

# 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.

## Die Teilchengrößenanalyse und Mengenbestimmung des Detritus in Seewasserproben

Von JÜRGEN LENZ

**Zusammenfassung:** Die Teilchengrößenanalyse von Detrituspartikeln mit dem Teilchengrößenanalysator TGZ 3 der Firma Zeiss wird ausführlich beschrieben. Nach dieser Methode wurden insgesamt 92 Wasserproben von 6 Stationen in der westlichen Ostsee untersucht und eine Gesamtverteilungskurve für alle Detritusteilchen gebildet. In dem untersuchten Größenbereich zwischen 8 und 60  $\mu$  wurden die folgenden Mittelwerte gefunden: Teilchengröße:  $17.6 \pm 6.5 \mu$ , Teilchenzahl: 1.35 Mill./l, Teilchenvolumen:  $5.68 \text{ mm}^3/\text{l}$ , Teilchenoberfläche:  $14.91 \text{ cm}^2/\text{l}$ . Es wird gezeigt, daß unter gewissen Voraussetzungen aus der Teilchengrößenverteilung das Detritustrockengewicht einer Wasserprobe errechnet werden kann. Die gewonnenen Ergebnisse werden mit den Detrituswerten verglichen, die aus den gleichzeitig ausgeführten chemischen Analysendaten durch die Differenzbildung Sestongewicht — Planktongewicht (nach dem Eiweiß- und Chlorophyllgehalt) = Detritusgewicht erhalten wurden.

**The measurement of the particle size frequency and total amount of detritus in sea water samples (Summary):** The analysis of the size distribution of detritus particles by means of the 'Teilchengrößenanalysator TGZ 3, Fa. Zeiss' is described in detail. 92 water samples collected at 6 stations in the western Baltic were analysed by this method. A total size spectrum for all counted particles is formed. In the investigated size group ranging from 8 to 60  $\mu$  average values were found as follows: particle size:  $17.6 \pm 6.5 \mu$ , particle number: 1.35 mill./l, particle volume:  $5.68 \text{ mm}^3/\text{l}$ , particle surface:  $14.91 \text{ cm}^2/\text{l}$ . It is shown, with some assumptions, that the dry weight of detritus particles present in a water sample can be calculated from their size frequency. The obtained results are compared with parallel values derived from chemical analysis of the same samples as follows: seston weight — plankton weight (derived from albumen and chlorophyll content) = detritus weight.

Unter den zahlreichen Veröffentlichungen über den Gehalt an suspendierten Teilchen im Meerwasser, deren Gesamtheit als Seston oder „particulatematter“ bezeichnet wird, gibt es nur wenige Arbeiten, in denen eine Unterscheidung zwischen den lebenden und den toten Partikeln, dem Plankton und dem Detritus, vorgenommen wird. Eine solche Differenzierung ist jedoch für alle produktionsbiologischen Betrachtungen wichtig, vor allem für die Untersuchung der Frage, ob organische Detritusteilchen eine bedeutsame Nahrungsquelle für die filtrierenden Planktonorganismen darstellen. Die Ursache dafür liegt hauptsächlich in den methodischen Schwierigkeiten, die mit der Trennung beider Komponenten verbunden sind. Obwohl der Anteil des Planktons nicht nur in trüben Küstengewässern sondern auch in der Hochsee oft gegenüber dem Detritusanteil stark zurücktritt, darf er auch in größeren Tiefen unterhalb der euphotischen Deckschicht nicht ohne weiteres außer acht gelassen werden. So hat z. B. BERNARD (1967) im Mittelmeer in 290—500 m Tiefe noch heterotrophe Flagellaten (Coccolithophoriden) in einer Konzentration von mehreren Mill. Zellen pro Liter gefunden.

Die Bezeichnung Detritus soll hier alle Teilchen umfassen, die nicht zum Plankton gehören, ohne Rücksicht auf ihre chemische Zusammensetzung, organisch oder anorganisch, und ihre Herkunft, autochthon oder allochthon. Manchmal findet man den Begriff Detritus eingeschränkt nur für die Partikel, die in irgendeiner Form von Organismen herkommen. Für die Gesamtheit aller nicht lebender Teilchen wird dann der Ausdruck Tripton verwandt.

