganischen Anteile erkennbar (Probe 13/13 m, 14/10 m, 14/5 m und 15/0 m bis 16/0 m). Diese prozentuale (= relative) Anreicherung der anorganischen Komponenten fällt zusammen mit der absoluten Erhöhung des Schwebstoffgehaltes (s. Abb. 9: 13/13 m 557 mg/l, 14/10 m 313 mg/l, 14/5 m 368 mg/l). Das könnte also bedeuten: mit der einsetzenden Flut werden an dieser Stelle besonders große Mengen anorganischer Substanzen stromauf verfrachtet. Die größte Transportwirkung läge dabei wenige m über der Stromsohle. Da auch sonst eine Zunahme der minerogenen Komponenten mit zunehmender Stromgeschwindigkeit festgestellt wurde, scheint diese Deutung wahrscheinlicher als die Annahme einer Abhängigkeit vom Schwebstoffmaximum.

Bei den vorher entnommenen Proben ist keine so deutliche Abhängigkeit zu erkennen. Das könnte sehr gut auf die hydrodynamisch bedingten geringeren Transportkräfte während des Niedrigwasserzustandes zurückzuführen sein, vielleicht auch auf ein Interferieren dieser Ursache mit lokalen orographischen und topographischen Einflüssen (Mündungen von Nebenflüssen z. B.).

Die Darstellung der Zusammensetzung der Sedimentproben in Abb. 10 (untere Säulenreihe: Gesamtproben, obere Säulenreihe: Fraktion $< 2 \mu$ Äquivalentdurchmesser) zeigt ein sehr wechselvolles Nebeneinander von an organogenen Substanzen reichen bis zu praktisch von organogenen Anteilen freien Gesamtproben und Fraktionen. Es ist innerhalb der ganzen Profilstrecke keine Entwicklungstendenz erkennbar und auch zwischen den Schwebstoffproben und den von denselben Stellen gewonnenen Sedimentproben bestehen keine erkennbaren Beziehungen. Transport und Sedimentation sind hier im gezeitenbeeinflussten Ästuarbereich eben nicht nur einfach Gegensätze, sondern stehen in so vielfältiger Beziehung zueinander, daß der aus oben Gesagtem naheliegende Schluß eines über weitere Strecken (z. B. von See her) reichenden Transportes der anorganischen Schwebstoffanteile — wenn überhaupt — dann nur durch ein sehr enges, synchron gewonnenes Schwebstoff-Probenetz zu beweisen wäre.

In Abb. 11 sind die Verteilungen der einzelnen Minerale innerhalb der gleich 100% gesetzten kristallinen anorganischen Schwebstoff-Anteile in Abhängigkeit von Orographie, Gezeiten und Wassertiefe dargestellt. Der Vergleich zwischen dieser und der Abb. 9 zeigt, daß die prozentuale Zusammensetzung der mineralischen Schwebfracht keine klar hervortretende Relation zur Lage des Schwebstoff-Maximums erkennen läßt. Der über die ganze Profilstrecke ziemlich einheitliche Mineralbestand setzt sich zusammen aus etwas Quarz und Feldspäten als relativ gröberen detritischen Komponenten gegenüber viel Glimmermineralen (einschließlich Illit), etwas Montmorillonit-, wenig Kaolinit- und Chlorit-Mineralen, die den feinkörnigeren Tonanteil aufbauen. Der daneben auftretende Calcit geht nach mikroskopischen Untersuchungen zu einem großen Teil auf noch erkennbare Organismenreste zurück. Die in den Proben 13/13 m und 13/6 m zu beobachtende Zunahme von Quarz und gleichzeitig Feldspäten wurde oben als erhöhte Transportleistung bei zunehmender Flutströmung gedeutet. Da ein entsprechendes Maximum im Oberflächenwasser nicht erkennbar wird, muß man bei Beibehaltung dieser Deutung folgern, daß die zunehmende Transportwirkung des Flutstromes nicht bis zur Oberfläche gereicht habe. Da dies aber nach Abb. 9 und 12 der Fall ist, scheint folgende Deutung der Wahrheit näher zu kommen: es sind die während

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 7)

Abb. 12: Verteilung der Gesamtschwebstoff-Mengen für die Ankerstation Brokdorf/Niederelbe am 7. 10. 1964.

Probeentnahme, Bearbeitungsgang, Untersuchungsverfahren und Auswertung wurden bereits bei der Beschreibung ähnlicher Untersuchungen an Schwebstoffen im Nordostsee-Kanal dargestellt (H. KRUMM, G. RHEINHEIMER 1966), worauf zu verweisen hier genügen mag. Zur Gegenüberstellung kristallisierter (= minerogener) und amorpher (= organogener) Substanz ist noch hinzuzufügen, daß Oxydationsversuche mit H_2O_2 auch hier, wie bisher stets, keine eindeutigen Resultate ergaben infolge unterschiedlicher Resistenz der organischen Substanzen. Stärkere Eingriffe verboten sich durch die Gefahr der Veränderung und Zerstörung der Tonminerale.

Elbelängsprofil zwischen Altenbruch und Stadersand (6. 10. 1964)

Zur Auffindung des Schwebstoffmaximums wurden auf diesem sich über etwa 60 km erstreckenden Längsprofil an 9 Stellen in drei bzw. vier verschiedenen Wassertiefen insgesamt 30 Schwebstoffproben auf die Gesamtschwebstoffmenge und die Zusammensetzung der anorganischen Schwebstoff-Anteile untersucht. Auf jeder Station wurden außerdem möglichst viele Bodenproben genommen, um möglicherweise erkennbare Zusammenhänge zwischen Schwebstoff und den faziesbedingt rasch wechselnden Sedimenten zu erfassen. Die Verteilung der Gesamtschwebstoff-Mengen (s. Abb. 9) zeigt ein sehr deutliches Maximum, dessen Basis auf der Stromsohle zwischen Brunsbüttel und Krautsand liegt, dessen Scheitel (infolge des in größeren Wassertiefen bereits hereindrückenden Flutstroms?) zum dargestellten Zeitpunkt unter den gegebenen Gezeitenverhältnissen zwischen Brockdorf und Krautsand liegt. Als Maximalwerte treten hier an der Stromsohle bis zu 557 mg/l Gesamtschwebstoff auf, dem ein Oberflächen-Maximalwert von 210 mg/l gegenübersteht. Es ist anzunehmen, daß zwischen dem eben genannten Einfluß des Flutstromes und der beim vorhergehenden Stillwasser verstärkten Sedimentation aus dem Oberflächenbereich hier nicht weiter auflösbare, komplexe Zusammenhänge bestehen. Der in Probe 12/16 m festgestellte und aus der allgemeinen Entwicklung herausfallende Wert von 235 mg/l läßt mehrere Deutungen zu, die aber den hier darzustellenden großen Rahmen nicht beeinflussen.

Wie sind nun diese Proben stofflich zusammengesetzt?

An den im folgenden besprochenen Abb. 10 und 11 fällt zunächst auf, daß sich das deutliche Schwebstoffmaximum der Abb. 9 weder im Verhältnis der kristallisierten zu den amorphen Schwebstoffanteilen (Abb. 10) noch in der Zusammensetzung der kristallinen minerogenen Schwebstoffe selbst (Abb. 11) ausgeprägt wiederfinden läßt. Abb. 10 zeigt, daß manchmal nur etwa 30%, häufig < etwa 50% aus kristalliner Materie bestehen. Im hier nicht näher unterteilten, nicht kristallinen Rest machen neben anderen organogenen Substanzen mikroskopisch in großer Menge feststellbare Diatomeenschalen den Hauptanteil aus. Dieses Verhältnis der röntgenamorphen zu den kristallinen Anteilen (gedeutet als Verhältnis organogenen zu anorganogenen) zeigt nun eben über der Stromsohle eine Zunahme der organogenen Bestandteile bei den Proben 11/14 m und 12/16 m, im nächsthöheren Untersuchungsniveau eine in 13/6 m und an der Wasseroberfläche eine entsprechende bei 14/0 m. Diese von der Stromsohle zur Wasseroberfläche fortschreitende Verschiebung mit der Zeit muß als Einfluß einer vor der einsetzenden Flut vor sich gegangenen Aussedimentation während der für die Wassertiefe jeweils geltenden Stillwasserzeit gedeutet werden. Für die Wasseroberfläche fällt dieser Vorgang allerdings nach den Gezeitentafeln nicht ganz mit dem Stillwasser zusammen, sondern in den ersten Abschnitt der einsetzenden Flut. Mit stärkerer Zunahme des Flut-

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 6)

Abb. 11. Mineralzusammensetzung von Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben aus der Niederelbe zwischen Altenbruch und Stadersand (6. 10. 1964).

stromes und zugleich mit Erreichen des nach allen Literaturangaben wohl stärker orographisch als vom Gezeitenverlauf beeinflussten Bereiches des Schlickfallmaximums wird jetzt ein ebenfalls phasenverschobenes flaches Maximum der anorganischen Anteile erkennbar (Probe 13/13 m, 14/10 m, 14/5 m und 15/0 m bis 16/0 m). Diese prozentuale (= relative) Anreicherung der anorganischen Komponenten fällt zusammen mit der absoluten Erhöhung des Schwebstoffgehaltes (s. Abb. 9: 13/13 m 557 mg/l, 14/10 m 313 mg/l, 14/5 m 368 mg/l). Das könnte also bedeuten: mit der einsetzenden Flut werden an dieser Stelle besonders große Mengen anorganischer Substanzen stromauf verfrachtet. Die größte Transportwirkung läge dabei wenige m über der Stromsohle. Da auch sonst eine Zunahme der minerogenen Komponenten mit zunehmender Stromgeschwindigkeit festgestellt wurde, scheint diese Deutung wahrscheinlicher als die Annahme einer Abhängigkeit vom Schwebstoffmaximum.

