

# 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.

## Zur Sedimentation von Seston, eine produktionsbiologische Untersuchung von Sinkstoffen und Sedimenten der Westlichen und Mittleren Ostsee<sup>1)</sup>

VON BERNT ZEITZSCHEL

### Zusammenfassung:

1. In der Zeit vom 26. 7. 1961 bis 13. 5. 1963 wurden mit einem Stoßrohr 96 Sedimentproben in der Westlichen und Mittleren Ostsee genommen, um einen Überblick über die regionale und jahreszeitliche Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll und Eiweiß im Sediment zu gewinnen. Die Analysenwerte der drei Hauptsedimenttypen dieses Meeresgebietes sind für die oberste Sedimentschicht (0.—0.3 cm) in der Tabelle 1 zusammengestellt.
2. Um das sedimentierte Seston unmittelbar untersuchen zu können, wurde in der Eckernförder Bucht ein Sinkstoffsammelgerät ausgelegt, mit dem 13 verschiedene Sinkstoffproben, die jeweils einem Zeitraum von etwa 20 Tagen entsprechen, aufgefangen wurden. Das sedimentierte Seston besteht im Mittel zu 95% aus Detritus; davon beträgt der anorganische Anteil 89,5% und der organische Anteil 10,5%.

Die Mittelwerte aus 13 Proben, auf 100 mg Trockensubstanz bezogen, betragen 15,3 mg organische Substanz, 8,6 mg organischen Kohlenstoff, 43,4 µg Chlorophyll, 1012 µg Eiweiß (als Albuminäquivalent), 5,2 mg Kalzium, 56,2 mg Silizium (als Säureunlösliches).

Der Jahresgang der analysierten Komponenten weist nach der Frühjahrsblüte des Phytoplanktons hohe Werte für organische Substanz und organischen Kohlenstoff und Maximalwerte für Chlorophyll, Eiweiß und Silizium auf.

Die Planktonzählungen der Sinkstoffe ergeben im Gegensatz zu den chemischen Analysen bedeutend höhere Zellenzahlen im Herbst als im Frühjahr. Dies läßt sich auf die schnellere Zersetzung der Planktonorganismen im Herbst durch erhöhte Temperaturen und schnellere Sedimentation während einer ruhigen Wetterperiode zurückführen.

3. Die Ablagerung von Seston auf dem Meeresboden erfolgt nicht kontinuierlich, denn sedimentierter Detritus kann kurzfristig wieder aufgewirbelt werden. Im Jahre 1962 sind in der Eckernförder Bucht etwa 500 g Seston/m<sup>2</sup> (als Trockensubstanz bestimmt) sedimentiert; das entspricht einem jährlichen Zuwachs an Naßsediment von 2,6 mm. Das in einem Jahr pro 1 m<sup>2</sup> sedimentierte Seston enthält 75 g organische Substanz; davon sind 40 g organischer Kohlenstoff, 6 g Eiweiß und 0,22 g Chlorophyll und seine Abbauprodukte.
4. In der Eckernförder Bucht gelangen nur etwa 20% der produzierten lebenden Substanz bis auf den Meeresboden. Das herabgesunkene Seston organischer Herkunft wird an der Sedimentoberfläche weiter abgebaut. Im Mudd gehen dadurch in den oberen 7 cm etwa 20% organischer Substanz und etwa 65% des Chlorophylls verloren. Der Eiweißwert beträgt in der 1,3-cm-Schicht durchschnittlich nur noch 30% des Oberflächenwertes.
5. Durch die geringe Wassertiefe von durchschnittlich 55 m gelangt das abgestorbene Plankton verhältnismäßig schnell auf den Meeresboden. Es wird deshalb im Gegensatz zum Weltmeer beim Absinken nur teilweise abgebaut. Der Gehalt an organischer Substanz im Sediment ist deshalb etwa 10 mal höher als in den Sedimenten der Tiefseebecken.

### The Sedimentation of Seston: an Investigation of the biological Content of sinking Material and Sediments in the Western and Middle Baltic. (Summary):

1. From 26. 7. 1961 till 13. 5. 1963, 96 samples of sediments were taken in the Western and Middle Baltic with a coring tube. The intention was to obtain an overall picture of the regional and seasonal distribution of organic matter, chlorophyll and protein in the sediment. The values of the analysis of the three main types of sediment in this part of the sea for the top layer (0—0.3 cm) can be seen in Table 1.

<sup>1)</sup> Diese Arbeit ist eine gekürzte Fassung der gleichnamigen Dissertation des Verfassers. Die Untersuchungen wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützt. Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. J. Krey, danke ich für die Anregung zu dieser Arbeit und die stete Unterstützung bei ihrer Durchführung.

2. For a direct investigation of the sedimented seston an implement for collecting the sinking material was suspended in the Bay of Eckernförde from 6.3. 1962 to 11. 1. 1963. Thirteen different samples of sinking material were collected each corresponding to a period of about twenty days.

The sedimented seston consists on an average of 95% detritus; the inorganic part of this detritus is 89.5% and the organic part 10.5%. The average values of thirteen samples, with reference to 100 milligrams of dry substance, are 15.3 mg organic matter, 8.9 mg organic carbon, 43.4 µg chlorophyll, 1042 µg protein (as albumin equivalent), 5.3 mg calcium and 56.2 mg silicon (as insoluble in acid). The annual cycle of the analysed compounds shows that after the spring bloom of phytoplankton there are high values for organic matter and organic carbon, and maximum values for chlorophyll, protein and silicon.

The plankton counts of the sinking material show a considerably higher number of cells in autumn than in spring. This has its origin in the quicker decomposition of the plankton organisms in autumn due to higher temperatures and quicker sedimentation during a calm weather period.

3. The settlement of seston on the sea-bottom is not continuous, because sedimented detritus can be stirred up for a short time. In 1962 about 500 g seston per square metre (defined as dry substance) sedimented; this is equivalent to an annual increase of wet sediment of 2.6 mm. The settled seston for one year per square metre contains 75 g organic matter; 40 g thereof are organic carbon, 6 g protein, and 0.22 g chlorophyll and its degradation products.
4. In the Eckernförde Bay only 20% of the living substance reaches the sea-bottom. The sunk seston of organic origin is further decomposed at the surface of the sediment. Thereby about 20% of the organic matter and about 65% of the chlorophyll are lost in the upper 7 cm of the mud. On an average the protein value at 1.3 cm depth is only 30% of the surface value.
5. The sediments of the Baltic contrast markedly with oceanic sediments. Due to the shallowness of the water the dead plankton reaches the sea bottom relative quickly. This is the reason why here — in contrast to the ocean — it is only partly decomposed. The content of organic matter in the sediment is therefore about ten times higher than in the sediments of the deep sea basins.

## I. Einleitung

Die organischen und anorganischen Sinkstoffe im Wasser werden unter dem Begriff Seston zusammengefaßt (KREY 1949). Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Bedeutung der Sedimentation von Seston im Rahmen der Produktionsbiologie zu klären.

Zur Lösung dieses bisher für die Ostsee unbearbeiteten Problems ist es meines Erachtens nützlich, zuerst einen Überblick über die regionale und jahreszeitliche Verteilung der drei wichtigsten Komponenten des sedimentierten Sestons — der gesamten organischen Substanz, des Chlorophylls und des Eiweiß — aus der oberen Sedimentschicht zu gewinnen. Die vertikale Verteilung dieser Substanzen bis in die tieferen Schichten des Sediments läßt auf die Intensität der Zersetzung schließen.

Zum anderen bietet sich die Möglichkeit, durch Ausbringen von Sinkstoffsammelgeräten das sedimentierende Seston kurz über dem Meeresboden aufzufangen. Es kann daraus die jahreszeitliche Abhängigkeit der Sedimentation von Seston und ihre Beeinflussung durch äußere Faktoren untersucht werden. Die Analysen der im Laufe eines Jahres gewonnenen Sinkstoffproben geben Aufschluß über den Jahrgang der einzelnen Komponenten des Sestons. Sie lassen Schlüsse zu über die jährliche Menge an sedimentiertem Seston und seinen Komponenten, sowie über den jährlichen Zuwachs der Sedimentmächtigkeit. Im Vergleich mit der Phytoplanktonproduktion in der oberen Wasserzone ergeben sich die Verluste der organischen Substanzen, die durch die Sedimentation dem Stoffkreislauf des Meeres entzogen werden.

### Sedimentbestimmende Faktoren

Die Zusammensetzung und Ablagerung der Sedimente wird von vier Hauptfaktoren bestimmt (JARKE 1951), und zwar von:

- a. der Morphologie und Beschaffenheit des Untergrundes
- b. der Art der Zufuhr, sowie der Zusammensetzung des vom Festland kommenden Materials
- c. den hydrographischen Verhältnissen, insbesondere der Wasserbewegung
- d. den Organismen.

Zum Verständnis des hier bearbeiteten Themas sollen diese Faktoren für das hiesige Gebiet näher dargelegt werden:

a. Die Morphologie und Beschaffenheit des Untergrundes

Die Art der Sedimente der Ostsee ist mehr als die der Nordsee von den Tiefen abhängig, da für die Sedimentation nicht die absoluten Tiefen wichtig sind, sondern vielmehr die tiefsten Stellen eines Gebietes. In diesen Becken und Mulden sammelt sich das feinste Material an, z. B. Mudd. Dieser Mudd ist verschieden gefärbt, je nach seinem Gehalt an organischer Substanz und nach seinem Oxydationszustand. Der Mudd ist ein zäher, nach  $H_2S$  riechender Schlamm mit etwa 50—70% Wassergehalt. Nach JARKE (1948) wird der Mudd charakterisiert durch geringen Feinsandgehalt, 30—40% Mehlsand, 5—10% Schluff und 35—45% tonige Partikel. Der Gehalt an organischer Substanz beträgt  $> 10\%$  der Trockensubstanz. Der Mudd unterscheidet sich vom Schlick vor allem durch seinen größeren Gehalt an organischer Substanz.

Die Kieler und Mecklenburger Bucht sind verhältnismäßig abgeschlossen und deshalb vor allem mit feinem Material ausgefüllt. Das Gebiet ist aber glazial beeinflusst. Deshalb sind häufig in den flachen Zonen und Bänken Steine und Sande miteingeschoben.

Die Mittlere Ostsee (Abb. 2) beginnt mit einer sandigen Zone auf der Darßer Schwelle (18 m, St. 73). Der Boden fällt dann zum Arkonabecken ab mit der größten Tiefe von 53 m zwischen Rügen und Schonen (St. 74). Unterhalb der 40-m-Linie werden die Sedimente hier feinkörnig, schlickig und muddig. Begrenzt wird dieses Schlickgebiet durch Sandzonen vor der deutschen Küste, dem Adlergrund, der Rönnebank und den Sandzonen um die Insel Bornholm (St. 74 und 89). Die Sedimente des Adlergrundes bestehen aus Sanden, Kiesen und großen Steinen. Sie sind wie die anderen Bänke glazialer Herkunft.

Eine schmale Tiefenzone mit schlickigen Ablagerungen erstreckt sich im Norden von Bornholm. Sie geht über in die Bornholm-Mulde (105 m), die sich bis zur Mittelbank hinzieht (St. 75, 76, 88). Die Mittelbank ist sandig und mit Algen bewachsen (St. 87), die Stolpebank im Süden ähnlich wie der Adlergrund steinig und grobsandig (St. 77). Die Oderbank östlich der Odermündung besteht aus Feinsand. Von der Mittelbank erstreckt sich ein weites Sandgebiet zur Hoborgbank (St. 85). Es läuft weiter nach Norden und umschließt die Insel Gotland (St. 83). Von der Mittelbank westlich reicht es bis an die Insel Öland und wird um die Insel weiter fortgesetzt (St. 84, 86). An der Baltischen Küste zieht sich ebenfalls eine lange Sandzone hin.

Ein großes Muddgebiet beginnt in der Danziger Bucht (Danziger Tief, St. 78). Es erstreckt sich nach Norden bis zum 240 m tiefen Gotlandtief (St. 82) und vereinigt sich nördlich von Gotland mit dem Muddgebiet, das südlich zwischen Öland und Gotland seinen Anfang hat. Zwischen den Sandgebieten und den mit Mudd ausgefüllten Becken zieht sich ein Saum mit tonigen Sedimenten entlang, z. B. vor der Baltischen Küste (St. 79, 80, 81) (APSTEIN 1916, PRATJE 1931).

b. Die Art der Zufuhr, sowie die Zusammensetzung des vom Festland kommenden Materials

Die Ablagerung des Sediments am Meeresboden erfolgt nicht gleichmäßig. Regional kann man Abtragungsgebiete, Sedimentationsgebiete und Umlagerungsgebiete unterscheiden. In manchen Meeresteilen ist der Boden jedoch auch in vollkommener Ruhe. Nach JARKE (1951) hängt das Geschehen am Boden in einem bestimmten Meeresbereich von der Menge und Art des zur Verfügung stehenden Lockermaterials und den dynamischen Verhältnissen ab, d. h. hauptsächlich von der Wellenbewegung und den Strömungen.

Der wesentliche Anteil des anorganischen Materials in dem hier näher untersuchten Gebiet, der Eckernförder Bucht, stammt aus den aktiven Geschiebemergelkliffs.

Die vorgelagerte Untiefe, der Mittelgrund, ist nur für die Sedimentation in seiner unmittelbaren Nähe nach Stürmen von Wichtigkeit. Der Boden dieser Erhebung wird durch starke Wasserbewegungen ausgewaschen.

Was für die Eckernförder Bucht gesagt wurde, gilt auch allgemein für die Westliche und Mittlere Ostsee. Den größten anorganischen Anteil der Sedimente liefert das Festland durch Einschwemmung und der Meeresboden durch Umlagerung.

#### c. Die hydrographischen Verhältnisse, insbesondere die Wasserbewegung

Die horizontale und vertikale Wasserbewegung in der Ostsee unterliegt zum Teil den Einflüssen des Windes. Die Gezeiten sind in diesem abgeschlossenen Randmeer sehr schwach ausgeprägt. Sie spielen bei der Wasserbewegung eine sehr untergeordnete Rolle.

Die Stromgeschwindigkeiten durch Windeinflüsse sind nur zu bestimmten Zeiten sehr stark, vor allem in den Belten und Sunden (max. 1—2 m/sec, WYRTKI 1952). In den Förden ist der Strom meist gering. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Stromgeschwindigkeit in den Becken und Mulden stark ab. In 20 m Tiefe nahe der Mittelgrundtonne W in der Eckernförder Bucht führte GEYER (1964) Strommessungen durch. Er konnte feststellen, daß 5 m über dem Boden bei Windstärke 8 kurzfristig Stromgeschwindigkeiten bis 55 cm/sec auftreten können. In ruhigen Wetterperioden, z. B. vom 21. bis 26. 10. 1962, herrschte 4 m über dem Boden weniger als 3 cm Strom pro Sekunde.

In physikalisch-chemischer Hinsicht ist für die Sedimentation vor allem die mehr oder minder starke Wasserschichtung wesentlich. Die Turbulenz unter der Sprungschicht ist sehr gering, wodurch die Sedimentation — vor allem der feinsten Teilchen — stark begünstigt wird. Die Schichtung ist in der Ostsee das ganze Jahr über vorhanden und beruht auf Salzgehalts- und Temperaturunterschieden zwischen Oberflächen- und Tiefenwasser. Diese stabile Schichtung verhindert weitgehend eine von der Oberfläche bis zum Boden reichende Konvektion. Das Tiefenwasser kann daher nicht von oben erneuert werden, sondern nur durch seitlichen Wassertransport. Dies geschieht in der Eckernförder Bucht vor allem im Herbst und Winter.

#### d. Organismen

Der Anteil der Organismen im Sediment besteht aus zwei Komponenten. Den einen Teil bilden die abgesunkenen Phyto- und Zooplankter aus der oberen Wasserzone. Sie sind je nach Wassertiefe und -temperatur mehr oder weniger stark mineralisiert. Die auf den Meeresboden gesunkenen Organismen besitzen oft ein recht starkes Kiesel-säure- oder Chitinskelett (Diatomeen, Copepoden). In den verhältnismäßig geringen Tiefen der Eckernförder Bucht mit 27 m ist jedoch meist außerdem ein beträchtlicher Teil von Zellplasma erhalten. Die andere Komponente besteht aus den Organismen, die aktiv auf oder im Sediment leben. Diese ernähren sich ausschließlich von den heruntersinkenden Teilchen, da wegen der großen Lichtextinktion eine Urproduktion in diesen Tiefen nicht mehr stattfinden kann.