KREY (1961 a) und PARSONS (1963) geben zusammenfassende Übersichten über den bisherigen Stand der Detritusforschung. Mit dem Detritusgehalt in verschiedenen Meeresgebieten und Tiefen befassen sich u. a. die Arbeiten von POSTMA (1954), KREY (1956, 1961b, 1964), BANSE (1956, 1957), HAGMEIER (1962), KÖRTE (1966) und MENZEL & GOERING (1966).

Die beiden erstgenannten Autoren nennen auch die verschiedenen Möglichkeiten, den Detritusgehalt zu messen. Zur Zeit gibt es im wesentlichen drei verschiedene Wege, die man einschlagen kann:

1. Von dem Trockengewicht aller abfiltrierten Teilchen, dem Sestonsgewicht, wird das Planktontrockengewicht abgezogen. Das Planktontrockengewicht wird aus dem Zellvolumen der vorhandenen Plankter errechnet. Voraussetzung ist eine qualitative und quantitative Analyse des Planktongehalts unter dem Mikroskop. Dieser mühsame, nicht sehr genaue, aber dafür gleichzeitig die Artenzusammensetzung des Planktons erschließende Weg ist z. B. von HAGMEIER (1962) und KÖRTE (1966) gegangen worden.
2. Der Planktonanteil wird ebenfalls wie oben vom Sestonsgewicht abgezogen. Das Trockengewicht des Planktons wird aber mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren aus dem chemisch bestimmten Chlorophyllgehalt (Phytoplankton) oder Eiweißgehalt (Gesamtplankton) errechnet. Dieser Methode haben sich die meisten der oben zitierten Autoren bedient.
3. Die Trennung zwischen Plankton und Detritus erfolgt auf mikroskopisch-photographischem Wege. Die Detrituspartikel werden mit einem Teilchengrößenanalysator der Firma Zeiss nach Größenklassen gezählt. Aus dem errechnetem Volumen der Teilchen läßt sich dann das Trockengewicht des Detritus ableiten. Dieses Verfahren ist erstmalig von KREY (1961) und dann später von KÖRTE (1966) verwendet worden.