Bei den vorher entnommenen Proben ist keine so deutliche Abhängigkeit zu erkennen. Das könnte sehr gut auf die hydrodynamisch bedingten geringeren Transportkräfte während des Niedrigwasserzustandes zurückzuführen sein, vielleicht auch auf ein Interferieren dieser Ursache mit lokalen orographischen und topographischen Einflüssen (Mündungen von Nebenflüssen z. B.).

Die Darstellung der Zusammensetzung der Sedimentproben in Abb. 10 (untere Säulenreihe: Gesamtproben, obere Säulenreihe: Fraktion $< 2 \mu$ Äquivalentdurchmesser) zeigt ein sehr wechselvolles Nebeneinander von an organogenen Substanzen reichen bis zu praktisch von organogenen Anteilen freien Gesamtproben und Fraktionen. Es ist innerhalb der ganzen Profilverreihe keine Entwicklungstendenz erkennbar und auch zwischen den Schwebstoffproben und den von denselben Stellen gewonnenen Sedimentproben bestehen keine erkennbaren Beziehungen. Transport und Sedimentation sind hier im gezeitenbeeinflussten Ästuarbereich eben nicht nur einfach Gegensätze, sondern stehen in so vielfältiger Beziehung zueinander, daß der aus oben Gesagtem naheliegende Schluß eines über weitere Strecken (z. B. von See her) reichenden Transportes der anorganischen Schwebstoffanteile — wenn überhaupt — dann nur durch ein sehr enges, synchron gewonnenes Schwebstoff-Probennetz zu beweisen wäre.

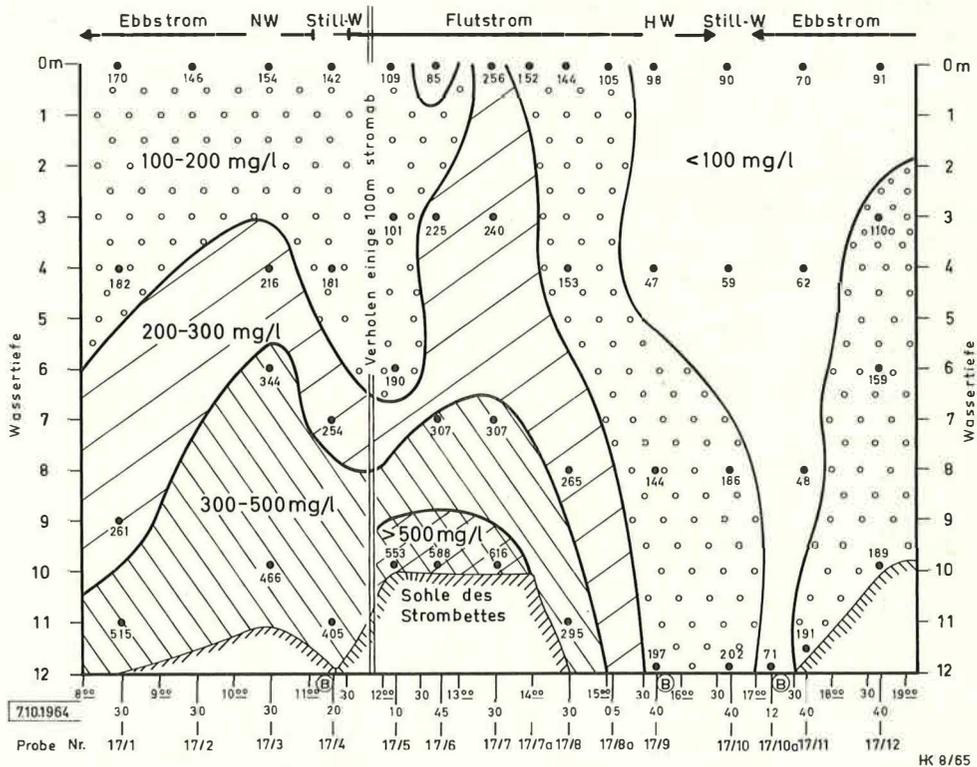
In Abb. 11 sind die Verteilungen der einzelnen Minerale innerhalb der gleich 100% gesetzten kristallinen anorganischen Schwebstoff-Anteile in Abhängigkeit von Orographie, Gezeiten und Wassertiefe dargestellt. Der Vergleich zwischen dieser und der Abb. 9 zeigt, daß die prozentuale Zusammensetzung der mineralischen Schwebfracht keine klar hervortretende Relation zur Lage des Schwebstoff-Maximums erkennen läßt. Der über die ganze Profilstrecke ziemlich einheitliche Mineralbestand setzt sich zusammen aus etwas Quarz und Feldspäten als relativ größeren detritischen Komponenten gegenüber viel Glimmermineralen (einschließlich Illit), etwas Montmorillonit-, wenig Kaolinit- und Chlorit-Mineralen, die den feinkörnigeren Tonanteil aufbauen. Der daneben auftretende Calcit geht nach mikroskopischen Untersuchungen zu einem großen Teil auf noch erkennbare Organismenreste zurück. Die in den Proben 13/13 m und 13/6 m zu beobachtende Zunahme von Quarz und gleichzeitig Feldspäten wurde oben als erhöhte Transportleistung bei zunehmender Flutströmung gedeutet. Da ein entsprechendes Maximum im Oberflächenwasser nicht erkennbar wird, muß man bei Beibehaltung dieser Deutung folgern, daß die zunehmende Transportwirkung des Flutstromes nicht bis zur Oberfläche gereicht habe. Da dies aber nach Abb. 9 und 12 der Fall ist, scheint folgende Deutung der Wahrheit näher zu kommen: es sind die während

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 7)

Abb. 12: Verteilung der Gesamtschwebstoff-Mengen für die Ankerstation Brokdorf/Niederelbe am 7. 10. 1964.

Ankerstation Brockdorf / Niederelbe 7./10./1964
Gesamtschwebstoff [mg/l]

12



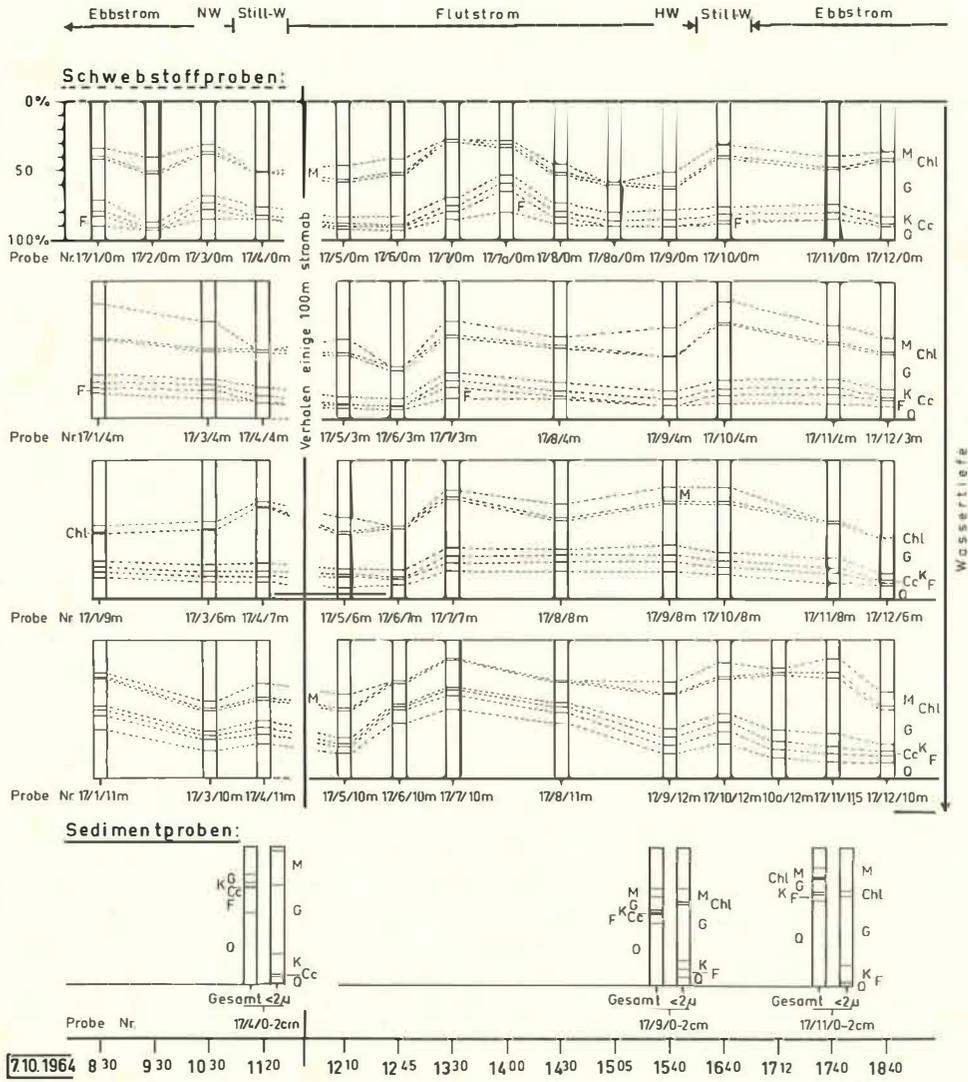
Tafel 7 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiolda)

13

Ankerstation Brockdorf/Niederelbe

Zusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben

Legende:
 Rest i wesentl. organ. Subst u Diatomeenschalen
 M = Montmorillonit-Minerale K = Kaolin-M, Cc = Calcit
 Chl = Chlorit-Minerale F = Feldspäte, Q = Quarz



Tafel 8 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiolda)

der Stillwasserzeit aussedimentierenden und in größerer Wassertiefe relativ angereicherten Grobanteile. Die Proben von der Wasseroberfläche zeigen von Probe 9/0 m an einen flußaufwärts stetig zunehmenden Anteil an (gröberen) Quarz- und Feldspat-Teilchen und zugleich eine Abnahme des Montmorillonit-Gehaltes (also der feinkörnigen Anteile). Während ersteres leichter als Transportverhalten gedeutet werden kann, gilt dies bei der Montmorillonit-Anreicherung möglicherweise wegen dessen komplexen Flockungsverhaltens nicht in so einfacher Weise.