In Muddgebieten der Ostsee ist die Zahl der lebenden Organismen verhältnismäßig gering, da dieses Substrat infolge des Licht- und Sauerstoffmangels sehr ungünstige Lebensbedingungen bietet (KÜHLMORGEN-HILLE 1963). Der Umfang der vertikalen Sedimentdurchmischung durch die Bodenorganismen ist deshalb in diesen Gebieten verhältnismäßig unbedeutend. Eine größere Rolle spielen die Bodenorganismen bei der Umlagerung der Sedimente in den Sandgebieten und in den Grenzzonen zwischen

Sand und Mudd (SEIBOLD 1963). SEIBOLD et. al. (1961) konnten durch Tauchbeobachtungen in der Kieler Außenförde eindeutig Umlagerungen durch *Mya arenaria* und *Arenicola* feststellen. Beim Graben im Sandsediment konnte jedoch trotzdem immer eine Schichtung festgestellt werden. SEIBOLD kommt zu dem Schluß: „Die Organismen stören wohl, können aber hier das Material nicht homogenisieren.“ In Wattengebieten der Nordsee dagegen spielen die lebenden Bodenorganismen für die Sedimentbildung vor allem durch Umlagerung eine große Rolle (SCHÄFER 1956, REINECK 1958).

## II. Material und Methoden

Die Sedimentproben wurden mit einem Stoßrohr genommen. Dieses Stoßrohr stellt eine Abänderung des sogenannten „Foraminiferenlots“ dar, das für Untersuchungen vom Geologischen Institut der Universität Kiel benutzt wird.

Das Stoßrohr besteht aus einem hohlen Bleizylinder; das an der Unterseite angeschraubte Plastikrohr kann leicht ausgewechselt werden. Die obere Öffnung wird durch ein Ventil verschlossen.

Die Probennahme wurde mit dem Forschungskutter „Hermann Wattenberg“ und dem Fischereiforschungsschiff „Anton Dohrn“ 1961—63 durchgeführt. Insgesamt wurden 96 Stoßrohrproben genommen. Davon entfallen 65 auf die Eckernförder Bucht und 31 auf die Westliche und Mittlere Ostsee. Die Sinkstoffproben wurden mit einem Sinkstoffsammler aufgefangen. Die Anregung zu diesem Gerät stammt aus der Limnologie (THOMAS 1951, JÄRNEFELD 1955, OHLE 1962). Für die erheblich stärkeren Beanspruchungen in der Ostsee waren einige Abwandlungen nötig.

Der Sinkstoffsammler besteht aus einem Aluminiumring von 64 cm Durchmesser. An seinem Außenrand sind vier 1-l-Plastikflaschen befestigt. Die Flaschenöffnungen zeigen nach unten. Der Boden wird abgeschnitten, so daß die Flaschen einen Trichter bilden. Am Flaschenhals ist je ein 25-ml-Zentrifugenglas befestigt, in dem sich der Sinkstoff ansammelt. Wenn möglich wurden die Zentrifugengläser alle drei Wochen gewechselt. Die ausgetauschten Gläser wurden mit Plastikdeckeln verschlossen und eingefroren. Der Sinkstoffsammler wurde in der Zeit vom 6. März 1962 bis 10. Januar 1963 in der Eckernförder Bucht ca. 50 m westlich der Mittelgrundtonne W auf 25 m Wassertiefe 1 m über dem Boden ausgelegt (Abb. 1, St. B) ( $\varphi = 54^{\circ} 30.7' N$ ,  $\lambda = 10^{\circ} 2.2' E$ ). Diese Position in der Nähe eines Seezeichens am Rande des Fahrwassers wurde ausgesucht, um die Gefahr der Beschädigung des Gerätes durch die Schifffahrt herabzusetzen. Außerdem erleichterte sie das Wiederauffinden.

Die bei  $-15^{\circ} C$  eingefrorenen Sedimentkerne wurden im Labor mit einer Säge zerschnitten. Der obere Zentimeter wurde von oben nach unten in 3 gleiche Scheiben geteilt. Die weiteren Abschnitte für die chemischen Analysen stammen aus den Teilen des Sedimentkernes bei 1—1,3 cm, 2—2,3 cm usw. bei jedem vollen Zentimeter.

Die Anfertigung von Planktonpräparaten erforderte einen geringen Teil des aufgetauten Sedimentes. Der andere Teil wurde für die chemischen Analysen bei  $105^{\circ} C$  im Trockenschrank getrocknet und in einem Achatmörser fein zerrieben. Die Sinkstoffproben wurden entsprechend behandelt.

Von den Sedimenten und Sinkstoffen wurden sechs verschiedene chemische Analysen durchgeführt:

- Organische Substanz (PAECH und TRACEY 1955)
- Chlorophyll (abgewandelt nach KREY 1939)
- Eiweiß als Albuminäquivalent (abgewandelt nach KREY, BANSE, HAGMEIER 1957)
- Organischer Kohlenstoff (KREY, SZEKIELDA 1964)

Säureunlösliches (vor allem Silizium) durch Wägung des Gewichtsverlustes nach Kochen des Glührückstandes der Analyse der organischen Substanz mit verdünnter Phosphorsäure

Kalzium (PATE und ROBINSON 1958)

Insgesamt wurden etwa 2700 chemische Analysen ausgeführt.

Um die sedimentierten Planktonorganismen bestimmen und auszählen zu können, wurden Dauerpräparate hergestellt (SIMONSEN 1959) und durch Parallelwägungen die Menge Sediment oder Sinkstoff jeden Präparates berechnet. Zum Vergleich konnten dann alle gezählten Planktonorganismen auf eine bestimmte Menge (100 mg) Trockensubstanz bezogen werden. Für die Zählung wurde das umgekehrte Mikroskop nach Utermöhl (Zeiss) bei einer Vergrößerung von  $320 \times$  verwendet. Von jeder Probe wurden etwa 200 Plankter gezählt (KANAYA 1957). Zur Vereinfachung der Zählungen wurden nur bestimmte charakteristische Gruppen gezählt, die den weitaus größten Anteil der Organismen bildeten. Von den kettenbildenden Organismen wurde, soweit möglich, die Zahl der einzelnen Zellen bestimmt; die Planktonzählungen beziehen sich auf die Sedimentoberfläche von 70 Stationen und auf die verschiedenen Sinkstoffe.

### III. Ergebnisse

#### A. Die Sedimente der Westlichen und Mittleren Ostsee

Im ersten Teil dieses Abschnittes wird die Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll und Eiweiß (als Albuminäquivalent) von einem Längsprofil in der Rinne der Eckernförder Bucht dargestellt. Es wurden die oberen 3 mm Sediment für die Analysen verwendet. Das Längsprofil enthält 9 Stationen mit einem jeweiligen Abstand von etwa 1 Seemeile (Abb. 1).

Es wurden zu zwei verschiedenen Jahreszeiten Proben auf diesem Längsschnitt genommen, nämlich im November/Dezember 1961 und im Mai 1963. Im folgenden werden die Ergebnisse miteinander verglichen (Abb. 3 u. 4).

Die organische Substanz in mg ist bezogen auf 100 mg Trockensubstanz Sediment. Daraus ergibt sich unmittelbar der Prozentanteil der organischen Substanz an der Gesamttrockensubstanz.

Auf dem Winterprofil (Abb. 3) hat sie ihr Maximum bei Station 30 mit 17,4% in den oberen 3 mm der Sedimentoberfläche. Der Gehalt an organischer Substanz nimmt zum Fördeninneren mit verminderter Wassertiefe ab und erreicht sein Minimum bei Station 39 mit 8,9% und 20 m Wassertiefe. Zum Fördenausgang nimmt er zuerst bei der Mittelgrundstation ab und steigt nach Boknis Eck hin bei Station 35 wieder auf 12,8% an.

Im Mai (Abb. 4) sind die entsprechenden Werte erheblich niedriger als bei den Winterproben.

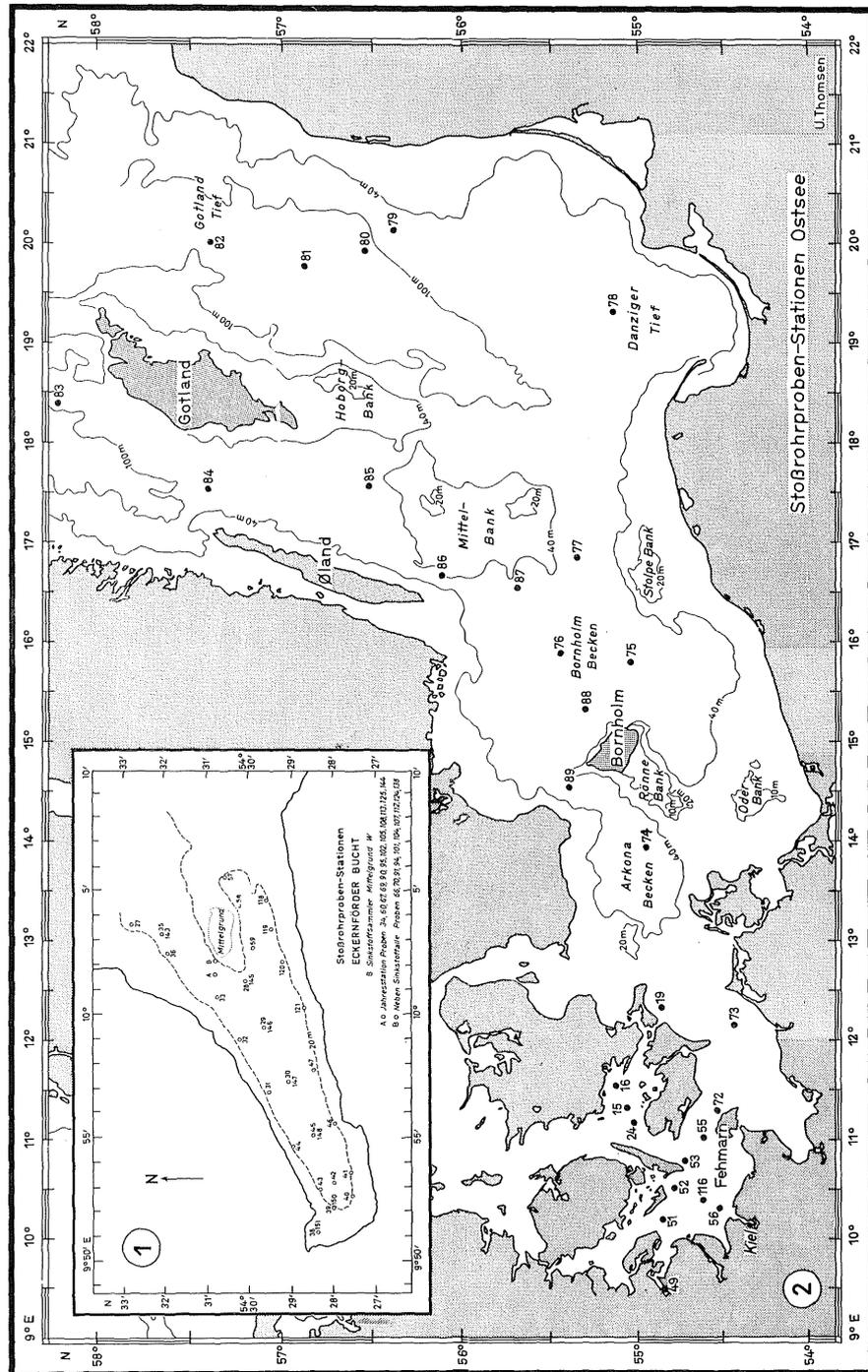
Der Chlorophyllgehalt im Sediment ist auf Mikrogramm pro 100 mg Trockensubstanz berechnet (Abb. 3 und 4). Die Chlorophyllkurve zeigt einen ähnlichen Verlauf wie die Kurve der organischen Substanz. Das Maximum mit 24,7  $\mu\text{g}$  Chlorophyll liegt im Winter auch bei Station 30. Das eine Minimum liegt bei Station 39 mit 5,2  $\mu\text{g}$ , das andere bei Station 34 am Mittelgrund mit ebenfalls 5,2  $\mu\text{g}$ . Die höchsten Chlorophyllwerte liegen auch hier in den oberen 3 mm der Sedimentschicht, ausgenommen die Stationen 28, 34 und 35.

---

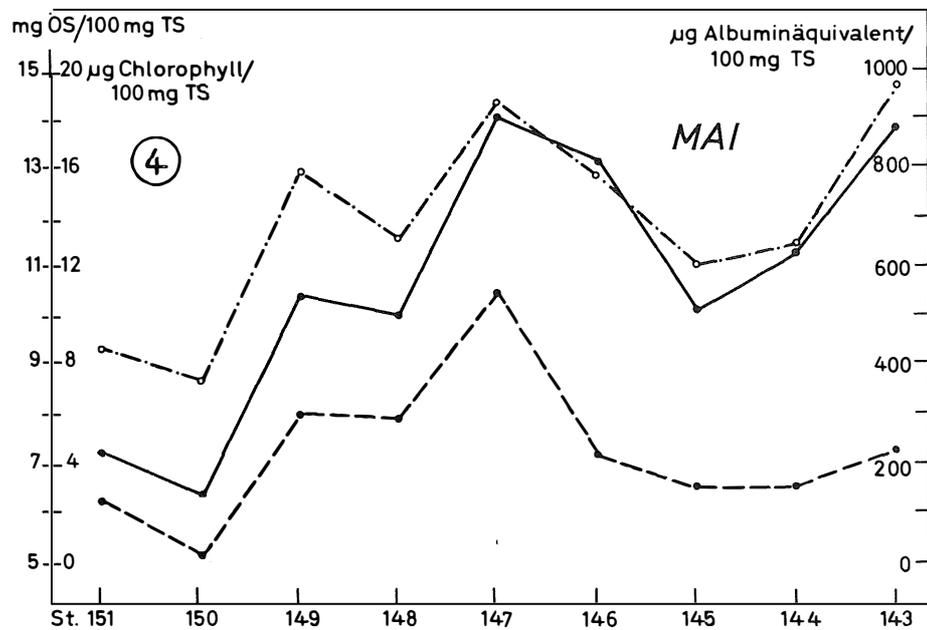
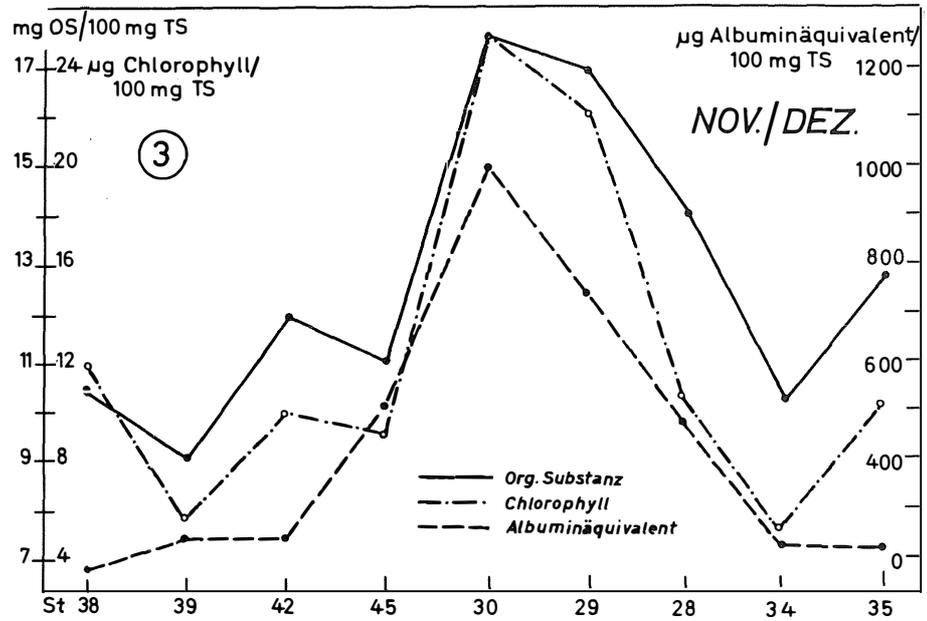
#### Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1: Stationskarte Eckernförder Bucht.

Abb. 2: Stationskarte Westliche und Mittlere Ostsee.



Tafel 1 (zu B. Zeitzschel)



Tafel 2 (zu B. Zeitzschel)

Der Gang der Chlorophyllkurve im Mai unterscheidet sich deutlich von den Winterwerten. Die Kurve ist etwas ausgeglichener und enthält nicht das stark herauspringende Maximum bei Station 147.

Das Eiweiß ist als Albuminäquivalent bestimmt, die Analysenwerte werden in  $\mu\text{g}/100$  mg Trockensubstanz angegeben. Bei Station 38 beginnt die Oberflächenkurve mit ihrem niedrigsten Wert von  $150 \mu\text{g}$  Albuminäquivalent. Die Kurve steigt langsam an bis Station 42 und erreicht dann rapide ihr Maximum, das bei Station 30 mit  $986 \mu\text{g}$  liegt. Dann fällt die Kurve ebenso steil zu den Stationen der Außenförde ab. Die Albuminwerte der Mai-Stationen liegen in den Grenzen von  $0 \mu\text{g}$  bei Station 150 und  $535 \mu\text{g}$  bei Station 147 an der Sedimentoberfläche.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die höchsten Analysenwerte im Winter (Abb. 3) bei Station 30 liegen. Die Kurven der Mai-Proben sind wesentlich ausgeglichener. Die Werte der im Mai genommenen Proben (Abb. 4) liegen für die organische Substanz etwa um 2—3 mg niedriger als die der November-Dezember-Proben. Die Chlorophyllwerte sind lediglich bei den Stationen 29, 30 und 38 im Winter höher als im Mai. An allen anderen Stationen ist der Chlorophyllwert im Mai — im Gegensatz zu den OS-Werten — gleich oder etwas höher als bei den Winterproben. Ähnlich wie bei der organischen Substanz weisen die Proben im Dezember einen höheren Albumingehalt auf als im Mai.