Aus der gleich 100 gesetzten mineralischen Zusammensetzung der Sedimentproben ist zu erkennen, daß diese dieselben Minerale enthalten, die auch in den darüber suspendierten Schwebstoffen vorkommen. Bei den Sedimenten überwiegen im allgemeinen die (gröberen) Quarz und Feldspat-Anteile, im Schweb dagegen die (feinkörnigeren) Tonanteile, insbesondere Glimmer und Montmorillonit. Eine Beziehung zwischen Sedimentproben und Schwebstoffproben ist, wie oben bereits erwähnt, nicht feststellbar infolge des raschen und starken faziellen Wechsels der Bodensedimente.

Ankerstation Brockdorf

a) Am 7. 10. 1964 wurden auf einer ersten Ankerstation im Bereich des Schlickfallmaximums bei Brockdorf über 12 Stunden mit mindestens stündlichen, z. T. auch engeren Abständen Schwebstoffproben jeweils von der Wasseroberfläche und aus drei verschiedenen Wassertiefen entnommen. Dabei wurde der Gezeitenzyklus von einer Ebbtide bis zur nächsten erfaßt (s. Abb. 12). Leider wurde es nötig, zwischen 11.30 und 12.00 Uhr die Station einige 100 m stromab zu verlegen. In Abb. 12 tritt ein nach diesem Verholen mit dem Flutstrom einsetzendes Gesamtschwebstoffmaximum sehr deutlich hervor, wobei an der Oberfläche bis zu 250 mg/l, an der Stromsohle bis zu 600 mg/l an Gesamtschwebstoffkonzentrationen festgestellt wurden. Bis zum Stillwasser sinkt die Konzentration dann ziemlich gleichmäßig auf unter 100 mg/l sogar bis zur Stromsohle herunter, um mit einsetzendem Ebbstrom allmählich wieder zuzunehmen. Wenn man trotz des Verholens die vorher während der Ebbe auf den Stationen 17/1 bis 17/4 gemessenen Werte hier anfügt, erscheint durch Flächen- und Konzentrationsvergleich die vom Ebbstrom transportierte Schwebstoff-Konzentration ebenso groß oder etwas größer zu sein als beim Flutstrom. Das Stillwasser-Minimum zwischen Ebbe und Flut ist danach, wie deutlich erkennbar, nicht so ausgeprägt wie jenes zwischen Flut und Ebbe.

D. h. also für diese gerade erfaßten lokalen und zeitlichen Verhältnisse: Die Konzentrationen an Schweb- und Sinkstoffen mögen für Ebb- und Flutstrom etwa gleich sein, vielleicht überwiegt der Ebbstrom etwas. Dagegen wird nach dem Flutstrom sehr viel stärker aussedimentiert als nach dem Ebbstrom. (Vgl. mit Abb. 15 u. S. 50).

In Abb. 13 ist die Zusammensetzung der Schwebstoff-Gesamt- und Sedimentproben dieser Ankerstation graphisch aufgetragen. Das Verhältnis der kristallinen zu den röntgenamorphen Anteilen folgt bei den Oberflächenproben deutlich dem Gezeitenrhythmus: während des Ebbstromes (17/1 bis 17/3) ist der minerogene Anteil höher als während Stillwasser und einsetzendem Flutstrom (17/4 und 17/5). Er erreicht während der Flut wiederum ein Maximum (17/6 bis 17/7 a), dem ein Minimum (17/8 a) allerdings schon vor Hochwasser folgt. Bei Stillwasser (17/10) erreicht der kristallisierte Anteil sogar ein deutliches Maximum. Da die Gesamtschwebstoffmenge gleichzeitig stark sinkt, muß gefolgert werden, daß der organogene Detritus ziemlich grob ist und rascher sedimentiert als die feineren minerogenen Bestandteile. Diese Abfolge ist auch, etwas aus-

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 8)

Abb. 13: Zusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben von der Ankerstation Brokdorf/Niederelbe (7. 10. 1964).

geglicher, in größeren Wassertiefen feststellbar, wobei der minerogene Anteil mit zunehmender Wassertiefe ebenfalls größer wird. Bei den Stationen 17/1 bis 17/4 scheinen die Verhältnisse ähnlich zu liegen und einen Anschluß an die übrigen Stationen zu ermöglichen.

D. h. also; Es besteht, in Abb. 13 gut erkennbar, ein ausgeprägter und auch ganz verständlicher Zusammenhang zwischen zunehmender Strömungsgeschwindigkeit und zunehmendem Mineralgehalt der Schwebstoffe. Im Gegensatz dazu erscheint die relative Anreicherung der Mineralanteile bei Hochwasser und dem folgenden Stillwasser nur durch unterschiedliche Sedimentationsgeschwindigkeit deutbar.

Die Darstellung der Mineralzusammensetzung in Abb. 14 zeigt für die (gröberen) Komponenten Quarz und Feldspat ein deutliches Flut- und ein schwaches Ebb-Maximum, besonders ausgeprägt in Bodennähe. Die Tonminerale dagegen, vor allem der besonders feinkörnige Montmorillonit, erscheinen in relativ stärkerer Anreicherung während des Schwächerwerdens der Gezeitenströmung. Sie erfüllen auch das oben genannte, während Hoch- und folgendem Stillwasser auftretende Maximum der Mineralanteile, wogegen hier die gröberen Quarz- und Feldspat-Anteile niedrig bleiben. Das unterstützt die bereits besprochene Vorstellung einer Sedimentations-Sonderung.

Als Ausdeutung der Untersuchungsergebnisse dieser Ankerstation ergibt sich demnach:

An dieser Stelle und unter den gegebenen lokalen und zeitlichen Bedingungen werden bei Flut mehr Quarz und Feldspäte, also gröbere Korngrößen, flußauf transportiert, dagegen bei Ebbe relativ mehr Tonminerale flußabwärts. Hier wird ein Sortierungseffekt erkennbar. Bei nahezu ausgeglichenen Schwebstoff-Konzentrationen ist ohne eingehendere Kenntnis der Stromgeschwindigkeiten (und Wassermengen) über das Ausmaß dieser Sortierung noch keine Abschätzung möglich.

b) Am 8. 10. 1964 ergibt sich für die Gesamtschwebstoff-Verteilung (Abb. 15) ein gegenüber dem Vortag etwas verändertes Bild. Zwar nimmt auch hier die Schwebstoff-Führung von ~ 100 mg/l (Oberfläche bei Stillwasser) bis maximal fast 600 mg/l zu (einsetzender Flutstrom am Boden). Ebenso setzt vom Ebbstrom-Maximum ein allmähliches Abfallen zum Stillwasser-Minimum ein, das ähnlich wie am Tage vorher nur wenig ausgeprägt ist. Auch das mit beginnendem Flutstrom entstehende Maximum mit > 500 mg/l Gesamtschwebstoffgehalt tritt wieder auf. Jedoch ist hierüber kein bis zur Wasseroberfläche reichendes Flutstrom-Maximum mehr erkennbar. Der Versuch einer Abschätzung der Schwebstoff-Konzentrationen ist hier wegen unterschiedlicher Meßdauer und nicht völliger Erfassung beider Gezeitenphasen nur unzureichend. Man kommt zu deutlich höheren Schwebstoff-Konzentrationen für den Ebbstrom. Die Zusammensetzung der Gesamtproben (Abb. 16) zeigt, daß in 12 und auch noch in 8 m Wassertiefe deutliche Maxima der kristallisierten minerogenen Anteile bei Ebb- und Flutstrom auftreten, entsprechende Minima während Niedrig- und Stillwasser. In 4 m Wassertiefe und an der Wasseroberfläche sind diese Zusammenhänge nicht mehr erkennbar. Die in Abb. 17 dargestellte Mineralzusammensetzung ergibt wieder eine allerdings schwächer ausgeprägte Zunahme für Quarz und Feldspäte bei Ebb- bzw. Flutstrom mit geringer Abnahme um Stillwasser. Auch hier finden sich die höchsten Quarz- und Feldspat-Gehalte in Bodennähe. Montmorillonit nimmt umgekehrt an der Wasseroberfläche und bei 4 m während Stillwasser relativ zu und mit Ebb- bzw. Flutstrom ab.

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 9)

Abb. 14: Mineralzusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben von der Ankerstation Brokdorf/Niederelbe (7. 10. 1964).