Der zweite Abschnitt behandelt die Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll und Albuminäquivalent in den oberen sieben Zentimetern der häufigsten Sedimenttypen der Westlichen und Mittleren Ostsee. Die Analysenergebnisse aller Proben für die obere Sedimentschicht (0—0,3 cm) sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Als Beispiel für die vertikale Verteilung der analysierten organischen Komponenten im Sediment sollen drei Beispiele angeführt werden.

Abbildung 5, Station 30, Rinne Eckernförder Bucht, Tiefe 27 m, Mudd, Probenahme 15. November 1961.

Die höchsten Werte für organische Substanz, Chlorophyll und Albumin liegen an der Oberfläche des Sedimentes ( $17,4$  mg organische Substanz,  $24,7 \mu\text{g}$  Chlorophyll und  $986 \mu\text{g}$  Albumin/100 mg Trockensubstanz). Auffällig ist die starke Abnahme aller Komponenten im oberen Zentimeter. Unter 1 cm nimmt die Chlorophyllmenge weiter ständig ab und erreicht ihr Minimum bei 6 cm mit  $4,6 \mu\text{g}/100$  mg Trockensubstanz. Im oberen Zentimeter ähnelt die Albuminkurve den beiden vorhergehenden. Auffällig ist jedoch die stete Zunahme des Albumins ab 2 cm Sedimenttiefe.

Abbildung 6, Station 34, Eckernförder Bucht, Tiefe 62 m, Mudd mit etwas Sand, 15. 11. 1961

Diese Station entspricht Station A von Abschnitt 3 (Abb. 8). Der Oberflächenwert für organische Substanz liegt bei  $10,2$  mg organischer Substanz/100 mg Trockensubstanz. Der Gehalt nimmt in den folgenden Zentimetern etwas ab und erreicht bei 4 cm Sedimenttiefe ein deutliches Minimum mit  $2,9$  mg organischer Substanz. Die Chlorophyllkurve verläuft ähnlich. Sie hat mit der Albuminkurve gemeinsam, daß die höchsten Werte nicht an der Oberfläche, sondern in der Schicht  $0,3$ — $0,6$  cm mit  $8,5 \mu\text{g}$  Chlorophyll und  $370 \mu\text{g}$  Albumin liegen. Die niedrigen Werte in 4 cm Sedimenttiefe sind auf eine deutlich erkennbare Sandschicht zurückzuführen.

---

#### Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll und Eiweiß (als Albuminäquivalent) in den oberen 3 mm des Sedimentes von 9 Stationen in der Rinne der Eckernförder Bucht.

Abb. 3: Probenahme Nov./Dez. 1961.

Abb. 4: Probenahme Mai 1963.

Abbildung 7, Station 53, Kjels Nor, Tiefe 35 m, Grobsand, 7. 3. 1962

Die Maxima liegen für organische Substanz und Chlorophyll nicht an der Oberfläche, sondern bei 4 cm mit 2,7 mg organischer Substanz und 1,8  $\mu\text{g}$  Chlorophyll. Bemerkenswert sind die niedrigen Analysenwerte dieses Sediments (organische Substanz 2,7—0,6 mg, Chlorophyll 1,8—0,3  $\mu\text{g}$  und Albumin 44—15  $\mu\text{g}$ , bezogen auf 100 mg Trockensubstanz).

Die Ergebnisse der 96 analysierten Sedimentprofile zeigen, daß im allgemeinen die höchsten Werte für organische Substanz, Chlorophyll und Eiweiß an der Oberfläche des Sediments liegen. Ausnahmen bilden in einigen Fällen die Sandproben. Die Muddprofile weisen die absolut höchsten Werte auf, die reinen Sandsedimente die niedrigsten. Die Zufuhr von organischem Material im Sediment kommt aus den darüberliegenden Wasserzonen. Die abgestorbenen und abgesunkenen Planktonorganismen bedingen in den Muddgebieten der Ostsee den weitaus größten Teil der organischen Substanz im Sediment. Hinzu kommt ein Anteil der abgestorbenen bzw. noch lebenden Benthosorganismen. Es erscheint deshalb verständlich, daß die höchsten Werte der organischen Substanz in der oberen Sedimentschicht liegen. Diese Tatsache gilt vor allem für die Muddsedimente, die in den stromarmen Gebieten liegen, besonders in tieferen Becken und Mulden. Die Sandsedimente, die charakteristisch für stromreiche Meeresteile sind, haben deshalb einen geringen Gehalt an organischer Substanz, weil dieses leichte Material sich nicht absetzen kann, da die Stromgeschwindigkeit fast immer größer als 5 cm/sec ist. Die teilweise höheren Gehalte von organischer Substanz in tieferen Schichten des Sediments können dadurch entstanden sein, daß während kurzfristiger ruhiger Stromlage organisches Material sedimentiert ist und später von einer Sandschicht überlagert wurde. Als weiterer Faktor kommt hinzu, daß sowohl die chemische als auch die biologische Zersetzung durch aerobe Bedingungen gefördert und durch anaerobe Einflüsse stark vermindert wird (KRAUSE 1959). Die Sandsedimente sind gut durchlüftet. Anders sind die Verhältnisse bei den Muddsedimenten. Sie liegen in Gebieten, die zumindest zeitweilig, vor allem im Sommer, keinen Wasseraustausch aufweisen. Der von der Winterzirkulation vorhandene Sauerstoff wird zum größten Teil im Frühsommer verbraucht. Die Zersetzung von organischem Material ist dann unter anaeroben Bedingungen stark vermindert. Die Oxydations-Reduktionsgrenze liegt in den Muddsedimenten der Eckernförder Bucht in den oberen Millimetern des Sediments. In der Reduktionszone wird durch sulfatreduzierende Bakterien  $\text{H}_2\text{S}$  entwickelt. Diese  $\text{H}_2\text{S}$ -Bildung kann in einigen Gebieten, z. B. in der Flensburger Förde und seltener in der Eckernförder Bucht, so stark werden, daß der Schwefelwasserstoff im freien Wasser auftritt.

Im folgenden sind für die verschiedenen Sedimenttypen Mudd, Schlick mit Sand und Sand die Gehalte der organischen Substanz, des Chlorophylls und des Albuminäquivalents zusammengestellt.

---

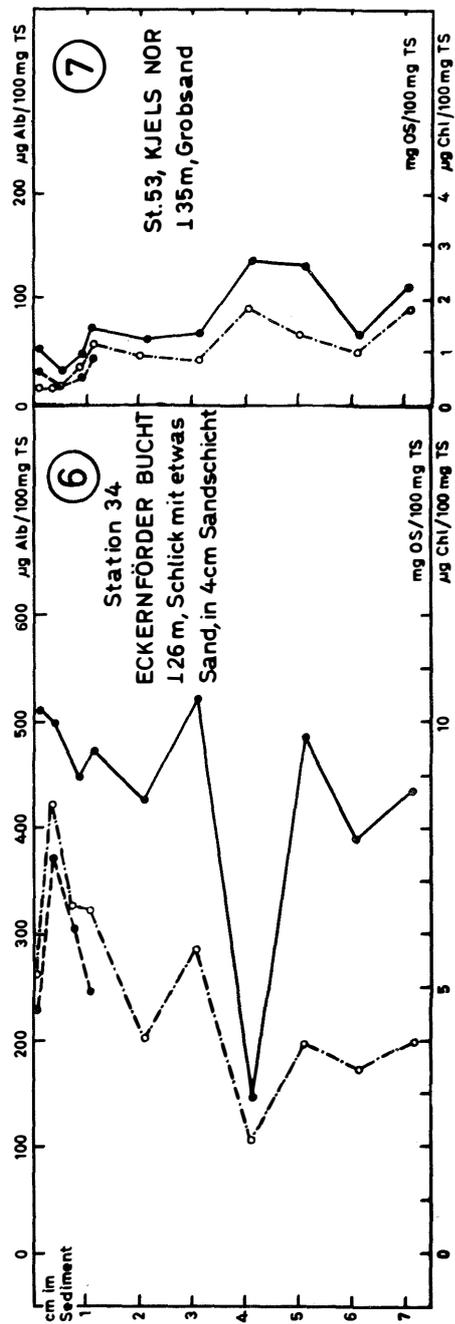
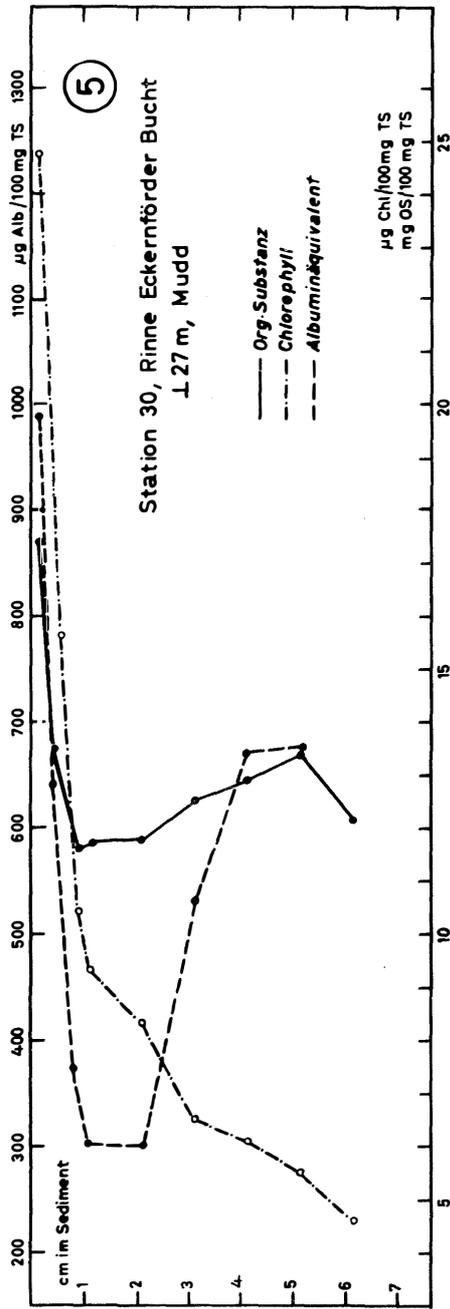
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Vertikale Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll und Eiweiß (als Albuminäquivalent) in drei verschiedenen Sedimenttypen.

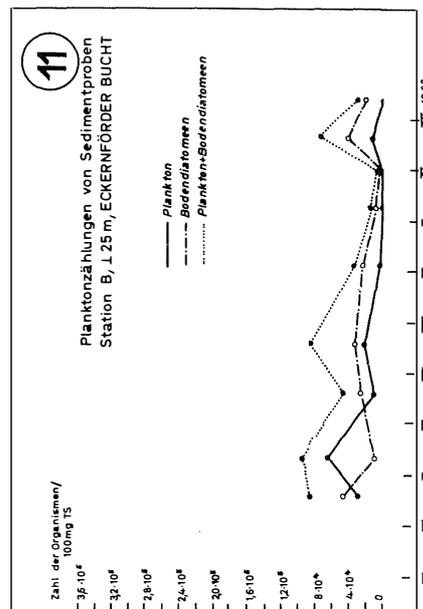
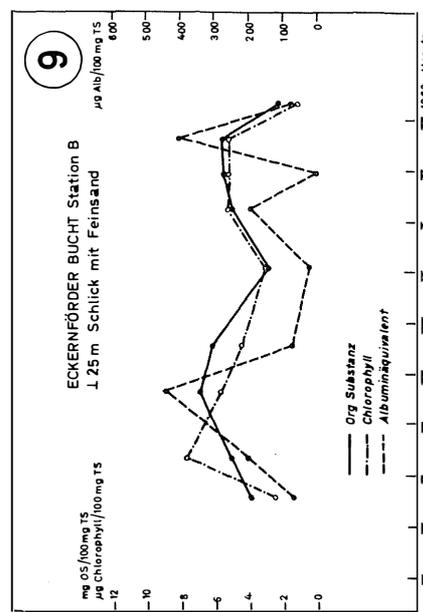
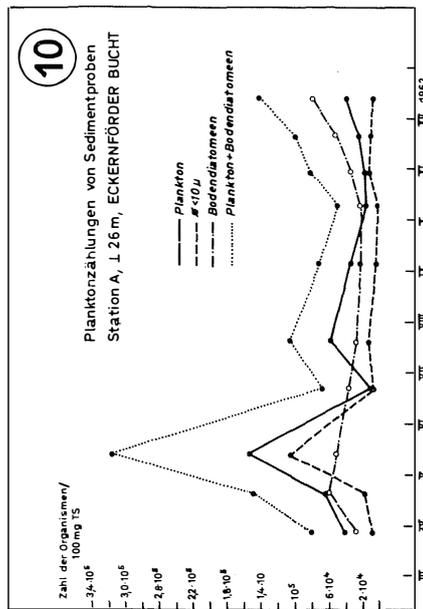
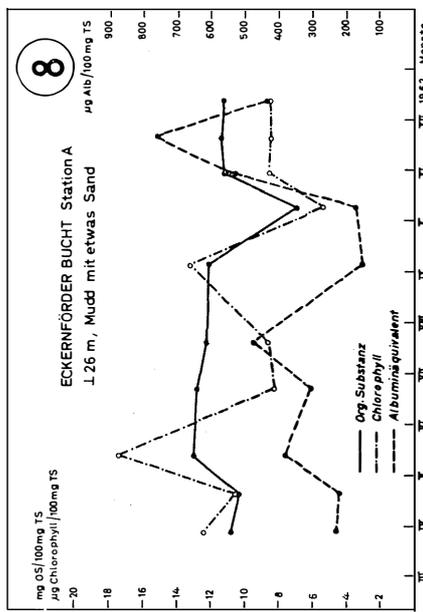
Abb. 5: Mudd.

Abb. 6: Schlick mit Sand.

Abb. 7: Grobsand.



Tafel 3 (zu B. Zeitzschel)



Tafel 4 (zu B. Zeitzschel)

Tabelle 1  
Der prozentuale Gehalt von organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin in den oberen 3 mm des Sediments

Sediment	% OS/TS	% Chl/TS	% Chl/OS	% Alb/TS	% Alb/OS
Mudd . . . . .	10 —18	0,006—0,025	0,04—0,17	0,4—1,3	1,7—10,3
Schlick-Sand . . . . .	2,5—10	0,002—0,009	0,01—0,15	0,1—0,4	0,6—10,0
Sand . . . . .	1 — 2,5	0—0,002	0,03—0,10	0 —0,1	1,8— 7,4

Organische Substanz:

Der größte Wert für die organische Substanz an der Oberfläche wurde bei Station 30 in der Rinne der Eckernförder Bucht (Wassertiefe 27 m) mit 17,4 mg organischer Substanz/100 mg Trockensubstanz gefunden. Dieser Wert wurde jedoch in tieferen Sedimentlagen vor allem durch eingelagerte Schichten von nur teilweise zerfallenen benthischen Algen einige Male übertroffen. So hat zum Beispiel Station 105 in der Eckernförder Bucht in 5 cm einen Wert von 21,8% organischer Substanz, Station 70 in 5 cm 18,8% und schließlich Station 49 in der Flensburger Innenförde einen Gehalt an organischer Substanz von 18,1% in 2 cm Sedimenttiefe. Andererseits können durch eingelagerte Sandschichten in den Muddproben sehr niedrige Werte auftreten. So verringert sich z. B. der organische Substanz-Gehalt in 4 cm Tiefe innerhalb eines Zentimeters bei Station 34 um etwa zwei Drittel von 10,4 auf 2,9 mg organische Substanz/100 mg Trockensubstanz (Abb. 6). Durchschnittlich liegen die Werte für die organische Substanz in den Muddprofilen etwa zwischen 10—18% (St. 34, 51, 75, 78, 82, 88 u. a.). In den reinen Sandprofilen ist recht wenig organisches Material vorhanden. Die Werte liegen in den Größenordnungen von 1—2,5% organischer Substanz (St. 52, 53, 79, 84, 85, 86 u. a.).

Bei den „gemischten Sedimenten“, d. h. bei den Sandsedimenten mit einem kleinen Schlickanteil, treten Zwischenwerte von etwa 2,5—10 % organischer Substanz auf (St. 31, 77, 80, 81 u. a.).

Wir können also feststellen, daß das Muddsediment am reichsten an organischer Substanz ist, daß das Schlick-Sand-Sediment einen Übergang bildet und die Sandsedimente sehr arm an herabgesunkenem organischem Material sind.

Chlorophyll:

Der größte gefundene Chlorophyllwert in Sedimentproben der Westlichen und Mittleren Ostsee stammt von Station 49 in der Flensburger Innenförde mit 36,4 µg/100 mg Trockensubstanz. Es folgt Station 30 aus der Rinne der Eckernförder Bucht mit 24,7 µg, Station 88 mit 22,6 µg und Station 73 mit 19,3 µg. Alle hohen Werte liegen

---

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)  
Jahresgang von organischer Substanz, Chlorophyll und Eiweiß (als Albuminäquivalent) an der Sedimentoberfläche von zwei Stationen in der Eckernförder Bucht.

Abb. 8: Station A, Tiefe 26 m, Sediment: Mudd mit etwas Sand.

Abb. 9: Station B, Tiefe 25 m, Sediment: Schlick mit Feinsand.

Planktonzählungen von der Sedimentoberfläche von zwei Stationen in der Eckernförder Bucht.

Abb. 10: Station A, Tiefe 26 m, Sediment: Mudd mit etwas Sand.

Abb. 11: Station B, Tiefe 25 m, Sediment: Schlick mit Feinsand.

an der Oberfläche. Selten ist das Chlorophyllmaximum tiefer als 1 cm (St. 70). Im tieferen Sediment nimmt der Chlorophyllgehalt im allgemeinen kontinuierlich ab (St. 30, Abb. 5). Bei den reinen Sandproben liegen die Chlorophyllwerte für die Oberfläche etwa zwischen 0 und 2  $\mu\text{g}/100$  mg Trockensubstanz (St. 52, 53, 79, 85, 86 u. a.). Die Schlick-Sand-Sedimente weisen meist Werte zwischen 2 und 9  $\mu\text{g}$  auf (St. 55, 77, 80, 81, 116 u. a.) und die Mudd-Sedimente in der obersten Schicht Durchschnittswerte von 6—20  $\mu\text{g}$  Chlorophyll/100 mg Trockensubstanz (St. 51, 75, 78, 82 u. a.). Hieraus ergibt sich, daß das Chlorophyll in den Sandsedimenten vollkommen abgebaut sein kann, daß jedoch im Mudd verhältnismäßig hohe Werte erreicht werden.

Albuminäquivalent:

Die Maxima der Albuminkurven sind ebenfalls, wie bei der organischen Substanz und beim Chlorophyll, fast ausschließlich im oberen Zentimeter des Sedimentes zu finden. Es liegen jedoch nur eine geringe Anzahl von Analysen der tieferen Sedimentschichten vor. Im allgemeinen wurde die Eiweißbestimmung auf die oberen 13 mm beschränkt.

Der höchste Albuminwert mit 1225  $\mu\text{g}/100$  Trockensubstanz stammt von Station 82 im Gotlandtief. Dieser Stoßkern wurde aus 203 m Tiefe gezogen. Der nächsthöhere Albumingehalt wurde bei Station 30 in der Rinne der Eckernförder Bucht festgestellt (986  $\mu\text{g}/100$  mg Trockensubstanz). Die Abnahme der Albumin-Werte mit der Tiefe im Sediment verläuft ähnlich wie bei der organischen Substanz und wie beim Chlorophyll. In einigen Fällen ist jedoch auch in der Tiefe eine starke Zunahme des Albumingehaltes zu finden (z. B. St. 30). Die Durchschnittswerte im oberen Zentimeter des Sediments liegen beim Mudd zwischen 400—1000  $\mu\text{g}/100$  mg Trockensubstanz (St. 30, 51, 75 u. a.), für die Schlick-Sand-Sedimente bei 100—4000  $\mu\text{g}$  (St. 31, 34, 77, 80, 81, 116 u. a.) und bei den Sanden zwischen 0—100  $\mu\text{g}$  Albumin/100 mg Trockensubstanz (St. 52, 53, 79, 84, 85, 86 u. a.). Also auch hier sind, wie zu erwarten, die Gehalte an Albumin im Mudd bei weitem am höchsten. Auch die Eiweißzersetzung geht unter anaeroben Bedingungen nur unvollständig vor sich.

Der dritte Teil der Ergebnisse bringt die jahreszeitliche Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin, bezogen auf 100 mg Trockensubstanz, und die Ergebnisse der Planktonzählungen an der Sedimentoberfläche von zwei Stationen in der Eckernförder Bucht (St. A: Abb. 8 und 10, St. B: Abb. 9 und 11, Stationsplan: Abb. 1).

Bei dem Vergleich der beiden Jahregänge fällt folgendes auf:

Die absoluten Werte von organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin der Station A sind durchschnittlich doppelt so hoch wie bei Station B. Der Verlauf der Kurven der organischen Substanz ist recht ähnlich. Die Chlorophyllkurve ist bei Station A wesentlich mehr gegliedert als bei B, wo die höheren Werte nicht auffällig in Erscheinung treten. Der höchste Albuminwert liegt bei Station A im November, während B drei Gipfel im Juni, Oktober und November aufweist. Der Novemberwert ist etwas geringer als der Juni-Wert. Die höheren Werte der organischen Bestandteile im Sediment bei Station A erklären sich dadurch, daß der Muddanteil wesentlich größer ist als bei Station B. Denn letztere liegt unmittelbar am Hang des Mittelgrundes, von

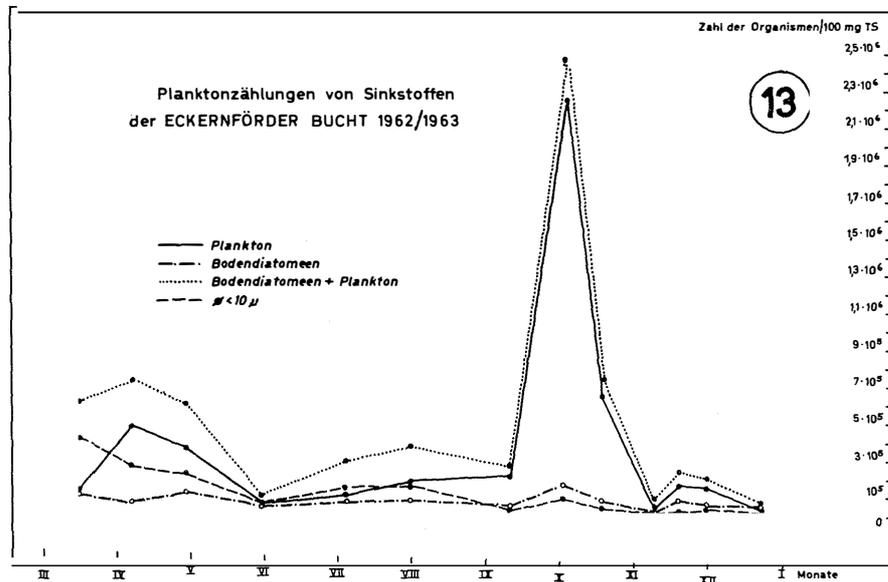
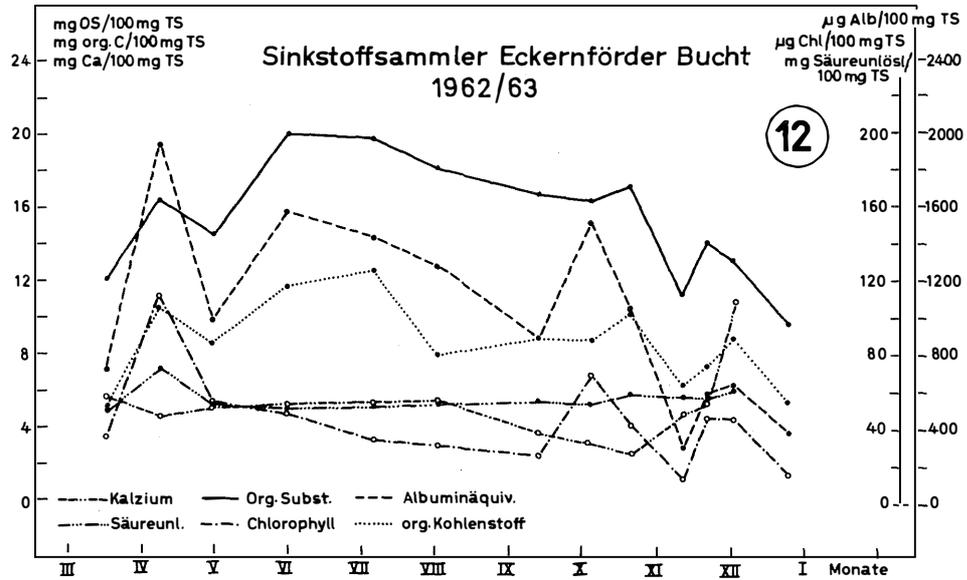
---

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

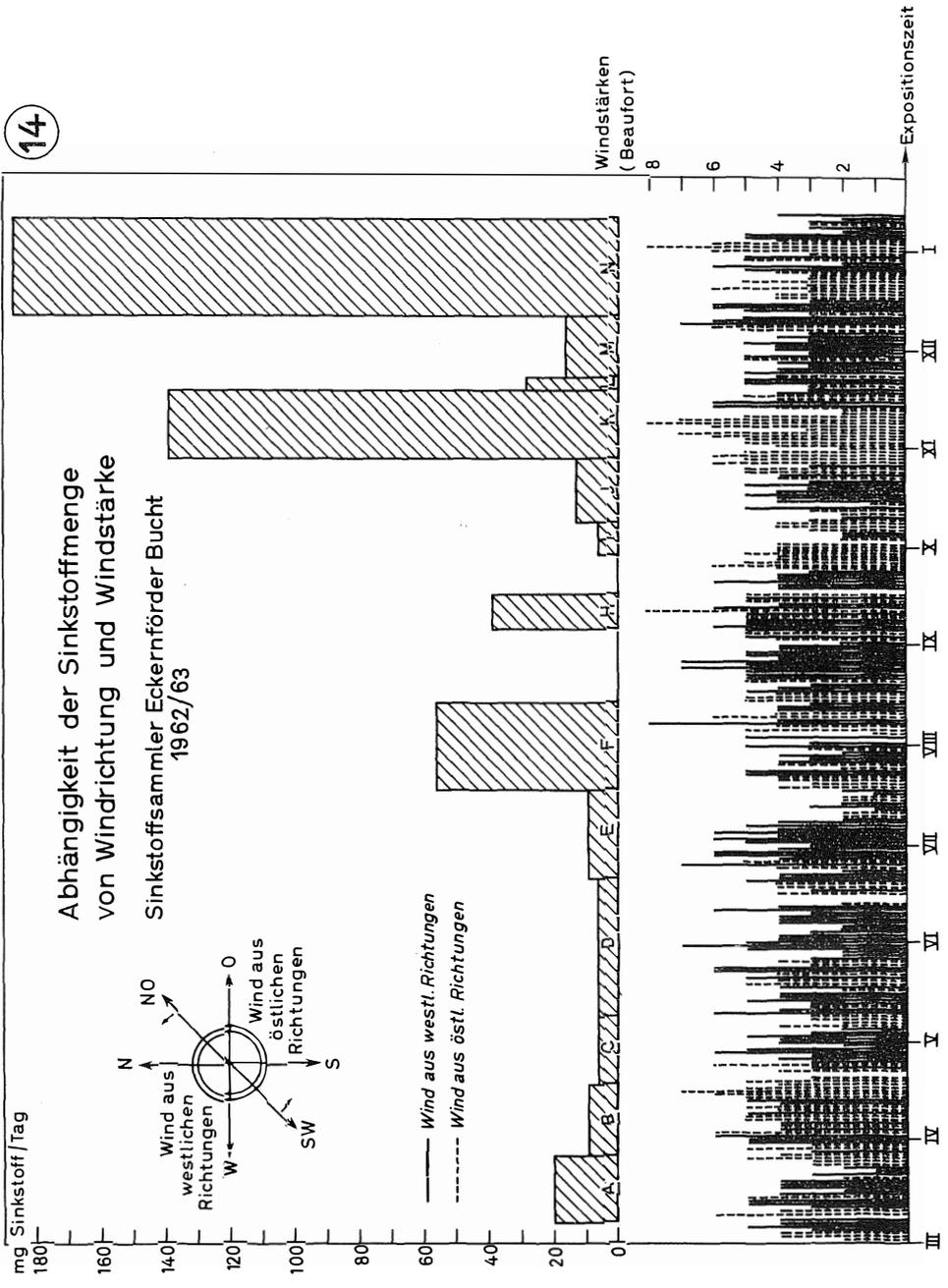
Sinkstoffsammler Eckernförder Bucht 1962/63.

Abb. 12: Jahrgang von organischer Substanz, Chlorophyll, Eiweiß (als Albuminäquivalent), organischem Kohlenstoff, Kalzium und Säureunlöslichem.

Abb. 13: Planktonzählungen von Sinkstoffen der Eckernförder Bucht.



Tafel 5 (zu B. Zeitzschel)



Tafel 6 (zu B. Zeitzschel)

dem bei Stürmen durch submarine Abrasion ein gewisser Teil Sand ausgewaschen wird, der sich in einem höheren Sandgehalt des Sediments der Station deutlich zeigt.

Planktonzählungen von der Sedimentoberfläche:

In Abbildung 10 und 11 sind die Ergebnisse der Planktonzählungen von Bodenproben der oberen Sedimentschicht bei Station A und B aus der Eckernförder Bucht im Jahresgang dargestellt. Die Abbildungen enthalten drei verschiedene Organismengruppen: Phytoplankton (fast ausschließlich Diatomeen, hauptsächlich die Gattungen *Chaetoceras*, *Skeletonema* und *Rhizosolenia*), kleine runde Organismen mit einem Durchmesser von weniger als  $10\mu$  (vor allem sehr kleine benthische und planktische Diatomeen sowie Dauerstadien) und Bodendiatomeen. Die Zahl der Organismen ist bezogen auf 100 mg Trockensubstanz des Sediments.

Die gepunktete Kurve ist eine Summenkurve. Sie gibt die Verteilung der Anzahl der Phytoplankter, der kleinen runden Organismen unter  $10\mu$  und der Bodendiatomeen wieder. Auffällig ist das Maximum bei Station A im Mai mit 318000 Organismen pro 100 mg Trockensubstanz.

Genau parallel zur Summenkurve mit niedrigeren Werten verläuft die Kurve der Phytoplankter. Ein deutlicher Gipfel ist mit 155000 Zellen im Mai zu erkennen. Die Verteilung der Bodendiatomeen ist gleichmäßiger. Im Oktober, November und Dezember ist ihre Anzahl im Sediment höher als die der herabgesunkenen Plankter. Die Zahl der Phytoplankter in Station B ist deutlich niedriger als in Station A. Die höchsten Werte der Summenkurve liegen im Mai mit 97500 Organismen/100 mg Trockensubstanz. Im Juli und November erscheinen weitere Gipfel. Auffällig ist, daß außer in der Maiprobe die Anzahl der Bodendiatomeen die Zahl der Phytoplankter übertrifft.

Vergleicht man die Ergebnisse der Planktonzählungen bei Station A und B mit den Werten der chemischen Analysen von diesen Proben (Abb. 8 und 9), so kann man folgendes feststellen:

Der Gipfel der Planktonkurve im Mai bei Station A fällt mit dem Chlorophyllmaximum in Abbildung 8 zusammen. Diese hohen Werte werden durch das abgestorbene und auf den Meeresboden gerieselte Phytoplankton verursacht. Der kleine Gipfel der Planktonkurve im Juli fällt mit einem Gipfel der Albuminkurve zusammen. Die Zunahme der Planktonorganismen im Winter spiegelt sich im Anstieg der Werte von organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin wider.

Die Verhältnisse bei Station B (Abb. 9 und 11) sind recht ähnlich, wenn auch die Gipfel der Kurven nicht so deutlich hervortreten wie bei Station A.

## B. Sinkstoffe der Eckernförder Bucht

### 1. Die jahreszeitliche Verteilung von organischer Substanz, Chlorophyll, Albumin, organischem Kohlenstoff, Kalzium und Silizium

In der Zeit vom 6. 3. 1962 bis 10. 1. 1963 wurde ein Sinkstoffsammelgerät in der Eckernförder Bucht nahe der Mittelgrundtonne W ausgebracht (Station B, Abb. 1). Eine Zusammenstellung der Analysenergebnisse zeigen Tabelle 2 und Abb. 12.

Betrachtet man Abbildung 12 in ihrer Gesamtheit, so fällt folgendes auf: Anfang April erscheinen hohe Werte von organischer Substanz und organischem Kohlenstoff und Maximalwerte für Chlorophyll, Albumin und Säureunlösliches. Verursacht wird

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 6)  
Sinkstoffsammler Eckernförder Bucht 1962/63.  
Abb. 14: Abhängigkeit der Sinkstoffmenge von Windrichtung und Windstärke.