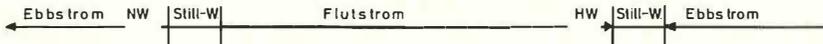
Ankerstation Brockdorf/Niederelbe

Mineralzusammensetzung der Schwebstoff- Gesamtproben und Sedimentproben

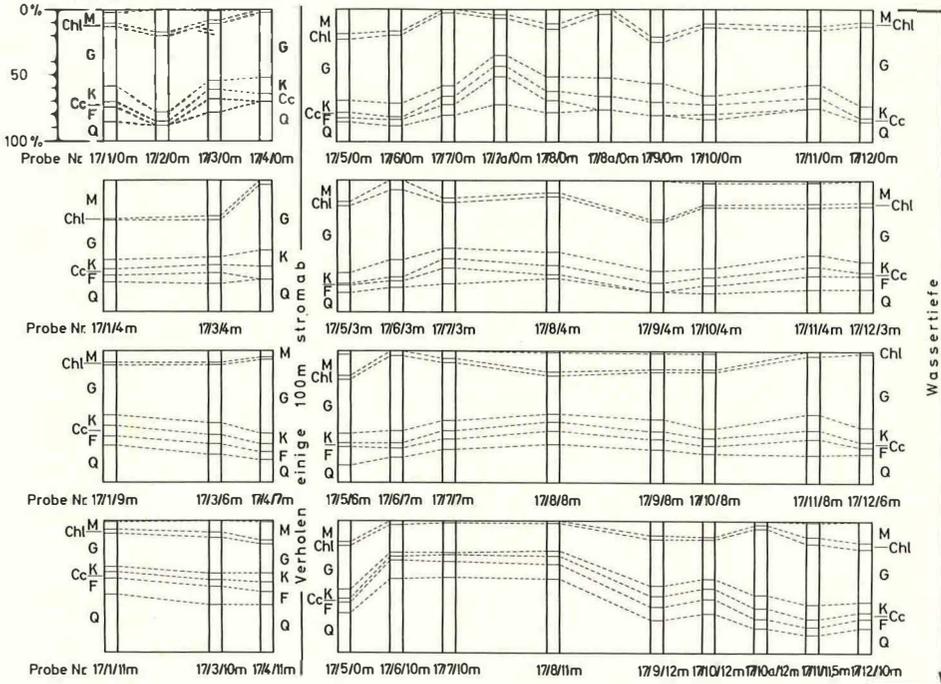
Legende:

- M = Montmorillonit-Minerale K = Kaolin-M., Cc = Calcit
- Chl = Chloritminerale F = Feldspäte, Q = Quarz
- G = Glimmer-Minerale

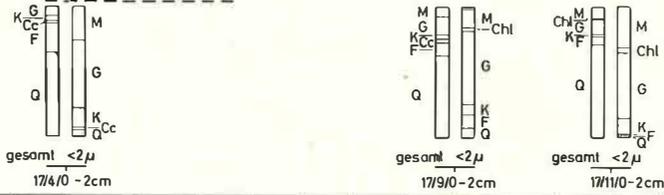
14



Schwebstoffproben:



Sedimentproben:



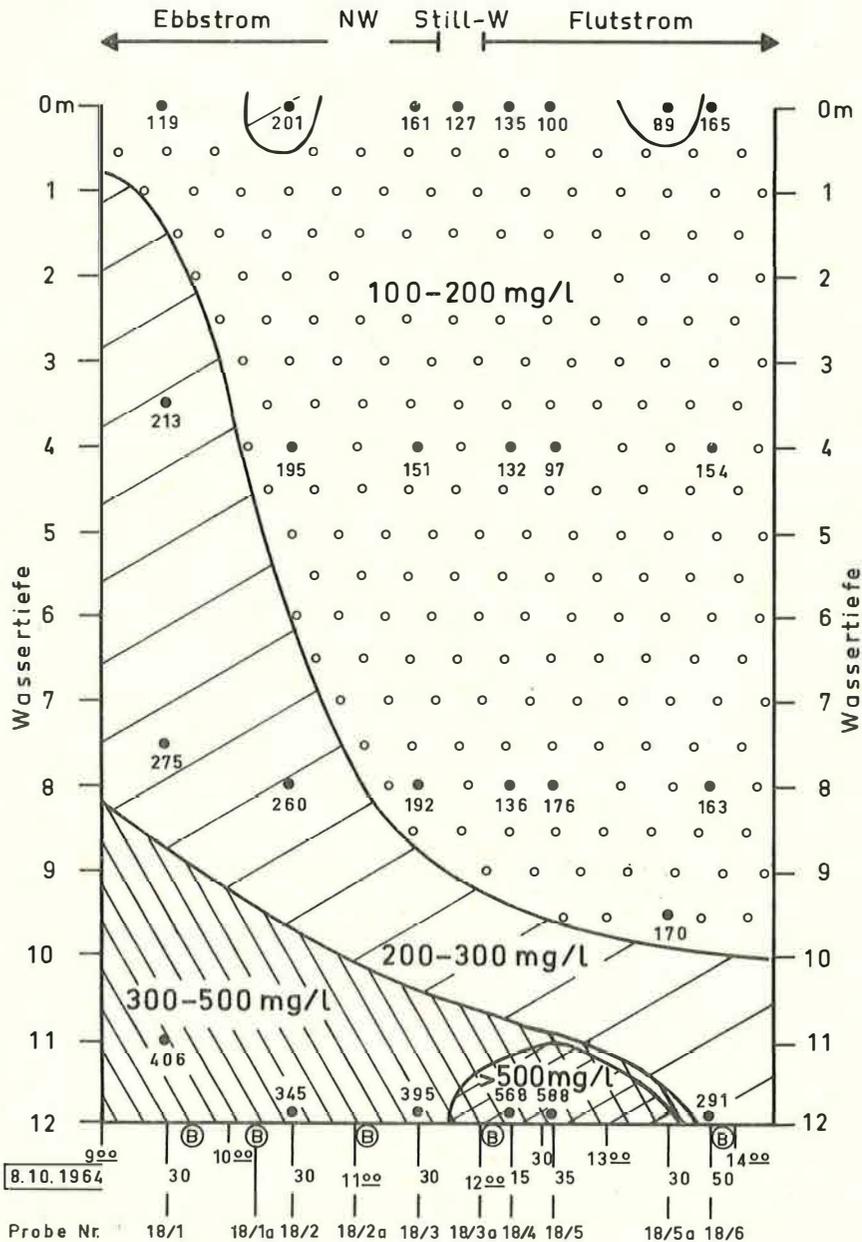
7.10.1964 830 930 1030 1120 1210 1245 1330 1400 1430 1505 1540 1640 1712 1740 1840

Tafel 9 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekielca)

Ankerstation Brockdorf / Niederelbe 8.10.1964

Gesamtschwebstoff [mg/l]

15



HK 8/65

Tafel 10 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekielda)

Bei 8 m Wassertiefe ist dieses Verhalten nicht mehr, bei 12 m nur ganz schwach angedeutet. Bei den Sedimentproben 18/1, 18/1a und 18/4 reichte die vorhandene Menge für die Fraktionierung $< 2 \mu$ nicht mehr aus. Bei 18/2/0—2 cm war die mit „feinstes“ bezeichnete Probe an Bord beim Verpacken bereits abdekantiert worden. Sie wurde nachher wieder mit der Probe vereinigt.

Die Ausdeutung der Untersuchungsergebnisse dieser Ankerstation ergibt somit:

Ogleich nicht so stark ausgeprägt wie bei der Ankerstation des Vortages ist auch hier erkennbar, daß mit dem Flutstrom in Bodennähe größere Anteile minerogener Komponenten flußaufwärts befördert werden, wobei Quarz und Feldspäte noch einen flußaufwärts gerichteten Sortierungseffekt ahnen lassen.

Zusammenfassung der Ergebnisse über die Mineralverteilung im gezeitenbewegten Schweb der Niederelbe:

Es ist keine eindeutige Abhängigkeit der Gesamt- wie auch der Mineralzusammensetzung von der Lage des Schwebstoffmaximums feststellbar. Es handelt sich hierbei also nur um eine allgemeine Erhöhung der Feststoffkonzentration, nicht um eine spezifische Mineralanreicherung und auch nicht um eine Anreicherung der organogenen Komponenten insgesamt. Eine detaillierte Untersuchung der organischen Bestandteile wäre als weiterer Schritt dringend zu wünschen, auch als Basis für eingehendere kolloidchemische Überlegungen hinsichtlich der Schlickbildung. Bei eigenen Versuchen hierzu ließ sich aus der Form der DTA-Kurven stets nur vorwiegend auf Holz und Zellulose schließen.

Diese röntgenamorphen organogenen Substanzen bleiben z. T. sehr viel länger in Schwebelag als die minerogenen Bestandteile. Von letzteren sind Quarz und Feldspat als i. allg. gröbere Komponenten stark strömungstransportabhängig, dagegen die Tonminerale und bei diesen offenbar besonders die Montmorillonit-Minerale als feinkörnigste auch bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten noch in Schwebelag. Hier wird also ein ausgeprägter Transportsonderungsvorgang wirksam. Wir sahen, daß mit der Flut größere Anteile an Sandkorngrößen (Quarz und Feldspat) flußauf wandern, mit der Ebbe dagegen vorzugsweise Tonkorngrößen (Tonminerale) flußabwärts.

Zur Frage der Bildung des Schlickfall-Maximums

Die Kenntnis der Herkunfts- und Transportverhältnisse ist deshalb so wichtig, weil doch die Frage nach den Bedingungen des Schlickfalls, geologisch interpretiert, lauten muß: Was weiß man über

1. die Herkunft und den Transport
2. die Zusammensetzung
3. die Sedimentation
4. eine eventuelle Wiederaufarbeitung

der Schwebstoffe?