Tabelle 2

Analysenergebnisse der Sinkstoffproben aus der Eckernförder Bucht

Sinkstoffprobe	expon: Zeit (Tage)	Sink- stoff- menge (mg)	Sink- stoff- menge (mg/Tag)	OS/ 100 mg TS (mg)	Chl/ 100 mg TS ( $\mu$ g)
A 6. 3.—27. 3. 62 . . . . .	21	395	19,9	12,1	34,5
B 27. 3.—18. 4. 62 . . . . .	22	196	8,9	16,4	111,3
C 19. 4.— 9. 5. 62 . . . . .	20	129	6,5	14,5	53,6
D 9. 5.—21. 6. 62 . . . . .	43	286	6,6	20,0	47,5
E 21. 6.—18. 7. 62 . . . . .	27	239	8,8	19,7	34,3
F 19. 7.—15. 8. 62 . . . . .	28	1554	55,4	18,1	30,2
H 7. 9.—17. 9. 62 . . . . .	10	385	38,5	16,7	25,2
I 29. 9.— 9. 10. 62 . . . . .	10	55,3	5,5	16,4	67,9
J 9. 10.—29. 10. 62 . . . . .	20	255	12,7	17,1	41,1
K 29. 10.—19. 11. 62 . . . . .	21	2919	139	11,2	13,6
L 19. 11.—22. 11. 62 . . . . .	3	84	28,0	14,1	45,1
M 22. 11.—11. 12. 62 . . . . .	19	303	16,0	13,1	45,7
N 11. 12. 62—10. 1. 63 . . . . .	30	5618	187	9,6	14,7

dieser hohe Gehalt der organischen Substanzen durch das herabrieselnde Phytoplankton, das etwas früher während der Frühjahrsblüte Ende März in der oberen Wasserzone entstanden ist.

Der hohe Wert des Säureunlöslichen (Silizium) läßt auf eine große Zahl von Diatomeen schließen, was auch tatsächlich durch Planktonzählungen der Sinkstoffe bestätigt werden konnte (Abb. 13). Im Laufe der Sommermonate wird der Gehalt an organischer Substanz, Chlorophyll, organischem Kohlenstoff und Albumin, bezogen auf 100 mg Trockensubstanz, geringer. Die Werte für Kalzium und Säureunlösliches bleiben etwa unverändert. Im November treten für Chlorophyll und Albumin deutliche Gipfel hervor, während die höheren Werte für organische Substanz und organischen Kohlenstoff etwas später erscheinen. Diese Erhöhung der organischen Komponenten spiegelt die Herbstblüte des Phytoplanktons wider, die im Jahre 1962 etwa Mitte September begann. Die Analysenwerte Ende Dezember sind auffällig niedrig, da durch stürmische Winde viel anorganisches Material im sedimentierten Seston enthalten war (Abb. 14).

Vergleicht man die Analysenwerte der Sinkstoffe, die 1 m über dem Boden aufgefangen wurden, mit den Ergebnissen der aus Schlick mit Feinsand bestehenden Sedimentoberfläche neben dem Gerät (Abb. 9), so erkennt man, daß die Sinkstoffwerte erheblich höher liegen. Zum Beispiel betragen die Werte bei der organischen Substanz an der Sedimentoberfläche etwa nur  $\frac{1}{3}$ , beim Chlorophyll etwa  $\frac{1}{10}$  und beim Albumin etwa  $\frac{1}{4}$  der Werte der Sinkstoffe. In den Sinkstofffallen wurde fast ausschließlich tief-schwarzer, oft nach  $H_2S$  riechender Mudd angetroffen. In der Probe F (19. 7.—15. 8. 1962) wurde eine durch Windeinflüsse bedingte Schicht anorganischen Materials festgestellt, die später wieder von schwarzem Mudd bedeckt wurde. Auch in der Dezember-Probe wurden erhebliche Mengen anorganischen Materials aufgefangen. Daraus läßt sich folgern, daß die Oberfläche der Sedimente um den Mittelgrund herum nach stürmischen Winden mit einer mehr oder weniger starken Sandschicht bedeckt werden kann, die das sedimentierte organische Material zudeckt. Durch Strom kann sicherlich auch leichter Detritus fortgeschwemmt werden.

Vergleicht man die Sinkstoffproben mit reinen Muddablagerungen in der Rinne der Eckernförder Bucht, z. B. Station 30, so stellt man fest, daß sie ungefähr den gleichen Gehalt an organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin aufweisen (Abb. 5).

Sinkstoffsammler Mittelgrund W, Eckernförder Bucht, Tiefe 25 m

% Chl/ TS	% Chl/ OS	Alb/ 100 mg TS (µg)	% Alb/ TS	% Alb/ OS	Ca/ 100 mg TS (mg)	C/ 100 mg TS (mg)	Salpeters. unlös./ 100 mg TS (mg)
0,03	0,3	714	0,7	5,9	5,6	5,2	51,5
0,11	0,7	1942	1,9	11,8	4,6	10,5	71,0
0,05	0,4	890	0,9	6,1	5,0	8,6	53,7
0,05	0,2	1568	1,6	7,8	5,3	11,7	50,8
0,03	0,2	1435	1,4	7,3	5,3	12,5	51,5
0,03	0,2	1275	1,3	7,1	5,5	8,0	52,6
0,03	0,2	891	0,9	5,4	3,7	8,9	55,0
0,07	0,4	1512	1,5	9,2	3,2	8,8	53,8
0,04	0,2	1053	1,1	6,2	2,6	10,2	59,1
0,01	0,1	294	0,3	2,6	4,7	6,3	57,4
0,05	0,3	590	0,6	4,1	5,5	7,4	55,6
0,05	0,3	632	0,6	4,8	10,9	8,8	62,5
0,01	0,2	372	0,4	3,9	—	5,5	—

## 2. Die Windabhängigkeit der Sedimentation von Seston

In Abbildung 14 wird die Sinkstoffmenge/Tag für die Proben A—N in Abhängigkeit von den Windeinflüssen dargestellt. Der Wind wurde nach zwei Komponenten aufgeschlüsselt: Winde aus westlichen Richtungen und Winde aus östlichen Richtungen. Die W-Winde sind für die Eckernförder Bucht ablandig, die östlichen kommen mehr oder weniger direkt von See und erzeugen bei längerer Dauer einen verhältnismäßig ausgereiften Seegang. Die täglichen Windbeobachtungen stammen vom Feuerschiff „Fehmarnbelt“, das etwa 35 sm östlich der Eckernförder Bucht liegt.

Die Höhe der schraffierten Balken gibt die Sinkstoffmenge pro Tag an. Ihre Breite deutet die verschiedenen langen Auslegezeiten des Sinkstoffsammelgerätes an. Die fehlenden Angaben zwischen Probe F und H sowie zwischen H und J wurden durch den Verlust der Geräte in den betreffenden Zeiten verursacht.

Die ausgezogenen und unterbrochenen senkrechten Striche geben die an den einzelnen Tagen in der Zeit vom 1. 3. 62 bis 10. 1. 63 aus westlichen bzw. östlichen Richtungen wehenden Winde an. Fehlende Striche bedeuten Windstille.

Im Vergleich mit dem Jahresgang der täglichen Sinkstoffmenge läßt sich folgendes erkennen:

Im Frühjahr und Sommer scheint die Sedimentation durch den kurzfristigen Anstieg der Ost- und Westwinde auf Stärke 7 nicht beeinflußt zu sein. Bei Stärke 8 wird die Sedimentationsmenge an der Station in der Eckernförder Bucht jedoch merklich erhöht (Probe F); anhaltend starke Ostwindlagen mit Maxima von Stärke 8 haben extrem hohe Sinkstoffmengen zur Folge (Probe K und N). Die Menge des Sinkstoffs, die bei der Station in der Eckernförder Bucht aufgefangen wurde, war durch den Wind stark beeinflußt. Anhaltende, stürmische Winde ergeben etwa die zehnfache Sinkstoffmenge wie die verhältnismäßig ruhigen Sommermonate mit durchschnittlichen Windstärken um 4.

## 3. Die jährliche Sedimentation

Aus der Menge an sedimentiertem Seston pro Zeiteinheit läßt sich größenordnungsmäßig die Sinkstoffmenge für ein Jahr berechnen. Es wurden hierzu nur die Proben des

Sinkstoffgerätes in der Eckernförder Bucht herangezogen, bei denen der Sinkstoff zum größten Teil aus den Partikeln bestand, die von der oberen Wasserschicht heruntergeriesel sind (Tab. 2). Nicht berücksichtigt wurden die Proben, die eindeutig zu hohe Sinkstoffwerte aufwiesen. Aus den Mittelwerten von 185 Tagen errechnet sich ein Wert von 10,5 mg Sinkstoff/Tag als Trockensubstanz für 1 Flasche des Sinkstoffgerätes (Grundfläche der Flasche 78,5 cm<sup>2</sup>). Daraus folgt der Wert von etwa 500 g Sinkstoff/Jahr und m<sup>2</sup>. Mit Hilfe der errechneten Sinkstoffmenge für ein Jahr und 1 m<sup>2</sup> ist es möglich, Aussagen über die Zunahme der Sedimentmächtigkeit in der Eckernförder Bucht zu machen. Aus dem Wert 500 g/Jahr/m<sup>2</sup> ergibt sich durch Division durch 10000 die Menge des sedimentierten Sestons von 50 mg/cm<sup>2</sup> (Trockensubstanz). Das für die Gewinnung der Sedimentkerne benutzte Stoßrohr hat einen Durchmesser von 2,6 cm und somit eine Querschnittsfläche von 5,3 cm<sup>2</sup>, die das Sediment am Meeresboden aussticht. Der Durchschnittswert einer 3 mm dicken Muddschicht unter der 5,3-cm<sup>2</sup>-Fläche beträgt 300 mg Trockensubstanz. Dividiert man diesen Wert durch 3 und 5,3, so erhält man die Sedimentmenge als Trockensubstanz für 1 mm Mächtigkeit und 1 cm<sup>2</sup> Fläche. Der Wert beträgt 18,9 mg Trockensubstanz/cm<sup>2</sup>/1 mm Sediment. Dividiert man die oben errechnete Menge des jährlich pro cm<sup>2</sup> sedimentierten Sestons durch den eben gefundenen Wert von 18,9, so erhält man etwa den Zuwachs des Mudds in Millimetern. Im Jahr 1962 ergibt sich für den Mudd der Eckernförder Bucht 2,6 mm Sedimentzuwachs/Jahr an der Sedimentoberfläche.

#### 4. Planktonzählungen von Sinkstoffen

Die Planktonzählungen wurden anhand von Hyraxpräparaten durchgeführt. Die Zahl der Organismen ist auf 100 mg Trockensubstanz bezogen. In Abbildung 13 sind die Zählergebnisse von Sinkstoffproben der Eckernförder Bucht dargestellt.

Die Gipfel bei den Planktonorganismen im April und Oktober fallen zusammen mit den höheren Analysenwerten von organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin, die auf die Frühjahrs- bzw. Herbstblüte des Planktons folgen.

Verursacht werden die hohen Planktonzahlen im Frühjahr vor allem durch die Gattung *Skeletonema*, im Herbst durch *Rhizosolenia* und *Skeletonema* und *Chaetoceras*. *Chaetoceras* erreicht als einzige Gattung auch Anfang Dezember höhere Werte (90000 Zellen). Peridineen, die normalerweise den Hauptanteil der Phytoplankter bei der Herbstblüte bilden, wurden im Sediment nur selten gefunden. Wahrscheinlich werden diese Arten beim Absinken stark mineralisiert.

Betrachtet man die Abbildung 13 im Zusammenhang, so tritt das Maximum im Oktober deutlich hervor. Die Zahl der Organismen ist im Herbst etwa fünfmal so hoch wie im Frühjahr. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den chemischen Analysen (Abb. 12, Tab. 2), bei denen im Frühjahr zumindest Chlorophyll und Albumin ihre Maximalwerte haben, so sind die Ergebnisse scheinbar widersprüchlich (s. Seite 73).

### C. Abgeleitete Ergebnisse

#### 1. Der Verlust von organischen Substanzen im Sediment

Von großer Bedeutung für das Verständnis des Stoffkreislaufs im Meer ist neben der Erforschung der Produktion des Phytoplanktons in der Deckschicht die Bestimmung der Menge organischen Materials, die nach dem Absterben des Planktons auf den Meeresboden herabrieselt.

Ein bestimmter Teil wird im oberen Zentimeter des Sediments weiter abgebaut, ein anderer Teil wird darunter im Sediment festgelegt und geht so dem Stoffkreislauf verloren. In Tabelle 3 sind neben der Sinkstoffmenge/Jahr/m<sup>2</sup> die Werte für organische Substanz, Chlorophyll, Albuminäquivalent und organischen Kohlenstoff in Gramm,

bezogen auf 1 Jahr und 1 m<sup>2</sup>, zusammengestellt. Diese Werte sind aus den Analyseergebnissen der Proben des Sinkstoffgerätes in der Eckernförder Bucht errechnet (Tab. 2). Da es sich um Mittelwerte handelt, stellen die Zahlen nur Annäherungswerte für das Jahr 1962 dar. Sie sollen die Größenordnung des Verlustes an organischen Substanzen im Muddsediment angeben.

Im Jahre 1962 sind in der Eckernförder Bucht etwa 500 g Seston/Jahr/m<sup>2</sup> sedimentiert. Davon entfallen auf die organische Substanz 75 g, auf das Chlorophyll und seine Abbauprodukte 0,22 g, auf das Albuminäquivalent 6 g und auf den organischen Kohlenstoff 40 g.

Aus 50 Muddproben wurde das Verhältnis der Analysenwerte der organischen Substanz und des Chlorophylls der oberen Sedimentschicht zu denen der 7 cm tiefen Sedimentschicht errechnet. Beim Albuminäquivalent wird die Oberflächenschicht mit der 1,3-cm-Schicht verglichen. Das Verhältnis zwischen beiden Schichten ergibt für die organische Substanz den Wert 5 : 4, für Chlorophyll 3 : 1 und für Albumin 3 : 2. In der zweiten Spalte der Tabelle 3 sind die Mengen für organische Substanz, Chlorophyll und Albuminäquivalent zusammengestellt, die in den tieferen Sedimentschichten durchschnittlich noch im Mudd enthalten sind.

Tabelle 3

Die jährlich sedimentierte Menge von Seston, organischer Substanz, Chlorophyll, Albuminäquivalent und organischem Kohlenstoff in der Eckernförder Bucht

Sedimentierte Sestonmenge/Jahr/m <sup>2</sup> (g)	Org. Subst./Jahr/m <sup>2</sup> (g)	Chl/Jahr/m <sup>2</sup> (g)	Alb/Jahr/m <sup>2</sup> (g)	org. C/Jahr/m <sup>2</sup> (g)	Tiefe im Sediment
500	75	0,22	6	40	Sedimentoberfläche
	60	0,07	4 <sup>1)</sup>	—	7 cm Sedimenttiefe
	(80%)	(30%)	(65%)		% des Oberfl. Wert.

## 2. Der Verlust von lebender organischer Substanz im Sediment

Nach STEEMANN NIELSEN (1958) ist die Jahresproduktion an organischer Substanz beim Feuerschiff „Halskov Rev“ im Großen Belt durchschnittlich 150 g/m<sup>2</sup>. Diese Angaben gelten größenordnungsmäßig für die gesamte Westliche Ostsee. Durch die eigenen Untersuchungen wurde festgestellt, daß jährlich etwa 75 g organische Substanz pro m<sup>2</sup> in der Eckernförder Bucht sedimentiert sind. Das würde bedeuten, daß die Hälfte der jährlichen Produktion an organischer Substanz in diesem Meeresgebiet auf den Meeresboden gesunken ist. Durch Eiweißbestimmungen und die Umrechnung der Werte in lebende organische Substanz konnte festgestellt werden, daß ca. 30 g lebende organische Substanz/Jahr/m<sup>2</sup> im Sediment der Eckernförder Bucht noch enthalten sind. Dies zeigt, daß etwa 80% des lebenden Planktons schon im freien Wasser zersetzt werden. Nur 20% gelangen bis auf den Meeresboden. Das steht nicht im Widerspruch zu den 75 g sedimentierter organischer Substanz/Jahr/m<sup>2</sup>. Dieser Wert für organische Substanz enthält auch den Anteil des organischen Detritus, der 60% der organischen Substanz beträgt. Ein bisher nicht festzulegender Fehler dieser Überlegungen kann dadurch entstehen, daß eiweißfreie organische Substanz durch Bakterien in eiweißhaltige organische Substanz umgearbeitet wird.

<sup>1)</sup> (wie in Tabelle 3 bei Wert „4“!) 1,3 cm Sedimenttiefe

### 3. Beziehung zwischen organischer Substanz und organischem Kohlenstoff

Die organische Substanz der Sedimente wurde durch Berechnung des Glühverlustes bestimmt, während der organische Kohlenstoff durch konduktometrische Messung des  $\text{CO}_2$  nach der Verbrennung des Kohlenstoffs gemessen wurde. Aus 30 Analysen wurde der Gehalt des organischen Kohlenstoffs in der organischen Substanz der Sedimente bestimmt. Der Mittelwert ergibt einen Gehalt von 58,5% organischem Kohlenstoff in der organischen Substanz (Schwankungsbreite 43%—67%). Zur Umrechnung von organischem Kohlenstoff in organische Substanz ergibt sich daraus ein Faktor von 1,71. Dieses Verhältnis entspricht den Berechnungen anderer Autoren (s. GRIPENBERG 1934). Es zeigt, daß die Bestimmung der organischen Substanz in Sedimenten durch Glühverlustberechnung eine ausreichende Genauigkeit bietet.

### 4. Der Anteil des Detritus im sedimentierten Seston

Der eine Bestandteil des Sestons ist die lebende organische Substanz — das Plankton. Der andere Anteil ist der Detritus.

Aus den durchgeführten chemischen Analysen der Sinkstoffe der Station Mittelgrund W läßt sich der Anteil des gesamten Detritus und dessen organischer und anorganischer Bestandteil errechnen.

Diatomeen, die den Hauptanteil des Planktons im Sinkstoff ausmachen, haben einen Eiweißgehalt von etwa 40% der organischen Substanz (HAGMEIER 1961). Wenn man den mittleren Aschegehalt des Diatomeenplanktons mit 50% der Trockensubstanz annimmt (BANSE 1956, KREY 1958, HAGMEIER 1960), erhält man durch Multiplikation der gefundenen Albuminwerte der Sinkstoffproben mit dem Faktor 5 ungefähr den Anteil an lebender Substanz im Sinkstoff (als Trockensubstanz). Die Subtraktion der erhaltenen Werte von der gesamten Sinkstoffmenge/Probe ergibt den Wert für den gesamten Detritus (als Trockensubstanz). Mit Hilfe der analysierten organischen Substanz/Probe läßt sich der gesamte Detritus in einen organischen und anorganischen Anteil trennen.

Abbildung 15 zeigt die prozentualen Detritusanteile in dem sedimentierten Seston. Die gepunktete Kurve stellt die Sinkstoffmenge der einzelnen Proben (A—N) in mg Trockensubstanz dar.

Das im Jahre 1962 bei der Station Mittelgrund W (Eckernförder Bucht) sedimentierte Seston besteht im Mittel aus 95% Gesamtdetritus. Davon sind 89,5% anorganischer Detritus und 10,5% organischer Detritus.

## IV. Diskussion

### A. Die Zersetzung von Planktonorganismen im freien Wasser und am Meeresboden

Für den Stoffkreislauf im Meere sind unmittelbar folgende Faktoren von entscheidender Bedeutung: die Primärproduktion des Phytoplanktons in der oberen Wasserzone und die Weitergabe der geformten organischen Substanz an weitere Konsumenten und ihre Mineralisation, d. h. die Überführung vom partikulären Zustand in die gelöste Form.

Die Zersetzung der abgestorbenen Plankter geht beim Absinken schon im Wasser vor sich und wird am Meeresboden fortgesetzt. Ein Teil der in der oberen Wasserschicht gebildeten organischen Substanz wird im Sediment festgelegt und geht so dem Stoffkreislauf des Meeres endgültig verloren.

KRAUSE (1959) hat im Laboratoriumsexperiment die Veränderungen der chemischen Grundzusammensetzung von totem Zooplankton untersucht ( $t = 18-20^{\circ}\text{C}$ ). Er stellte fest, daß sofort nach dem Tod der Organismen ein Gesamtsubstanzverlust auftrat, der zwischen 11 und 39% schwankte und im Mittel 26% betrug. Rund ein Drittel der Körpersubstanz geht beim Abbau im Verlauf der ersten Stunden, ungefähr die Hälfte während der ersten Tage und Dreiviertel innerhalb eines Monats verloren. Ein Viertel der Körpersubstanz erweist sich als sehr zersetzungsresistent und überdauert die Zeitspanne eines Monats.

GORSCHKOWA (1955) (zitiert in DJUKOWA und FEDOSOW) hat Untersuchungen über die Zersetzung von Phytoplankton im Asowschen Meer durchgeführt. Gleich nach dem Absterben der Pflanzenzellen waren ungefähr 20% P und 30% N ins Wasser übergegangen; nach 5 Tagen war die Zersetzung des Phytoplanktons zum größten Teil beendet. OHLE (1962) konnte in einem Süßwassersee in 20 m Wassertiefe einen Verlust der autochthonen Primärproduktion von 59% bis nahezu 88% feststellen. STEEMANN NIELSEN und AABYE JENSEN (1957) nehmen an, daß im zentralen Südatlantik 95% des erzeugten Phytoplanktons in den oberen 200 m gefressen werden. Im Gegensatz zu den Gebieten auf dem Schelf erreicht offenbar der überwiegende Teil der durch die Primärproduktion des freien Ozeans entstandenen Organismen nicht den Boden, sondern wird in den oberen Wasserschichten oberhalb von 1000—2000 m Wassertiefe verbraucht. Diese Annahme vertreten auch BANSE und KREY (1962). Eine große Bedeutung bei der Zersetzung der Planktonorganismen kommt den Bakterien zu. Nach GUNKEL (1962) ist die Hauptrolle der Bakterien im Meere darin zu sehen, daß sie abgestorbene Lebewesen abbauen und dadurch die für das Phytoplankton lebensnotwendigen Minimumstoffe wie Stickstoff und Phosphate wieder in den Stoffkreislauf zurückkehren lassen. Es ist jedoch nach GUNKEL nicht leicht, eine Grenze zu ziehen zwischen Reaktionen, die durch Bakterien verursacht werden, und solchen, die auch ohne ihre Beteiligung ablaufen.

Berücksichtigt werden müssen hierbei zum einen die autolytischen Prozesse, d. h. der Abbau durch die eigenen Enzyme, die nach dem Absterben aktiv werden, und zum anderen die rein abiotischen Prozesse, vor allem die Oxydation. Bei aeroben Bedingungen geht die Zersetzung von organischem Material wesentlich schneller vor sich als bei anaerobem Milieu.

Der Zerfall der Hauptbestandteile der organischen Substanz in Bodenablagerungen ist nach DJUKOWA und FEDOSOW (1961) jedoch nur mit Hilfe der Bakterien möglich. Die Bakterien in der obersten Schicht der Muddablagerungen — die sich an der Grenze Wasser/Boden befinden — sind am aktivsten. Die obere Bodenschicht konsumiert nach DJUKOWA und FEDOSOW 1,5—3-mal mehr Sauerstoff als die tieferliegende. Die Dicke dieser Schicht beträgt in der Regel nicht mehr als 1—1,5 cm. Ebenso ist auch die Zahl der Bakterien an der Sedimentoberfläche am größten.

Die auf oder im Sediment lebenden Benthosorganismen ernähren sich in tieferen Meeresteilen ausschließlich von dem heruntergesunkenen Seston organischer Herkunft, wodurch die Zersetzung der organischen Bestandteile naturgemäß weiter fortschreitet. Nach Untersuchungen von Schäfer (1956) und REINECK (1958) aus der Nordsee können diese Organismen dadurch erheblich zur Sedimentumlagerung beitragen. In den Muddsedimenten der Ostsee ist die Anzahl der benthischen Organismen nach KÜHLMORGEN-HILLE (1963) verhältnismäßig gering. Durch diese Organismen wird in Muddgebieten nur ein geringer Teil des auf den Meeresboden gesunkenen Sestons weiter umgewandelt.

Eine wichtige Rolle bei der Zersetzung der Planktonorganismen im freien Wasser spielt die Sinkdauer der Partikel. Denn je länger die Sinkdauer ist, um so größer ist

die Möglichkeit, daß Bakterien die herabsinkenden organischen Stoffe abbauen. Die Sinkgeschwindigkeit ist nach der Formel von STOKES (zit. bei DIETRICH 1957) abhängig vom Radius des sinkenden Teilchens, der Gravitationsbeschleunigung, der Viskosität des Wassers und von  $\Delta \rho$ , dem Dichteunterschied des sinkenden Teilchens zum Wasser.

Bei HAGMEIER (1960) findet man eine ausführliche Zusammenfassung der veröffentlichten Angaben über die Sinkgeschwindigkeit verschiedener Plankter. Als vertretbares Mittel kann nach HAGMEIER der Wert von 1 m/Tag gelten, obwohl auch dieser Wert für einige besonders zarte Diatomeenarten (*Chaetoceras socialis* und *Nitzschia delicatissima*) zu groß zu sein scheint.

Als Sinkdauer der Planktonorganismen in der Eckernförder Bucht muß man bei einer Sinkgeschwindigkeit von 1 m/Tag also etwa 20 Tage von der Produktionszone bis zum Meeresboden annehmen. Diese Berechnung wird durch die eigenen Sinkstoffuntersuchungen bestätigt.

Die Sedimente der Ostsee nehmen im Vergleich zu denen des Weltmeeres eine Sonderstellung ein. Die mittlere Tiefe der Ostsee von nur 55 m ist so gering, daß die bis zum Meeresboden abgesunkenen Planktonorganismen aus den vorhergenannten Gründen nicht vollständig zersetzt sind. Vor allem in stromarmen Gebieten — in Mulden und Becken — sammelt sich feiner Detritus an. Dieses Mudd-Sediment ist etwa 10-mal so reich an organischer Substanz wie die Sedimente des Weltmeeres. 50% der in der Eckernförder Bucht produzierten gesamten organischen Substanz sinkt auf den Meeresboden. Dieser Wert ist etwa 7-mal höher als der Wert von EMERY (1960) für die Gewässer vor der Küste von Kalifornien.

B. Vergleich zwischen dem Seston und seinen Komponenten im freien Wasser und dem sedimentierten Seston in der Eckernförder Bucht

Das 2. Kapitel der Diskussion befaßt sich mit dem Jahresgang von organischer Substanz, Chlorophyll, Albumin, Kalzium und Säureunlöslichem des sedimentierten Sestons an der Station Mittelgrund W (Abb. 12) und den Ergebnissen der produktionsbiologischen Untersuchungen, die KREY seit 1957 monatlich u. a. an der Station Boknis Eck ( $\varphi = 54^\circ 31'N$ ,  $\lambda = 10^\circ 03'E$ , Tiefe 28 m, s. Abb. 1) durchführt (KREY 1961).

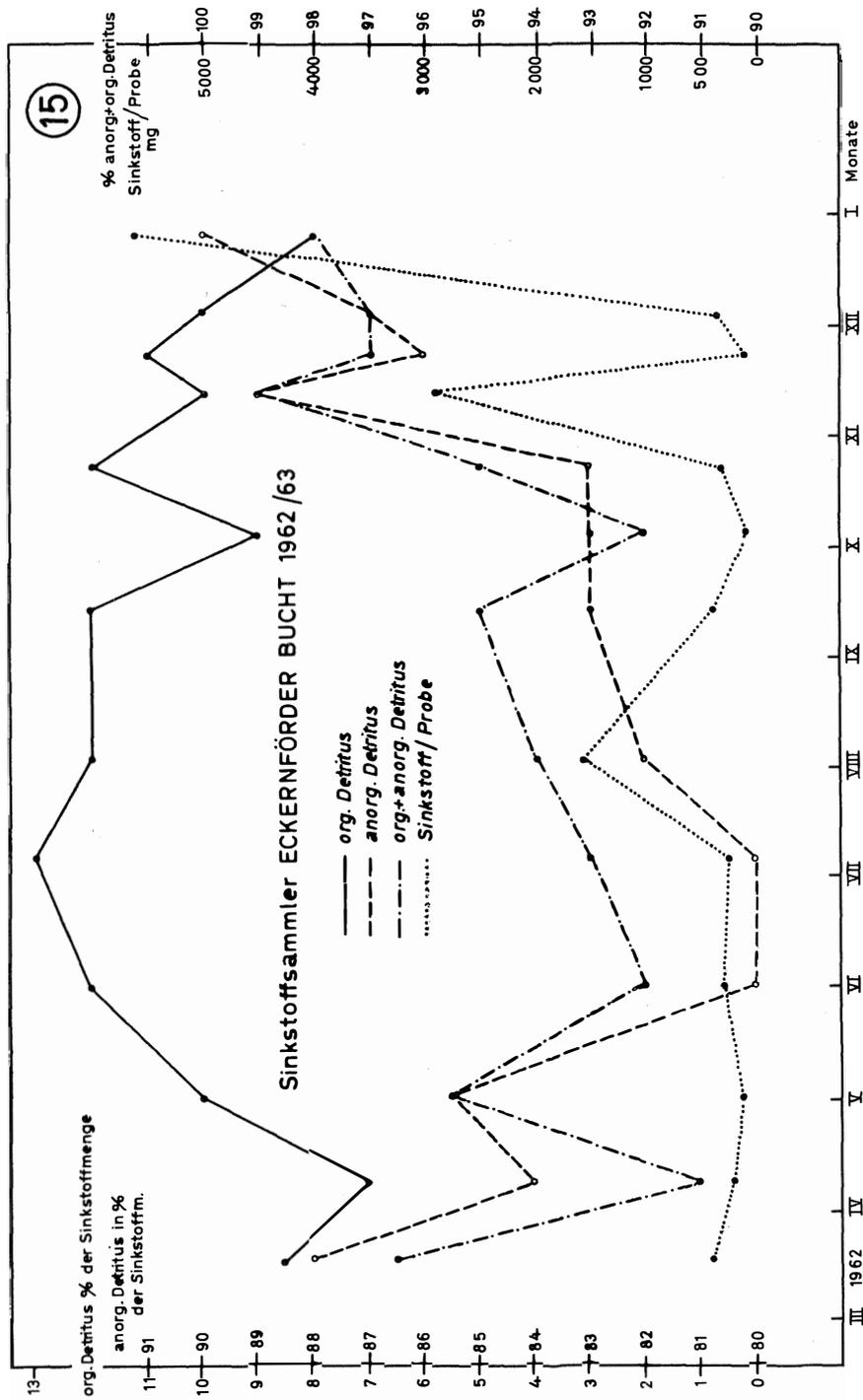
Das Sinkstoffsammelgerät war weniger als 1 m von der Station Boknis Eck entfernt ausgelegt, so daß angenommen werden kann, daß die hydrographischen Bedingungen und die produktionsbiologischen Voraussetzungen an beiden Stationen am Ausgang der Eckernförder Bucht sehr ähnlich sind.

Im folgenden sollen einige Beziehungen des sedimentierten Sestons und seiner Bestandteile zu den Verhältnissen in den darüberliegenden Wasserschichten aufgezeigt werden. Die Ergebnisse aus den Wasseranalysen sind nach Werten von KREY (unveröffentlichtes Manuskript) in Isoplethendiagrammen für das Jahr 1962 dargestellt (Abb. 16—21).

Die hohen Werte für organische Substanz, Chlorophyll, Albuminäquivalent und Silizium (Abb. 12) des sedimentierten Sestons Anfang April lassen darauf schließen, daß vorher im darüberliegenden Wasser eine Periode reicher Planktonentwicklung gewesen sein muß. Diese Vermutung läßt sich durch die Ergebnisse von KREY belegen. In der Isoplethendarstellung (Abb. 17) erscheinen deutlich hohe Chlorophyllwerte Ende März in 0 m, 5 m und 10 m Wassertiefe mit einem Maximum von 24,5  $\mu g/l$  in 5 m

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 7)  
Sinkstoffsammler Eckernförder Bucht 1962/63.  
Abb. 15: Prozentualer Anteil des Detritus am Sinkstoff.



Tafel 7 (zu B. Zeitzschel)



Tiefe. In dieser Tiefenzone wird im Ostseegebiet nach Untersuchungen von STEEMANN NIELSEN (1937) und GILLBRICHT (1952) das meiste Phytoplankton gebildet. Eine Zunge geringer Chlorophyllkonzentration erstreckt sich Ende März bis zu 15 und 20 m Tiefe. Sie deutet an, daß das Plankton zum Teil schon im Absinken begriffen ist. Die Frühjahrsblüte läßt sich weiter durch den hohen Eiweißgehalt Ende März (Abb. 18), durch die hohen Sauerstoffwerte (Abb. 20), vor allem in 5 und 10 m Tiefe, und durch einen verhältnismäßig hohen Sestongehalt von durchschnittlich über 2 mg/l Ende März nachweisen (Abb. 16). Auffällig ist auch das starke Schwinden des Gehaltes an anorganischem  $\text{—PO}_4$  im April und Mai, vor allem in der 5-m-Wasserschicht (Abb. 21). Der Gang der Kurven des sedimentierten Sestons im Sommer (Abb. 12) läßt sich in den Isolethendiagrammen der Analysenwerte des freien Wassers wiederfinden. Im September/Anfang Oktober erscheinen im sedimentierten Seston wieder höhere Werte von Chlorophyll und Albumin, die das Herbstmaximum des Planktons charakterisieren. Die deutliche Abnahme des Gehaltes an anorganischem Phosphat im freien Wasser läßt ebenfalls auf eine Phytoplanktonblüte schließen, da  $\text{—PO}_4$  einer der wichtigsten Stoffe ist, den die Planktonorganismen bei ihrem Aufbau dem Wasser entziehen. Die Sestonwerte sind Ende August / Anfang September gegenüber den Resultaten des Sommers mindestens verdoppelt. Sie erreichen jedoch ebenso wie die Werte für Chlorophyll und Albumin nicht die hohen Werte der Frühjahrsblüte Ende März.

Mitte November ergeben sich im sedimentierten Seston recht niedrige Werte. Sie sind deutlich in den Isolethendiagrammen wiederzufinden. Das Seston hat niedrige Werte unter 1 mg/l. Der Chlorophyllgehalt am Boden ist verhältnismäßig niedrig, der Albumingehalt ist unter 100  $\mu\text{g/l}$ .