Da in der qualitativen mineralogischen Zusammensetzung aller untersuchten Schwebstoff-Proben von Holtenu an der Kieler Förde bis Otterndorf bei Cuxhaven und elbaufwärts bis Stadersand keine auswertbaren Unterschiede feststellbar sind, sind auf diese Weise auch keine Leitminerale für die Herkunft der Schwebstoffe auffindbar, wie es z. B. für die Sandkorngrößen durch Auswertung des Schwermineralinhaltes möglich ist. Die Gleichförmigkeit der Mineralzusammensetzung der Schwebstoffproben reicht noch viel weiter, wie eigene Untersuchungen aus der Kieler Förde, der Ostsee und von

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 10)

Abb. 15: Verteilung der Gesamtschwebstoff-Mengen für die Ankerstation Brokdorf/Niederelbe am 8. 10. 1964.

Material aus dem Gebiet der Außenelbe und dem ostfriesischen Wattenbereich gezeigt haben. Stets ist die Zusammensetzung recht einheitlich und entspricht derjenigen der Feinfraktion praktisch aller Glazialablagerungen und der marinen Sedimente dieses Gebietes, die beide ja auch das wichtigste Ausgangsmaterial darstellen. Diese Übereinstimmung konnte an mehreren hundert Proben überprüft werden, die vom Verfasser in den letzten Jahren im norddeutschen und skandinavischen Bereich entnommen und im Geologischen Institut der Universität Kiel bearbeitet wurden.

In der quantitativen Mineralzusammensetzung eintretende Änderungen sind zu stark von Transportänderungsvorgängen über zunächst unbekannte Entfernungen abhängig, als daß sie ohne weiteres für Herkunfts- und Transportdeutung verwendbar wären. Hier wäre zwar ein Mittel, auch über die Transportvorgänge bei den Tonkorngrößen mehr zu erfahren, die Anwendung dürfte aber am dazu nötigen Aufwand scheitern, denn das Optimum wäre eine Schwebstoff-Entnahme synchron an möglichst vielen Punkten. Der durch Schwermineraluntersuchungen, z. B. von SIMON (1953) ermittelte Sandtransport von See in die Unterelbe ist nicht ohne weiteres auf die Bewegung der Tonkorngrößen mit ihrem andersartigen Transportverhalten (vgl. z. B. WHITEHOUSE und JEFFREY, 1954 a, 1954 b, 1958) übertragbar. Hier läge ein Ansatzpunkt für die Verwendung sehr feinkörniger, den Tonmineralen hydraulisch vergleichbarer Tracer-Materialien. In der Themse wurde mit radioaktiven Tracer-Methoden festgestellt, daß der „Schlammpropfen“ sich weitgehend statisch verhält und nur wenig Material nach See zu abgibt. (INGLIS und ALLEN, 1957.)

Zwar konnten in der vorliegenden Arbeit neben ersten Angaben über die Mineralzusammensetzung auch einige Hinweise auf das Transport- und Sedimentationsverhalten der Schwebstoffe gemacht werden. Für die Beurteilung des Transportes, der Sedimentation und einer eventuellen Wiederaufarbeitung der sedimentierten Schwebstoffe spielen m. E. die Flockungsvorgänge (vom elektrostatischen bis zur rein organogenen Verklebung) doch eine gewisse Rolle, die noch genauer untersucht sein müßte.

Über Einflüsse auf das Flockungsverhalten der Ton- und sonstigen Minerale gibt es eine reiche Literatur, und auch über die Bedeutung der Flockung bei der Bildung des Schwebstoff-Maximums in der Niederelbe sind z. T. recht unterschiedliche Ansichten geäußert worden.

Aus dem Studium der einschlägigen kolloidchemischen Literatur und einem Vergleich mit den im Elbe-Ästuar gemessenen Verhältnissen ergeben sich eine Reihe von Übereinstimmungen, die dazu zwingen, sich mit dem Flockungsproblem auf kolloidchemischer Grundlage näher zu befassen.

Nach einer Anzahl von Untersuchungen existiert ein Dispersionsbereich für Tonminerale in salzhaltigen Lösungen, der durch den Minimalwert von etwa 100 mg bis 300 mg Cl⁻/l nach unten und den Maximalwert von etwa 700 mg bis 900 mg Cl⁻/l nach oben begrenzt wird. Nach den Monatlichen Berichten der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg werden aber diese Minimal- und Maximalwerte gerade im Gezeiten- und Schlickfall-Bereich häufig durchlaufen.

Nach PACKHAM (1963, 1965) und anderen Autoren ist die Art der Partikel für das Flockungsverhalten nicht so wichtig, wie die Feinheit der Partikel und vor allem der pH-Wert des flüssigen Mediums. (Nur Montmorillonite scheinen dabei eine Ausnahme zu machen!) Nach diesen Untersuchungen flocken bei pH 7—8 sehr viele Substanzen, wenn sie genügend feindispers verteilt sind. Dieser Bereich von pH 7—8

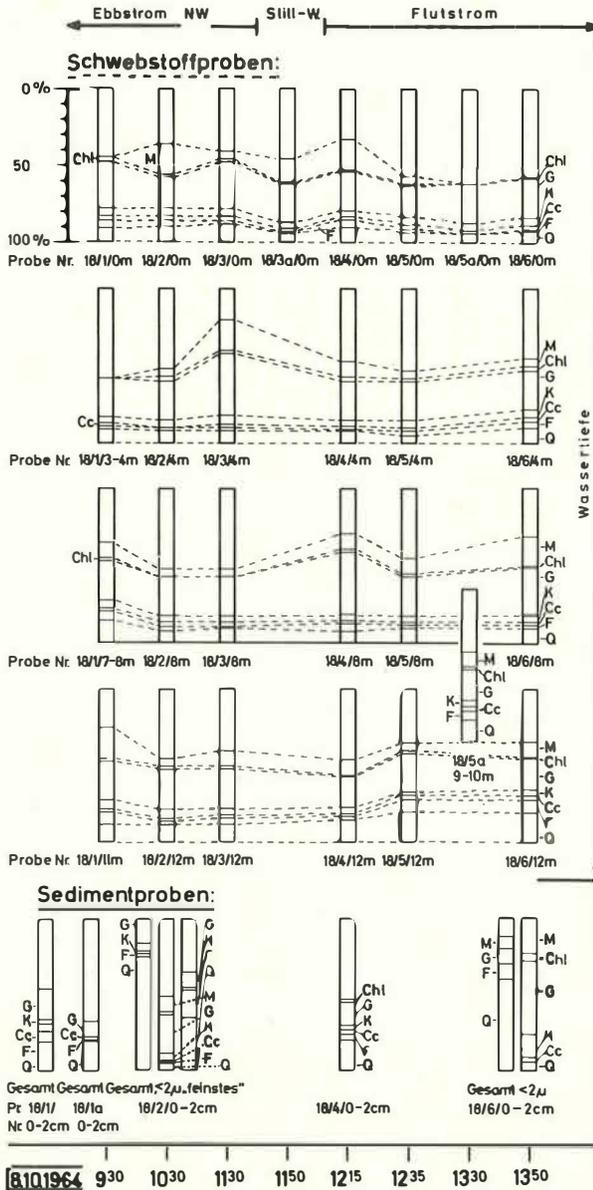
Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 11)

Abb. 16: Zusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben von der Ankerstation Brokdorf/Niederelbe (8. 10. 1964).

Ankerstation Brockdorf/Niederelbe 16
**Zusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben
 und Sedimentproben**

Legende:

M = Montmorillonit-Mineral	K = Kaolin-Mineral
Chl = Chlorit-Mineral	Cc = Calcit, F = Feldspäte
G = Glimmer-Mineral	Q = Quarz



Tafel 11 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiolda)

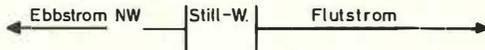
Ankerstation Brockdorf/Niederelbe

Mineralzusammensetzung der Schwebstoff- Gesamtproben und Sedimentproben

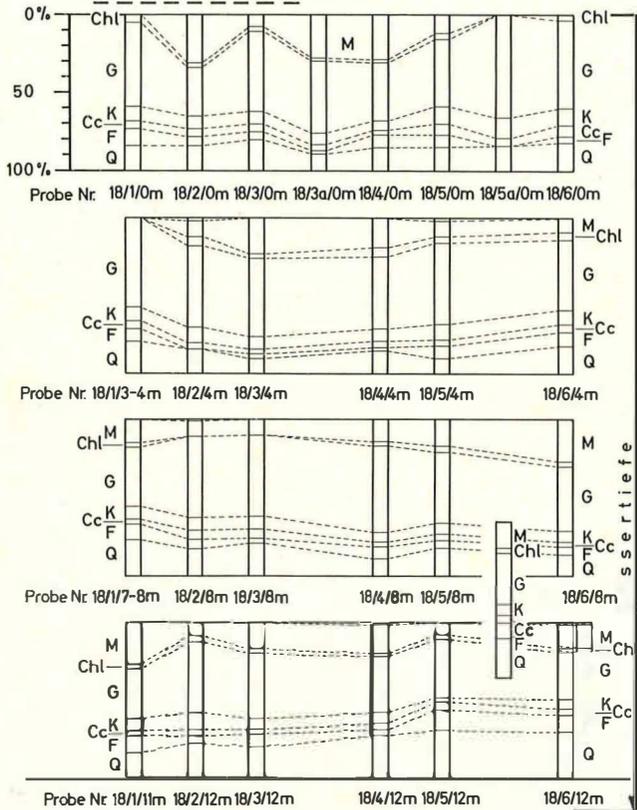
Legende:

M = Montmorillonit-Minerale K = Kaolin-M., Cc = Calcit
 Chl = Chlorit-Minerale F = Feldspäte, Q = Quarz
 G = Glimmer-Minerale

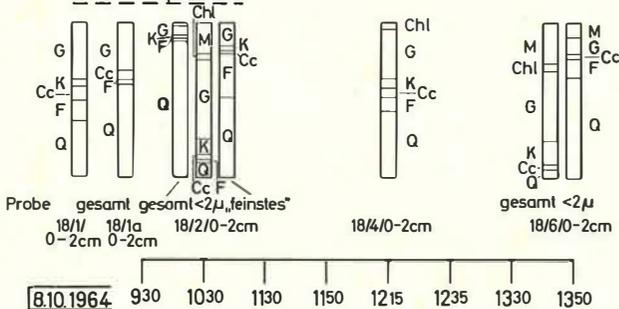
17



Schwebstoffproben:



Sedimentproben:



Tafel 12 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekielida)

wird im Gezeiten- und Schlickfall-Gebiet des Elbe-Ästuars häufig durchlaufen. Neben dem Einfluß der seewärts zunehmenden Salinität darf hier auch der mögliche Einfluß von Mikroorganismen auf den pH-Wert nicht vergessen werden.

Alle diese Tatsachen lassen einen Einfluß von Flockungs- und Entflockungsvorgängen auf Transport und Sedimentation im Zusammenhang mit der Bildung des „Schlickpropfens“ unserer Gezeitenflüsse als unvermeidbar erscheinen.

Schließlich bestehen Einflüsse durch die unterschiedlichen Temperaturen von Fluß- und Seewasser und ganz besonders auch Einflüsse einer kritischen Konzentration der Tonminerale, die für unterschiedliche Tonminerale und Kationenbelegungen verschiedenen sind, auf Flockungs- und Sedimentationsverhalten der Tonminerale.

Die verschiedenen organischen Substanzen und ihr unterschiedliches Verhalten (z. T. flockend, z. T. entflockend, z. B. KÖPPEN 1950) sind für das Schlickfall-Gebiet noch so weitgehend unbekannt, daß über ihren Einfluß nichts wirklich Klärendes vorliegt. Deswegen erscheint mir auch die Kenntnis der vorkommenden organischen Substanzen so wichtig zu sein.

Die Vielzahl der Einflüsse auf die schwierige Frage des Flockungsverhaltens zeigt die folgende Gegenüberstellung der hauptsächlichen Ursachen für

Flockung	und Entflockung
Van der Waals'sche Anziehungskräfte	Abstoßung infolge elektr. Doppelschicht
Elektrostatische Anziehung	Elektrostatische Abstoßung
Brückenbildung durch polyfunktionale lange Kettenmoleküle	„Entropie“ — Abstoßung
Brückenbildung durch zweite, flüssige Komponente	Hydratation
Verklebung durch organische Substanzen	Born'sche Abstoßung
	Schutzkolloidbildung

Manche dieser Ursachen sind sehr ähnlich, einige können sich in der Wirkung gegenseitig aufheben. Z. B. soll Kaolinit durch Humusstoffe als Schutzkolloide sehr viel stärker dispergiert werden als Illit oder Montmorillonit. Andererseits erniedrigt die Gegenwart von Humusstoffen aber den pH-Wert und befördert damit eine Ausflockung.

Nach РАСКНАМ (1963, 1965) sind einerseits Flockungsmittel und Wasserchemismus im allgemeinen bedeutsamer als die Art der festen Teilchen. Dies ermöglicht eine Erklärung des Schwebstoff-Maximums der Niederelbe unter Mitwirkung von Flockung. Andererseits stellt derselbe Autor fest, daß Suspensionen geringerer Konzentration eine höhere Stabilität und auch sonst ein anderes Verhalten als stärker konzentrierte Mineral-Suspensionen aufweisen.

Dies führt zur Möglichkeit folgender Deutung der Entstehung des Schlickfall-Maximums im Mündungsbereich der Gezeitenflüsse: Eine reine Konzentrationserhöhung in der „Sinkstoff-Falle“ bewirkt das Schwebstoff-Maximum, wobei dann beim Kreislauf des Materials in diesem Schlickpfropfen Flockung und Entflockung bei Transport und Sedimentation, also bei häufiger Umlagerung, mitwirken.

Wenn man von einem Zusammenwirken dieser beiden, bisher mehr einander gegenübergestellten Mechanismen und Vorgänge in etwa dieser Art ausgeht, scheint mir die Lösung der Frage nach Bildung und Erhaltung der Schwebstoff-Anreicherung etwas näher zu liegen. Natürlich können diese Ausführungen nur als Hinweise auf die Einflußmöglichkeiten gelten. Es muß das Ziel weiterer Bearbeitung sein, Ordnung in die Vielfalt

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 12)

Abb. 17: Mineralzusammensetzung der Schwebstoff-Gesamtproben und Sedimentproben von der Ankerstation Brokdorf/Niederelbe (8. 10. 1964).

der beobachteten Erscheinungen und Einflüsse zu bringen und sie mit zweckentsprechenden Untersuchungen am Objekt zu verfolgen, um zu sehen, inwieweit diese Vorstellung zutrifft.

Bakteriologische Untersuchungen

(G. Rheinheimer)¹⁾

Sowohl bei der Profifahrt von Altenbruch nach Stadersand am 6. Oktober als auch bei den Dauerstationen bei Scheelenkuhlen am 7. und 8. Oktober 1964 wurden bakteriologische Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluß der tidebedingten Schwankungen von Strömung, Salz- und Schwebstoffgehalt auf das Bakterienleben im mittleren Elbeaestuar zu studieren. Vor allem sollte einmal versucht werden, die durch diese Faktoren verursachten Veränderungen des Bakteriengehaltes und der Zusammensetzung der Bakterienflora im Verlauf der Tide zu ermitteln.

Zu diesem Zweck wurden Wasserproben von der Oberfläche und aus der Tiefe (d. h. etwa 0,5 m über Grund) steril entnommen und darin die Gesamtkeimzahlen der auf einem Süßwasser- und einem Meerwassernährboden wachsenden Bakterien bestimmt, sowie die Zahl der Coliformen und teilweise auch der Nitritbakterien. Es fanden folgende Nährböden Verwendung:

1. Fleischextrakt-Pepton-Agar (Nähragar) mit Leitungswasser für proteolytische Bakterien aus Süßwasser und Abwasser.

2. Hefeextrakt-Pepton-Agar nach ZOBELL mit Meerwassergemisch für halotolerante und halophile Bakterien.

3. Dreifarbenagar nach GASSNER für coliforme Bakterien.

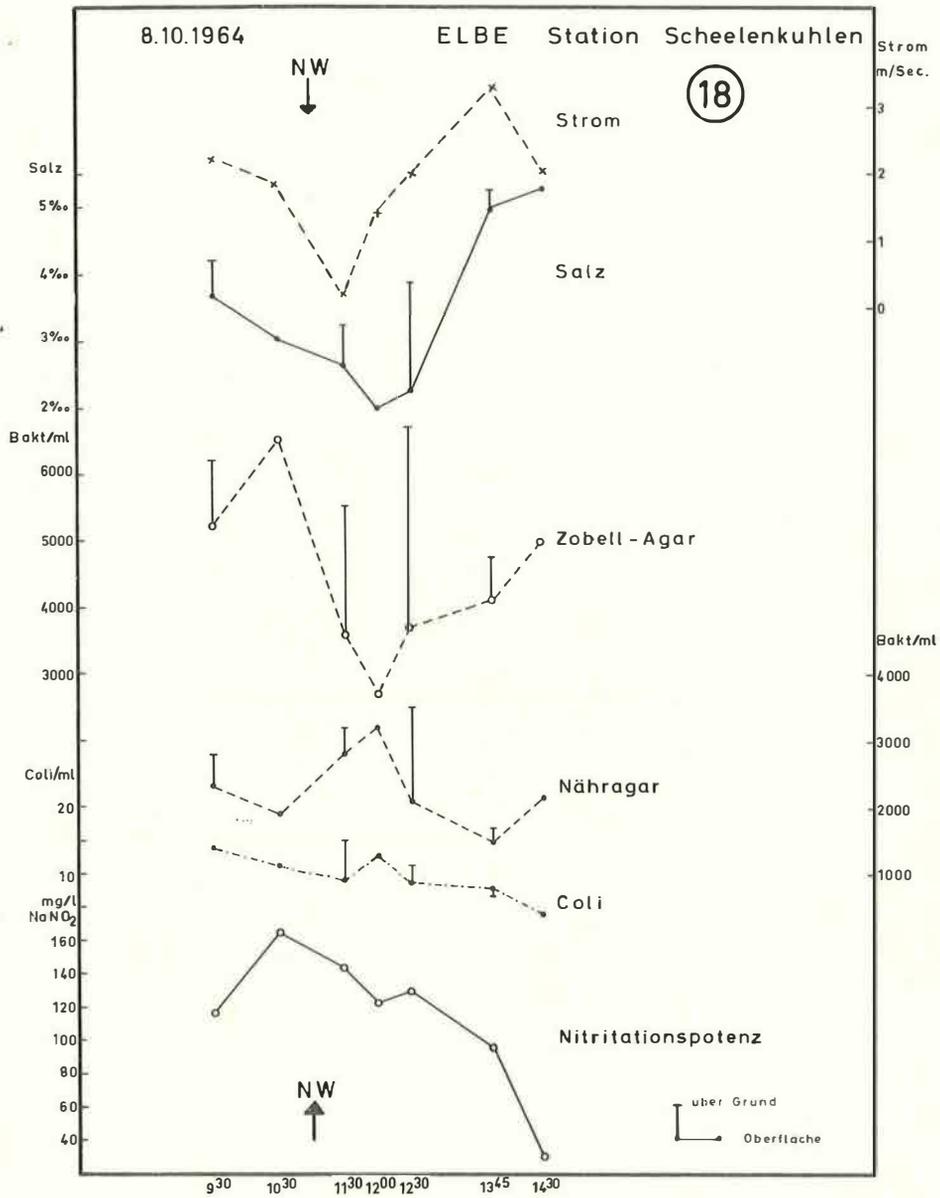
Bei 1. und 2. erfolgte die Auszählung nach 7 und 14 tägiger Bebrütung bei 22°C, bei 3. nach 24 Stunden bei 37°C. Während der Dauerstation am 8. Oktober wurde auch die Nitritationspotenz als Ausdruck für die Zahl der Nitritbakterien bestimmt (näheres bei RHEINHEIMER, 1965 a und 1966). So konnten die mengenmäßigen Änderungen von 3 bzw. 4 Bakteriengruppen in Abhängigkeit von Strömung, Salz- und Schwebstoffgehalt des Wassers festgestellt und daraus Rückschlüsse auf die hierdurch bedingten Änderungen der Bakterienflora des Elbeaestuars gezogen werden.