Aus den Analysenwerten der Sinkstoffproben läßt sich deutlich eine Übereinstimmung mit den Verhältnissen der darüberliegenden Wasserschichten feststellen. Etwa 10—30 Tage nach der Frühjahrs- und Herbstblüte des Phytoplanktons in den oberen Wasserschichten zeigt sich diese Massenentwicklung deutlich in der Menge und Zusammensetzung des sedimentierten Sestons. Wir erhalten für die Eckernförder Bucht anhand der chemischen Analysen von organischer Substanz, organischem Kohlenstoff, Chlorophyll und Eiweiß einen 2-gipfligen Jahresgang des sedimentierten Sestons und des Sestons in dem darüberliegenden Wasserraum. Die Werte im Frühjahr liegen für Chlorophyll und Albumin etwas höher als im Herbst.

Wenn man die Planktonzählungen hinzuzieht, die vom sedimentierten Seston ausgeführt wurden, so stellt man jedoch fest, daß die Zahl der Planktonorganismen im Herbst erheblich höher ist als zur Zeit der Frühjahrsblüte (Abb. 13). Als Erklärung für diese Unstimmigkeit zu den chemischen Analysen läßt sich folgendes anführen: die Wassertemperatur (Abb. 19) zur Zeit der Frühjahrsblüte Ende März 1962 betrug als IMK-Wert (KREY 1958), für die gesamte Wassersäule berechnet,  $1,42^\circ\text{C}$ . Anfang Oktober zur Zeit der Herbstblüte ist die Temperatur jedoch erheblich höher, nämlich  $13,28^\circ\text{C}$ . Nach der van't Hoff'schen Regel nimmt die Zersetzungsgeschwindigkeit der

---

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 8)

Station Boknis Eck 1962 Eckernförder Bucht. Isolethendiagramme nach Werten von KREY:

Abb. 16: Seston.

Abb. 17: Chlorophyll.

Abb. 18: Eiweiß (als Albuminäquivalent).

Abb. 19: Temperatur.

Abb. 20: Sauerstoff.

Abb. 21: anorganisches Phosphat.

organischen Substanz im Wasser bei einer Temperaturerhöhung von 10° C um das 2- bis 3fache zu. In unserem Fall, bei einem Temperaturunterschied von rund 12° C, kann man im Herbst mindestens mit einer dreimal schnelleren Zersetzung der Planktonorganismen rechnen als im Frühjahr. Der Anteil an gelöster organischer Substanz müßte also im Herbst erheblich höher sein als im Frühjahr. Für die in partikulärer Form vorliegende organische Substanz würde dann das Umgekehrte gelten. Diese Vermutung scheint sich durch Untersuchungen von SZEKIELDA (mündlich) über den gelösten und geformten Anteil des organischen Kohlenstoffs in der Eckernförder Bucht zu bestätigen.

Die Planktonzahlen des sedimentierten Sestons sind auf eine bestimmte Menge (100 mg) Trockensubstanz berechnet. Wahrscheinlich kommen die sehr hohen Zahlen im Herbst 1962 dadurch zustande, daß die Diatomeenschalen — die Diatomeen machten den Hauptanteil der gezählten Planktonorganismen aus — verhältnismäßig schnell während der Periode ruhigen Wetters (Sinkstoff I s. Abb. 14) sedimentiert sind und deshalb einen im Vergleich zum Frühjahr zu hohen Wert vortäuschen. Die höhere Sinkgeschwindigkeit kann neben der geringeren Turbulenz auch durch die bei erhöhter Temperatur verminderte Viskosität des Wassers verursacht werden.

Der Plasmagehalt der Diatomeen ist dagegen im Sinkstoff sicherlich im Herbst geringer als im Frühjahr, weil durch die verhältnismäßig hohen Temperaturen das Zellplasma in den Organismen schon weitgehend zersetzt ist. Auch die Fettröpfchen, die den Diatomeen hauptsächlich die Schwebefähigkeit geben, werden bei der Zersetzung zerstört. Das spezifische Gewicht der absinkenden Reste wird erhöht, da von den Diatomeen dann fast nur noch ihre verhältnismäßig schweren Kieselsäureskelette vorhanden sind. Dies hat wiederum eine erhöhte Sinkgeschwindigkeit zur Folge. Die hohe Zahl der sedimentierten Planktonorganismen, die die Planktonzählungen ergeben haben, läßt sich jedoch nicht im gleichen Maße durch die chemischen Analysen von organischer Substanz, Chlorophyll und Albumin bestätigen, da im Vergleich zum Frühjahr offenbar bereits ein größerer Teil der organischen Substanz im Wasser in Lösung gegangen ist.

### C. Die organische Substanz im Sediment

Die organische Substanz ist am Meeresboden nicht gleichmäßig verteilt. Ihr unterschiedliches Vorkommen wird durch eine Vielzahl an Faktoren bedingt. Die regionale Verteilung hängt ursprünglich von der Produktion eines Meeresgebietes ab. Weiterhin ist der Gehalt an organischer Substanz in erheblichem Maße von der Intensität der zersetzenden Einflüsse abhängig, denen die toten Organismen vor und nach der Sedimentation ausgesetzt sind.

GRIPENBERG (1934) gibt für die Sedimente der Ostsee einen Gehalt an organischer Substanz von 1—6% an. Der Wert von 6% erscheint mir zu gering. Bei meinen Untersuchungen, vor allem aus Muddgebieten, fand ich immer Werte über 10% organischer Substanz. Ein Mittelwert aus 50 analysierten Muddproben der Westlichen und Mittleren Ostsee ergab für die Sedimentoberfläche einen Wert von 12,5% organischer Substanz/Trockensubstanz (Max. 17,4).

JARKE (1951) fand für den Mudd der Eckernförder Bucht im Mittel einen Wert von 14% organischer Substanz/Trockensubstanz (Max. 16,7), der mit dem eigenen Ergebnis von durchschnittlich (20 Proben) 12,8% (Max. 17,4) dieses Gebietes recht gut übereinstimmt. Da die Muddregionen einen erheblichen Teil der Bodenbedeckung der Ostsee ausmachen (APSTEIN, BEHRENS, MUNTJE, PRATJE, SPETHMAN, zitiert in GRIPENBERG 1939), scheint mir die Gehaltsangabe für die in der Sedimentoberfläche vorhandene organische Substanz in diesem Meeresgebiet mit 1—14% gerechtfertigt.

Für den Mudd der Eckernförder Bucht wurden  $75 \text{ g/m}^2/\text{Jahr}$  sedimentierte organische Substanz festgestellt, also  $7,5 \text{ mg/cm}^2/\text{Jahr}$ .

Dieser Wert liegt 1,5-mal höher als die Ergebnisse von EMERY (1960) aus den Sedimenten vor der kalifornischen Küste, fast viermal so hoch wie die Werte von TRASK (1939) und 75-mal höher als die Berechnungen von EMERY (1960) für die Tiefsee, obwohl die Urproduktion, z. B. in den Gewässern vor der kalifornischen Küste, etwa viermal so hoch ist wie in der Eckernförder Bucht.

Der größere Gehalt an organischer Substanz in der verhältnismäßig abgeschlossenen Eckernförder Bucht kommt vor allem dadurch zustande, daß das herabrieselnde Plankton, das in reichem Maße in der Oberschicht gebildet wird, bei den geringen Tiefen (20—28 m) relativ schnell auf den Meeresboden gelangt.

Die Zersetzung geht dadurch im Wasser nur teilweise vor sich, so daß der Anteil an organischem Material im Sediment im Vergleich zu den Ablagerungen der Gewässer vor der Küste von Kalifornien (Santa Barbara-Becken 620 m) 2,2-mal größer ist (EMERY 1960).

Die Zersetzung der organischen Substanz geht dann an der Sedimentoberfläche weiter (s. Seite 68). In den oberen 7 cm des Mudds werden etwa 20% der organischen Substanz zersetzt und kehren dadurch in den Stoffkreislauf zurück. Ca. 80% der auf den Meeresboden rieselnden organischen Substanz werden im Mudd der Ostsee festgelegt und gehen so dem Stoffkreislauf des Meeres verloren.

#### D. Das Chlorophyll und seine Abbauprodukte im Sediment

Das lebende Phytoplankton enthält nach einer zusammenfassenden Untersuchung von BANSE (1956) im Mittel 3—4% Chlorophyll (bezogen auf das Trockengewicht). Die bekannten Extremwerte liegen bei 0,75% (RILEY 1941) und 11,8% (GILLBRICHT 1952). Stirbt das Phytoplankton ab, so wird das Chlorophyll je nach den Umweltbedingungen mehr oder weniger stark abgebaut. Ein bestimmter Teil bleibt jedoch erhalten und läßt sich vor allem in flacheren Meeresgebieten im Sediment nachweisen.

FOX und ANDERSON (1941) fanden in spektrographischen Untersuchungen keine Chlorophylle im Sediment. Sie analysierten jedoch verschiedene grüne Komponenten, von denen sie annahmen, daß es Chlorophyllabbauprodukte wären.

VALLENTYNE (1955, 1957) nimmt an, daß die grünen Pigmente, die man im Sediment findet „sedimentary chlorophyll degradation products (SCDP)“ sind, und daß die grünen lipoidalen Substanzen der Sedimente unzweifelhaft von Pflanzen herkommen.

LAEVASTU (1958) untersuchte eingehend die optischen Eigenschaften der grünen Pigmente von Sedimenten. Die Absorptionskurve der durch 90%-iges Aceton extrahierten Pigmente besitzt Ähnlichkeit sowohl mit der Absorptionskurve, die RICHARDS (1952) von Planktonextrakten gefunden hat, als auch mit der Kurve, die ORR und GRADY (1957) von Phaeophytin a — einem Abbauprodukt des Chlorophylls — beschrieben haben. LAEVASTU findet das Absorptionsmaximum der grünen Pigmente im Oberflächensediment bei einer Wellenlänge von  $667 \text{ m}\mu$ . Dies deutet das Vorhandensein von Chlorophyll an. Durch chromatographische Bestimmungen gelang es LAEVASTU, in diesem Sediment auch tatsächlich Chlorophyll nachzuweisen. Stammen die Sedimentproben aus tieferen Meeresgebieten mit meist stärker oxydierten Sedimenten, so ergibt sich ein Absorptionsmaximum bei einer Wellenlänge von  $670\text{—}672 \text{ m}\mu$ .

Nach HARRIS und ZSCHEILE (1943) liegt das Absorptionsmaximum des Chlorophylls a in Methanol bei  $664 \text{ m}\mu$ , ist also etwas gegenüber dem Spektrum der Acetonlösung verschoben. Das Chlorophyll a weist somit sehr ähnliche optische Eigenschaften auf wie sein Abbauprodukt Phaeophytin a.

Die eigenen Untersuchungen wurden mit einem elektrischen Filterphotometer Elko II (Zeiss) durchgeführt. Das benutzte Filter hat seine größte Durchlässigkeit (Schwerpunkt) bei einer Wellenlänge von 670 m $\mu$ . Da die Halbwertsbreite dieses Rotfilters 5—10 m $\mu$  beträgt, wurde sowohl das Hauptabsorptionsmaximum des Chlorophylls a als auch das Maximum des Phaeophytins a erfaßt. Die angegebenen Werte setzen sich also aus dem Gehalt an Chlorophyll und dessen Abbauprodukten zusammen.

Im folgenden werden einige Ergebnisse anderer Autoren mit den eigenen verglichen.

GORSCHKOVA (1938) untersuchte die Sedimente der Motovskij Bucht (Barents Meer). Sie zeigt, daß die organische Substanz in Flachwassersedimenten reicher an Chlorophyll ist als die in Sedimenten aus großen Meerestiefen. Bei den ersteren findet sie in der organischen Substanz 0,0014—0,0037% Chlorophyll und bei den letzteren 0,0008—0,0023%.

KLENOVA und JASTREBOVA (1938) stellten fest, daß Chlorophyll in Sedimenten mit anaeroben Bedingungen gut erhalten bleibt. Untersuchungen des Kaspischen Meeres zeigen Werte von 0,0006—0,0037% Chlorophyll, diesmal bezogen auf die Trockensubstanz des Sediments. Aus Bestimmungen in den Sedimenten der Barents See und aus Laboratoriumsexperimenten über die Haltbarkeit von Chlorophyll im Sediment schließt JASTREBOVA (1938), daß Chlorophyll in feinem Mudd gut erhalten bleibt, jedoch in sandigen Sedimenten schnell oxydiert ist.

Diese Feststellung konnte durch die eigenen Untersuchungen bestätigt werden. Im Mudd der Eckernförder Bucht wurden an der Sedimentoberfläche Werte von 0,006 bis 0,025% Chlorophyll der Trockensubstanz gefunden, während der Chlorophyllgehalt von sandigen Sedimenten nur 0—0,002% Chlorophyll/Trockensubstanz betrug.

Der Abbau des Chlorophylls im Sediment geht nach GROSCHOPF (1938) am stärksten in den oberen Zentimetern vor sich. Auch LAEVASTU (1958) schreibt: „The pigments decreased rather rapidly in the uppermost 10—15 cm, but showed little decomposition and reducing conditions in the deeper sediment layers“.

Meine Untersuchungen an den Sedimenten der Ostsee stimmen mit diesen Ergebnissen überein. Der Chlorophyllabbau war in den oberen 5 cm am stärksten. Der Verlust an Chlorophyll in den oberen 7 cm des Muddsediments betrug ca. 65%.

EMERY (1960) berechnete die Ablagerungsrate von Phaeophytin in Muddsedimenten. Er erhält für das nordöstliche Becken vor der Kalifornischen Küste Werte von 1  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$ , für das Santa Barbara-Becken mit einer Tiefe von etwa 620 m 8,75  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$ , für das Santa Monica-Becken (930 m) 3,58  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$  und für den roten Tiefseeton einen Wert von 0,01  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$ .

Der jährliche Zuwachs von Chlorophyll und seinen Abbauprodukten im Mudd der Eckernförder Bucht beträgt 22  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$ . Er ist 2,5-mal größer als der Wert für das Santa Barbara-Becken (EMERY 1960).

Zu erklären sind die höheren Werte der Eckernförder Bucht mit der geringen Sedimentationstiefe von nur 25 m und mit dem 2,2-mal höheren Gehalt an organischer Substanz. Die Trophie in den Gewässern vor der Kalifornischen Küste ist etwa viermal so hoch wie in der Eckernförder Bucht.

#### E. Das Eiweiß im Sediment

Nach TRASK (1939) beträgt der Eiweißgehalt in der organischen Substanz mariner Sedimente 40%. Wenn der Gehalt an organischer Substanz 2,5% der Trockensubstanz ausmacht, so entspricht das einem Eiweißgehalt von 1% der Trockensubstanz. SALTMANN (zitiert im EMERY 1960, S. 278) konnte 10 Aminosäuren in dem Oberflächensediment des Santa Cruz-Beckens feststellen, und er vermutet, daß noch weitere vorhanden sind. Die eigenen Untersuchungen ergeben, daß die organische Substanz der Sedimente

in der Ostsee maximal 10,3% Eiweiß (als Albuminäquivalent) enthält. Da der Gehalt an organischer Substanz verhältnismäßig hoch ist (Mittel für Mudd 12,5% der Trockensubstanz), erhält man einen maximalen Albuminäquivalentwert von 1,3% der Trockensubstanz (s. Seite 63).

Der große Unterschied zwischen den Angaben von TRASK von 40% und den eigenen Ergebnissen von 10% Albumin/organische Substanz läßt sich folgendermaßen erklären: bei den Angaben von TRASK handelt es sich um Werte, die den Gehalt des Gesamteiweiß angeben. Sie sind aus Analysen des gesamten organischen Stickstoffs gewonnen. Durch diese Methode werden u.a. Chitine, Aminosäuren und Abbauprodukte des Planktons erfaßt, die organisch gebundenen Stickstoff enthalten. Die eigenen Analysen wurden nach der Methode von KREY mittels der Biuretreaktion durchgeführt. Diese Methode erfaßt alle Polypeptide bis zu den Dipeptiden herab. Die Aminosäuren werden also nicht erfaßt. Da sie als Zersetzungsprodukte jedoch den größten Teil des Eiweiß im Sediment ausmachen, sind diese Ergebnisse mit den durch andere Methoden gewonnenen Werten nicht direkt vergleichbar.

#### F. Der Anteil des Detritus im freien Wasser und im Sediment

Durch die Einbeziehung der lebenden organischen Substanz, die durch den Albumingehalt ermittelt wurde, und der gesamten organischen Substanz, die durch Glühverlustbestimmung gewonnen worden ist, wurde der Gehalt des Gesamtdetritus sowie seine organischen und anorganischen Bestandteile berechnet. Die Mittelwerte für das Jahr 1962 betragen bei der Station Mittelgrund W in der Eckernförder Bucht 95% Gesamtdetritus, 85% anorganischen Detritus und 10% organischen Detritus im sedimentierten Seston.

Der Detritusgehalt des Sestons im freien Wasserraum ist in neuerer Zeit vielfach Gegenstand von Untersuchungen gewesen (POSTMA 1954, KREY 1954, 1956, 1961, BANSE 1957, HAGMEIER 1960).