Diese Beobachtungen schlossen an frühere Untersuchungen im oberen Elbeaestuar, vor allem im Hamburger Raum, an. Obwohl die bakteriologischen Verhältnisse dort stark durch Abwässer der Großstadt Hamburg beeinflußt werden, ist der Schwebstoffgehalt vergleichsweise gering (s. S. 47). Der mittlere Tidenhub beträgt bei Hamburg-Blankenese noch etwa 2,40 m. Dennoch waren im allgemeinen die Unterschiede des Bakteriengehaltes im Verlauf der Tide nicht sehr groß. Zeitweise lagen aber die Gesamtkeimzahlen auf Nähragar und auch die Colizahlen bei ablaufendem Wasser höher als bei auflaufendem. Auch zeigte sich mitunter während der kurzen Stagnationszeiten bei Niedrig- und Hochwasser infolge von Sedimentationsvorgängen eine Zunahme des Bakteriengehaltes in den tieferen Zonen (s. RHEINHEIMER, 1965 b).

¹⁾ Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt. Fräulein von Appen danke ich für ihre Hilfe bei deren Ausführung.

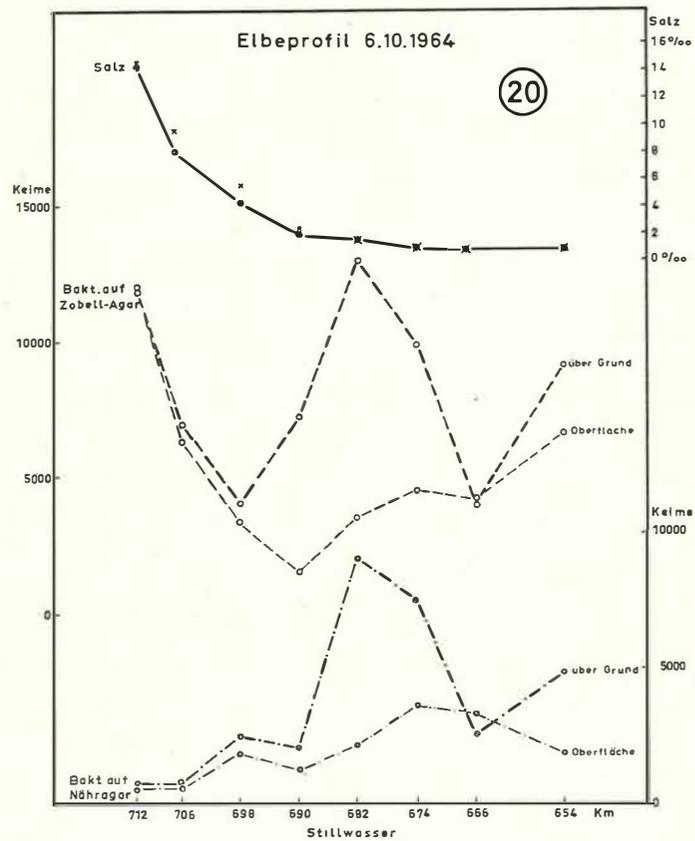
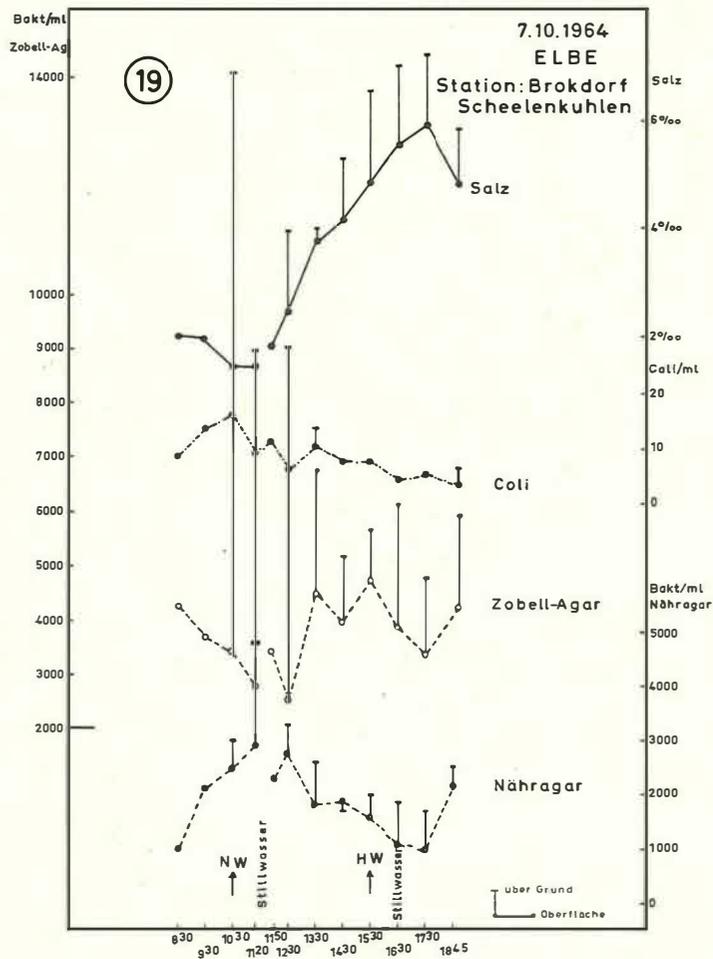
Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 13)

Abb. 18: Strömungsgeschwindigkeit, Salzgehalt, Gesamtkeimzahl auf ZOBELL-Agar („Salzwasserbakterien“) und auf Nähragar („Süßwasserbakterien“), Coliformenzahl und Nitritationspotenz des Oberflächen- und Tiefenwassers der Elbe bei der Station Scheelenkuhlen am 8. 10. 1964.



Tafel 13 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiolda)

Tafel 14 (zu P. H. Koske, H. Krumm, G. Rheinheimer u. K.-H. Szekiedla)



In dem sehr viel schwebstoffreicheren mittleren Teil des Elbeestuars sind die tidebedingten Schwankungen des Bakteriengehaltes erheblich größer. Das ist besonders im Bereich des Sinkstoffmaximums der Fall. Da sich dieses in der Brackwasserzone befindet, wird das Bakterienleben hier auch noch durch den mit der Tide wechselnden Salzgehalt des Wassers beeinflusst. Das macht die Abb. 18 deutlich, in der die Ergebnisse der Dauerstation bei Scheelenkuhlen am 8. Oktober zusammengestellt sind. Die auf dem mit Meerwassergemisch hergestellten ZOBELL-Agar zur Entwicklung gelangenden „Salzwasserbakterien“ haben im Oberflächenwasser ihr Minimum ganz eindeutig zur Zeit des geringsten Salzgehaltes etwa 45 Minuten nach Niedrigwasser, gleichzeitig haben die auf Nähragar wachsenden „Süßwasserbakterien“ ihr Maximum und auch die Coliformenkurve zeigt eine Spitze. Mit steigendem Salzgehalt des Wassers nehmen nun die „Salzwasserbakterien“ wieder zu und die „Süßwasserbakterien“ ab. Es kommt also mit der Änderung des Salzgehaltes auch zu einer solchen in der Zusammensetzung der Bakterienflora. Vergleicht man nun die Bakterienzahlen des Oberflächenwassers mit denen über Grund, so ergeben sich ebenfalls sehr große Unterschiede. Fast durchweg ist der Bakteriengehalt in der Tiefe höher als an der Oberfläche. Die größten Unterschiede zeigen sich aber bei Stillwasser und kurz danach, die geringsten dagegen zur Zeit des stärksten Stromes. Während der Stillwasserperioden kommt es ja zu einer deutlichen Sedimentation von Schwebstoffen (s. S. 53) und damit gleichzeitig auch zu einer solchen von Bakterien. Diese befinden sich teils als Aufwuchs an den Schwebstoffteilchen — teils werden sie von diesen mitgerissen. Mit zunehmendem Strom werden dann Schwebstoffe und Bakterien wieder aufgewirbelt, sodaß zur Zeit der stärksten Strömung allenfalls noch geringe Unterschiede zwischen oben und unten wahrzunehmen sind. Es ist dabei auch noch zu berücksichtigen, daß der Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit in der Tiefe langsamer erfolgt als an der Oberfläche. Deshalb wurde die maximale Zunahme des Bakteriengehaltes über Grund auch erst eine Stunde nach dem Eintreten des Oberflächenstaues festgestellt. Zu dieser Zeit ist auch der Salzgehalt des Tiefenwassers sehr viel höher als in den oberen Schichten. Das hat zur Folge, daß der Anteil der „Salzwasserbakterien“ dort verhältnismäßig stärker zunimmt als der der „Süßwasserbakterien“.

Die Kurve der Nitritationspotenz des Oberflächenwassers steht auch in einer negativen Beziehung zu der des Salzgehaltes. Sie steigt also bei Ebbe und fällt bei Flut. Ihr Maximum wird aber schon vor Erreichen des geringsten Salzgehaltes erreicht und auch noch vor Eintreten von Stillwasser. Da die Nitritbakterien im Flußwasser vorwiegend als Aufwuchsorganismen vorkommen (ULKEN, 1963; RHEINHEIMER, 1964), unterliegen sie während der Stauzeiten auch einer besonders starken Sedimentation.

Abb. 19, die die Untersuchungsergebnisse auf der Dauerstation Brokdorf/Scheelenkuhlen am 7. Oktober wiedergibt, macht ähnlich wie Abb. 18 das gegenläufige Verhalten von „Salzwasser- und Süßwasserbakterien“ in Abhängigkeit vom Salzgehalt deutlich. Es läßt sich auch wieder der kräftige Anstieg des Bakteriengehaltes in der Tiefe während und nach dem Niedrigwasserstau feststellen. Dagegen sind die Unterschiede zur Zeit des Hochwasserstaues viel geringer. Das könnte seine Ursache darin haben, daß die

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 14)

Abb. 19: Salzgehalt, Coliformenzahl und Gesamtkeimzahlen auf ZOBELL-Agar („Salzwasserbakterien“) und auf Nähragar („Süßwasserbakterien“) im Oberflächen- und Tiefenwasser der Elbe bei der Station Brokdorf-Scheelenkuhlen am 7. 10. 1964.

Abb. 20: Salzgehalt und Gesamtkeimzahlen auf ZOBELL-Agar („Salzwasserbakterien“) und auf Nähragar („Süßwasserbakterien“) im Oberflächen- und Tiefenwasser der Elbe bei 8 Stationen zwischen Altenbruch und Stadersand am 6. 10. 1964.

Stagnation bei Hochwasser länger anhält als bei Niedrigwasser. Dadurch führt die Sedimentation auch zu einer Klärung des Tiefenwassers (s. S. 55) und damit auch hier zu einer entsprechenden Abnahme des Mikrobengehaltes.

Abb. 20 zeigt das Ergebnis der Profilfahrt von Altenbruch nach Stadersand am 6. Oktober. Der Salzgehalt des Oberflächenwassers geht von 14,19‰ bei Altenbruch auf 0,74‰ bei Kollmar zurück und liegt bei Stadersand bei 0,78‰. Es ist auch hier wieder die grundsätzliche Tendenz erkennbar, daß mit fallendem Salzgehalt der Anteil der „Salzwasserbakterien“ zunimmt, wenngleich diese Beziehungen im Elbeaestuar nicht ganz so klar sind, wie im Nordostseekanal (s. KRUMM und RHEINHEIMER, 1966). Das hat seine Ursache einmal in der sich mit der Tide immer wieder ändernden Strömungsrichtung und zum anderen in den Einflüssen der verschiedenen mehr oder weniger stark mit Abwässern belasteten Nebenflüsse. Sehr eindeutig ist wieder die Zunahme des Bakteriengehaltes im Tiefenwasser zur Zeit des Tidenstauens. Während zu Beginn der Profilfahrt die Werte an der Oberfläche kaum von denen über Grund verschieden sind, nimmt der Bakteriengehalt zwischen km 690 und 674 mit geringer werdender Strömungsgeschwindigkeit in der Tiefe zu, bei gleichzeitigem Rückgang im Oberflächenwasser. Im Endabschnitt der Fahrt nähern sich dann mit dem Wiederansteigen des Stromes die Werte wieder einander. Die vertikale Bakterienverteilung stimmt dabei wieder sehr weitgehend mit der der Schwebstoffe überein, wie ein Vergleich der Abb. 20 und 9 deutlich macht.

Die Zahl der Coliformen nimmt wie die der „Süßwasserbakterien“ stromaufwärts beträchtlich zu. Auch der Coligehalt des Wassers über Grund ist mit einer Ausnahme höher als an der Oberfläche; wobei die größten Unterschiede zwischen oben und unten bei Stillwasser (km 690 und 682) auftraten.

Km . . .	712	706	698	690	682	674	666	654	
Oberfläche	2	5	9	8	14	22	45	38	Coli/ml
über Grund	3	4	11	22	21	25	51	54	Coli/ml

Insgesamt gesehen, kommt es also im Untersuchungsabschnitt während des Tidenstauens stets zu einer kräftigen Zunahme des Bakteriengehaltes in der Tiefe, verursacht vor allem durch Sedimentation der Schwebstoffteilchen. Dagegen ist die Bakterienverteilung zur Zeit des stärksten Stromes von der Oberfläche bis zum Grunde kaum verschieden.

Zwischen Mikroben und Schwebstoffteilchen besteht eine doppelte Beziehung: Einerseits werden Bakterien während der Stauzeiten von Schwebstoffteilchen mit in die Tiefe gerissen und bei starkem Strom mit diesen wieder aufgewirbelt — andererseits können Bakterien und auch Pilze zur Verklumpung von Schwebstoffen beitragen, so daß diese dann schneller sedimentieren.

In Abhängigkeit vom Salzgehalt des Wassers ändert sich auch die Zusammensetzung der Bakterienflora im Verlauf der Tide. So zeigt der Anteil der halotoleranten und halophilen „Salzwasserbakterien“ bei Flut ein deutliches Maximum — auch wenn die Zunahme des Salzgehaltes nur 3—4‰ beträgt. Die Gesamtzahl der saprophytischen „Süßwasserbakterien“, die Zahl der Coliformen und die der chemoautotrophen Nitritbakterien haben dagegen bei Ebbe ihr Maximum.

Die Untersuchungen zeigen, daß die tidebedingten Schwankungen des Bakteriengehaltes in dem sehr schwebstoffreichen und bereits Brackwasser führenden Aestuarabschnitt zwischen Glückstadt und Cuxhaven sowohl quantitativ als auch qualitativ wesentlich stärker sind als in dem vergleichsweise detritusarmen noch limnischen Abschnitt zwischen Hamburg und Stadersand.

Literaturverzeichnis

- HENSEN, W. (1958):
 — INGLIS, C. C. u. F. H. ALLEN (1957): The Regimen of the Thames Estuary as affected by currents, salinities and river flow.— *Proc. Inst. Civ. Eng.* 7., Sess. 1856—57, 827—878. — KÖPPEN, R. (1950): Zur Schlickbildung in Küstengewässern. *Kolloid-Z.* 118, 173—174. — KOSKE, P. H. (1964): Über ein potentiometrisches Verfahren zur Bestimmung von Chloridkonzentrationen im Meerwasser. *Kieler Meeresforschungen* 20, 138—142. — KRUMM, H. u. G. RHEINHEIMER (1966): Untersuchungen zur Hydrographie, Schwebstoffzusammensetzung und Bakteriologie des Nord-Ostsee-Kanals. Teil 2 Zur Schwebstoffzusammensetzung und Bakteriologie. *Kieler Meeresforschungen* 21. — PACKHAM, R. F. (1963): The coagulation process — A review of some recent investigations.— *Proceed. Soc. Water Treatment and Examination*, 12, 15—39. — PACKHAM, R. F. (1965): Some studies of the coagulation of dispersed clays with hydrolyzing salts. *J. Colloid Sci.*, 20, No. 1., 81—92. — RHEINHEIMER, G. (1964): Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Nitrifikation im Elbe-Aestuar. *Arch. Mikrobiol.* 49, 283—290. — RHEINHEIMER, G. (1965a): Mikrobiologische Untersuchungen in der Elbe zwischen Schnackenburg und Cuxhaven. *Arch. Hydrobiol./Suppl. Elbe-Aestuar* XXIX, II, 181—251. — RHEINHEIMER, G. (1965b): Beobachtungen über die Bakterienverteilung im Elbe-Aestuar. *Botanica Gothoburgensia* III, 185—193. — RHEINHEIMER, G. (1966): Ergebnisse und Probleme einer mikrobiologischen Aestuaruntersuchung. *Mitt. S. I. L.* (i. Druck). — SIMON, W. G. (1953): Untersuchungsergebnisse an Grundproben aus dem Gebiet der Elbe zwischen Scheelenkühlen und Cuxhaven und ihre Ausdeutung hinsichtlich der Sandwanderung. *Mitt. d. Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg*, zugl. *Mitt. aus dem Geolog. Landesamt Hamburg*, Nr. 11. — SZEKIELDA, K. H. (1965): Die Bestimmung des partikulären, organisch gebundenen Kohlenstoff im Meerwasser mit einer neuen Schnellmethode. *Mikrochim. Acta* 149—159. — ULKEN, A. (1962): Die Herkunft des Nitrits in der Elbe. *Dissertation, Univer. Hamburg*. — Wasser- und Schifffahrtsdirektion Hamburg (1960): Mitteilung Nr. 11. — WHITEHOUSE, U. G. u. L. M. JEFFREY (1954a): Flocculation in Estuaries. *Symposium on Tidal Hydraulics, A S C E Meeting, New York City*, 39p. — WHITEHOUSE, U. G. u. L. M. JEFFREY (1954b): Peptization resistance of selected samples of kaolinitic, montmorillonitic and illitic clay materials. *Clays and Clay Minerals*, 3rd Nat. Conf. 260—281. — WHITEHOUSE, U. G., L. M. JEFFREY u. J. D. DEBBRECHT (1958): Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters. *Clays and Clay Minerals*, 7th Nat. Conf., 1—79.