KREY konnte aus Mittelwerten der Jahre 1958—1960 von der Station Boknis Eck einen verhältnismäßig einfachen Jahresgang des Gesamtdetritus aufzeigen. Es ergibt sich bei dieser Station eindeutig ein winterliches Maximum im Dezember/Januar mit 90% Detritus im Seston. Es folgen ein spätwinterliches Minimum im Februar und ein sehr auffälliger Gipfel des Detritusanteils am Seston im März (95%). Später im Jahre wird der Detritusgehalt des Sestons geringer (30—42%).

Auffällig ist bei diesem Jahresgang, daß der Detritusgehalt sein Maximum einen Monat vor dem Maximum der lebenden Substanz hat. Dies kann nach KREY (1961) dadurch erklärt werden, „daß durch die Frühjahrsstürme der gesamten Wassersäule Bodenmaterial zugeführt wird und daß der Primärdetritus noch weitgehend frei ist.“

Diese Beobachtungen von KREY an der Station Boknis Eck können durch die Untersuchungen des Detritusanteils am sedimentierten Seston bestätigt werden. Ausgesprochene Minimalwerte sind im April (91%) und Ende September (92%). Nach der Frühjahrsblüte im April und der Herbstblüte des Phytoplanktons Ende September ergeben sich jedoch im sedimentierten Seston bedeutend höhere Detritusanteile als nach den Beobachtungen von KREY (95%). Die hohen Detrituswerte im Seston des Wassers finden sich nach Stürmen, vor allem im Winter, naturgemäß auch im Detritusgehalt des Sinkstoffs wieder.

Der durchschnittliche Detritusanteil im sedimentierten Seston (95%) ist, im Ganzen gesehen, naturgemäß etwas höher als der Anteil des Detritus im freien Wasser. Der Mittelwert aus 3 Jahren für die gesamte Wassersäule (IMK) bei der Station Boknis Eck beträgt 75%. Das Bodenwasser hat jedoch immer einen Detritusgehalt von 90%.

Der höhere Anteil im sedimentierten Seston läßt sich leicht durch die weiter fortschreitende Zersetzung im Sediment erklären. Die Ergebnisse haben sicherlich nur für das untersuchte Gebiet Gültigkeit. Ähnliche Resultate aus anderen Meeresgebieten bestätigten jedoch den hohen Anteil des Detritus im Seston.

#### G. Die jährliche Sedimentationsrate des Sestons

Aus der Menge des in Sinkstofffallen aufgefangenen Sestons wurde für das Muddsediment der Eckernförder Bucht ein jährlicher Zuwachs von 2,6 mm berechnet.

JARKE (1951) berichtet von Bohrungen in der Eckernförder Bucht aus den Jahren 1935 und 1936. Es wurden Muddicken von 7,40 bis 10 m festgestellt (die nach der Entwässerung zu erwartende erhebliche Senkung der Bohrkerne ist bei den Mächtigkeitenangaben nicht berücksichtigt).

GROSCHOFF stellte 1938 in einer Bohrung im Nordteil der Eckernförder Bucht ebenfalls 10 m Sedimentmächtigkeit fest, einen Wert, der nicht nur in der Ostsee, sondern auch in Seen, die im Gebiet der letzten Vereisung liegen, auftritt. Die Zunahme der jährlichen Sedimentationsmächtigkeit wird von GROSCHOFF auf Grund von Pollenanalysen berechnet. Es ergeben sich für die Buchenzeit Werte von 0,9—1 mm/Jahr, für die Eichenmischwaldzeit dagegen 1,2—1,4 mm jährlich, also durchschnittlich 1 mm/Jahr.

JARKE berechnet aus der Muddmächtigkeit eine mittlere Sedimentationsgeschwindigkeit für die Eckernförder Bucht von 1,25 mm/Jahr.

Aus der Beobachtung einer 4—5 mm dicken Muddschicht auf einer Feinsandlage, die zwei Jahre vorher aus baulichen Gründen nahe der Stadt Eckernförde ins Wasser gespült wurde, schließt GROSCHOFF (1938) für die Jetztzeit auf eine jährliche Sedimentationsrate von 2—2,5 mm, was mit meinen Berechnungen von 2,6 mm/Jahr gut übereinstimmt.

Der Wert von nur 1 mm/Jahr als Mittel für die postglacialen Sedimente der Eckernförder Bucht läßt sich so erklären, daß das Frischsediment mindestens auf die Hälfte seines ursprünglichen Volumens zusammengedrückt wird. Dies ist hauptsächlich auf Wasserverlust zurückzuführen.

#### Literaturverzeichnis

- APSTEIN, C. (1916): Bodenuntersuchungen in Ost- und Nordsee. S. B. Ges. Naturf. Berlin. — BANSE, K. (1956): Produktionsbiologische Serienbestimmungen im südlichen Teil der Nordsee im März 1955. Kieler Meeresforsch. 12. — BANSE, K. (1957): Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956. Die Verteilung von Sauerstoff, Phosphat und suspendierter Substanz. Kieler Meeresforsch. 13. — BANSE, K. und KREY, J. (1962): Quantitative Aspekte des Kreislaufes der organischen Substanz im Meere. Kieler Meeresforsch. 18 (3). — DAHN, H. D. (1956): Diatomeenuntersuchungen zur Geschichte der Westlichen Ostsee. Meyniana 5. — DIETRICH, G. und KALLE, K. (1957): Allgemeine Meereskunde. Berlin 1957. — DJUKOWA, A. J. und FEDOSOW, M. W. (1961): Bedeutung der Mikroorganismen der oberen Schicht der Bodenablagerungen im flachen Meerwasser für die Umformung organischer Substanz. Okeanologija, Akademie der Wissenschaften UdSSR. 1 (3) (in Russisch). — EMERY, K. O. (1960): The sea off Southern California. New York/London 1960. — FOX, D. L. und ANDERSON, L. J. (1941): Pigments from marine muds. Proc. nat. Acad. Sci. 27. — GEYER, D. (1964): Eigenschwingungen und Erneuerung des Wassers in der Eckernförder Bucht unter besonderer Berücksichtigung der Stromlage vom 5.—6. 12. 1961. Diss. Kiel 1964. — GILLBRICHT, M. (1952): Untersuchungen zur Produktionsbiologie des Planktons in der Kieler Bucht. I. Kieler Meeresforsch. 8. — GORSCHKOVA, T. J. (1938): Organischer Stoff in den Sedimenten des Motovskij Busens. Trans. Inst. Mar. Fish. Oceanogr. UdSSR 5 (zitiert bei LAEVASTU). — GRIM, J. (1939): Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. Intern. Revue Ges. Hydrobiol. 39.

— GRIPENBERG, S. (1934): A study of the sediments of the North Baltic and adjoining seas. *Fennia* 60 (3). — GRIPENBERG, S. (1939): Sediments of the Baltic Sea. *Recent Marine Sediments*. Amer. Ass. oc. Petrol. Geol. Tulsa, auch in *Recent Marine Symposium*, Tulsa, Oklahoma, 1955. — GRO-SCHOPF, P. (1938): Physikalisch-chemische Beobachtungen zur Sedimentdiagenese an Postglazial-sedimenten der Eckernförder Bucht. *Geol. Rundschau* 29. — GUNKEL, W. (1962): Überlegungen zur Rolle der Bakterien im Stoffkreislauf des Meeres. *Kieler Meeresforsch.* 13 (3). — HAGMEIER, E. (1960): Untersuchungen über die Menge und die Zusammensetzung von Seston und Plankton in Wasserproben von Reisen in die Nordsee und nach Island. Diss. Kiel 1960. — HAGMEIER, E. (1961): Plankton-Äquivalente. *Kieler Meeresforsch.* 17 (1). — HAGMEIER, E. (1962): Das Seston und seine Komponenten. *Kieler Meeresforsch.* 18 (2). — HARRIS, D. G. und ZSCHEILE, F. P. (1943): Effects of solvent upon absorption spectra of chlorophyll a and b; their ultraviolet absorption spectra in ether solution. *Bot. Gaz.* 104. — IGNATIUS, H. (1958): On the rate of sedimentation in the Baltic Sea. *Comptes Rendu de la Societé géologique de Finlande* 30. — JÄRNEFELD, H. (1955): Über die Sedimentation des Sestons. *Intern. Ver. f. theor. u. angew. Limnologie* 12. — JARKE, J. (1951): Die Sedimentation in den schleswig-holsteinischen Förden. *Schrift. d. Naturw. Ver. f. Schles.-Holst.* 15. — JARKE, J. (1962): Der Meeresboden als Siedlungsraum für Pflanzen und Tiere. 3. Meeresbiol. Symp. Bremerhaven 1962, Veröffentl. d. Inst. f. Meeresforsch. Bremerhaven. — JASTREBOVA, L. A. (1938): Chlorophyll in marine sediments. *Trans. Inst. Mar. Fisheries UdSSR* 5 (zitiert bei LAEVASTU). — KALLE, K. (1962): Chemische Untersuchungen am Meeresboden. 3. Meeresbiol. Symp. Bremerhaven, Veröffentl. d. Inst. f. Meeresforsch. Bremerhaven. — KANAYA, T. (1957): Eocene diatom assemblages from the Kellog and "Sidney" Shales, Mt. Diablo Area, California. *The Sci. Rept. of ToHoKu Univ. Sendia, Japan* 28. — KLEERE KOPER, H. (1953): The mineralization of plankton. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 10 (5). — KLENOVA, M. K. und JASTREBOVA, L. A. (1938): Chlorophyll in den Sedimenten als Kennzeichen des Gasregimes des Wasserbeckens. *Trans. Inst. mar. Fish. Oceanogr. UdSSR* 5 (zitiert bei LAEVASTU). — KRAUSE, H. (1955): Die Verteilung der organischen Substanz in den Sedimenten des Brackwassergebietes der Ems. *Die Küste* 4 — KRAUSE, H. (1959): Biochemische Untersuchungen über den postmortalen Abbau von totem Plankton unter aeroben und anaeroben Bedingungen. *Arch. f. Hydrobiol. Suppl. Falkau Schriften* 24 (3). — KREY, J. (1939): Die Bestimmung des Chlorophylls in Meerwasser-Schöpfproben. *J. Cons. Intern. Expl. Mer.* 14. — Krey, J. (1949): Über Art und Menge des Sestons im Meere. *Verh. deutsch. Zool. Ges. Mainz* 1949 (46). — KREY, J. (1954): Beziehungen zwischen Phytoplankton, Temperatursprungschicht und Trübungsschirm in der Nordsee im August 1952. *Kieler Meeresforsch.* 10. — KREY, J. (1958): Chemical determination of net plankton, with special references to equivalent albumin content. *Sears Found. Journ. Mar. Res.* 17 (28). — KREY, J. (1961): Der Detritus im Meere. *J. Cons. Intern. Expl. Mer.* 26 (3). — KREY, J. (1961): Beobachtungen über den Gehalt an Mikrobiomasse und Detritus in der Kieler Bucht 1958—1960. *Kieler Meeresforsch.* 17 (2). — KREY, J., BANSKE, K. und HAGMEIER, E. (1957): Über die Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuretreaktion. *Kieler Meeresforsch.* 13 (1). — KREY, J. und SZEKIELDA, K. H. (1964): Bestimmung des organisch gebundenen Kohlenstoffs im Meerwasser mit einem neuen Gerät zur Bestimmung sehr kleiner Mengen CO<sub>2</sub> (unveröffentl. Manuskript). — KÜHLMORGEN-HILLE, G. (1963): Quantitative Untersuchungen der Bodenfauna in der Kieler Bucht und ihre jahreszeitlichen Veränderungen. *Kieler Meeresforsch.* 19 (1). — LAEVASTU, T. (1958): The occurrence of pigments in marine sediments. *Journ. Mar. Res.* 17. — MUNTHE, H. (1895/96): Den svenska hydrografiska expeditionen år 1877. Afd. III. Kongl. Sv. Vet. Akad. Handb. Ny följd 27 (2) Stockholm (zitiert bei GRIPENBERG 1938). — OHLE, W. (1962): Der Stoffhaushalt der Seen als Grundlage einer allgemeinen Stoffwechsell-dynamik der Gewässer. *Kieler Meeresforsch.* 18 (3). — ORR, W. L. und GRADY, J. R. (1957): Determination of chlorophyll derivatives in marine sediments. *Deep Sea Res.* 4. — ORR, W. L., EMERY, K. O. und GRADY, J. R. (1958): Preservation of chlorophyll derivatives in sediments off Southern California. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 42. — PEACH, K. und TRACEY, M. V. (1955): *Moderne Methoden der Pflanzenanalyse* 1, Berlin. — PATE, J. B. und ROBINSON, R. J. (1958): The (ethylene dinitrilo) tetraacetate titration of calcium and magnesium in ocean waters. I. Determination of calcium. *Journ. Mar. Res.* 17. — POSTMA, H. (1954): Hydrography of the Dutch Wadden Sea. *Arch. neer. Zool.* 10. — PRATJE, O. (1939): Die Sedimentation in der südlichen Ostsee. *Anal. d. Hydrogr. u. mar. Meteorologie* Mai 1939. — PRATJE, O. (1948): Die Bodenbedeckung der südlichen und mittleren Ostsee und ihre Bedeutung für die Ausdeutung fossiler Sedimente. *Deutsch. Hydrogr. Zeitsch.* 1 (2/3). — REINECK, H. E. (1958): Wühlbauegefüge in Abhängigkeit von Sediment-Umlagerungen. *Senckenbergiana, Lethaea* 39. — RICHARDS, F. A. (1952): The estimation and characterization of plankton populations by pigment analysis. I. The absorption and spectra of some pigments occurring in diatoms, dinoflagellates and brown algae. *Journ. Mar. Res.* 11. — RILEY, G. A. (1941): Plankton studies IV. Georges Bank. *Bull. Bingham Ocean. Coll.* 7 (4). — RILEY, G. A. (1946): Factors controlling phytoplankton populations on Georges Bank. *Journ. Mar. Res.* 6. — ROTTGARDT, D. (1952): Mikropaläontologisch wichtige Bestandteile rezenter brackischer Sedimente an den Küsten Schleswig-Holsteins. *Meyniana* 1. — SCHÄFER, W. (1956): Wirkung der Benthos-

Organismen auf den jungen Schichtverband. *Senckenbergiana Lethaea* 37. — SEIBOLD, E., DILL, R. F. und WALGER, E. (1961): Tauchbeobachtungen und petrographische Untersuchungen zur Sedimentumlagerung in der Kieler Außenförde. *Meyniana* 2 (1961). — SEIBOLD, E. (1963): Geological investigation of near-shore sand-transport. Examples of methods and problems from the Baltic and the North Sea. *Progress in Oceanography*, Vol. 1, Editor Dr. M. Sears. — SIMONSEN, R. (1959): Untersuchungen zur Systematik und Ökologie der Bodendiatomeen der westlichen Ostsee. Diss. Kiel 1959. — SPETHMANN, H. (1910): Studien über die Bodenzusammensetzung der baltischen Depression vom Kattegatt bis zur Insel Gotland. *Wissensch. Meeresuntersuch. Abt. Kiel*, NF 12. — STEEMANN NIELSEN, E. (1937): The annual amount of organic matter produced by the phytoplankton in the sound off Helsingör. *Medd. Kommiss. Danmarks Fiskeri Havunders. Ser. Plankton* 3 (3). — STEEMANN NIELSEN, E. (1958): A survey of recent Danish measurements of the organic productivity in the sea. *Rapp. et Proc. Verb. du Cons. Intern. Expl. Mer* 144. — STEEMANN NIELSEN, E. und AABYE JENSEN, (1957): Primary oceanic production. The autotrophic production of organic matter in the oceans. *Galathea Rept.* 1. — THOMAS, E. A. (1951): Produktionsforschungen auf Grund der Sedimente im Pfäffikersee und Zürichsee. *Int. Ver. f. theor. u. angew. Limnologie* 11. — THOMAS, E. A. (1955): Sedimentation in oligotrophen und eutrophen Seen als Ausdruck der Produktivität. *Int. Ver. f. theor. und angew. Limnologie* 12. — TRASK, P. D. (1932): *Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum*. Gulf Publishing Company, Houston. — TRASK, P. D. (1939): Organic content of recent marine sediments. *Rec. Mar. Sediments, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Tulsa*. — TRASK, P. D. (1955): *Recent Marine Sediments*. S. E. P. M. Spec. Publ. 4. Tulsa Okla. (Neudruck 1955). — VALLENTYNE, I. R. (1955): Sedimentary chlorophyll determination as a paleobotanical method. *Canad. Journ. Botany* 33. — VALLENTYNE, I. R. (1957): The molecular nature of organic matter in lakes and oceans with lesser reference to sewage and terrestrial soils. *Journ. Fish. Res. Bd. Canada* 14. — WATTENBERG, H. (1937): Die chemischen Arbeiten auf der „Meteor“-Fahrt Februar bis Mai 1937. Mit Bemerkungen zur Verteilung und Regeneration der Minimumstoffe. *Anal. d. Hydrogr. u. mar. Meteorologie* 65. — WYRTKI, K. (1952): Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I. *Kieler Meeresforsch.* 9 (2). — WYRTKI, K. (1954): Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt II. *Kieler Meeresforsch.* 10 (2).