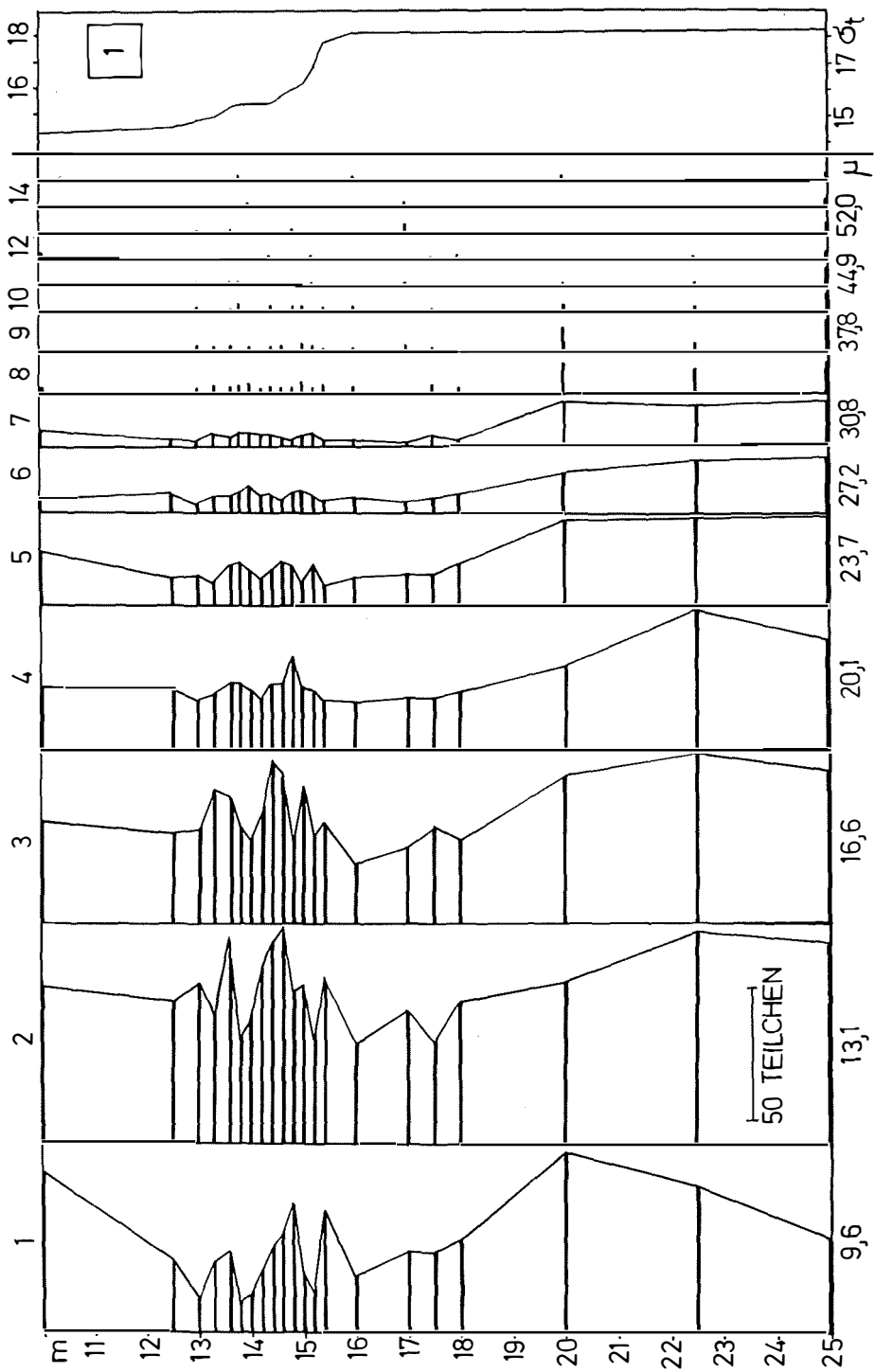
Die vorliegende Arbeit befaßt sich ausführlicher mit der Teilchengrößenanalyse nach der zuletzt genannten Methode und geht dabei hauptsächlich zwei Fragen nach. Wie sieht die mittlere Größenverteilung der Detrituspartikel aus, und unter welchen Voraussetzungen läßt sich das Trockengewicht für die Summe aller Detritusteilchen ableiten, damit man ein den übrigen Analysendaten vergleichbares Maß erhält?

Tabelle 1  
Stationsübersicht

St.-Nr.	Datum	Ort	Tiefe
13 . . . . .	19. 10. 60	östl. Schleimünde	23 m
14 . . . . .	9. 11. 60	östl. Boknis Eck	27 m
15 . . . . .	15. 11. 60	westl. Bornholm	47 m
16 . . . . .	15. 12. 60	östl. Schwansen	25 m
19 . . . . .	8. 2. 61	Vejsnäs Flach	18 m
20 . . . . .	16. 2. 61	Vejsnäs Tief	31 m

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

Abb. 1: Die vertikale Verteilung der nach Größenklassen (Klassenmitten in  $\mu$ ) geordneten Detrituspartikel auf St. 20 (Vejsnäs Rinne, 16. 2. 61). Anzahl der Teilchen pro 0.13 ml. Zur Kennzeichnung des Wasseraufbaus ist der Verlauf der Dichte  $\sigma_t$  hinzugefügt.



Tafel 1 (zu J. Lenz)

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 2: Mikroaufnahmen von Utermöhlproben  
(Vergr. ca. 120 ×)

- a) Starke Detritusanreicherung in der Sprungschicht  
(St. 16, 12 m Tiefe, Seston Gehalt 3.8 mg/l)
- b) Phytoplankton und Detrituspartikel  
(St. 14, 19.7 m Tiefe, Seston Gehalt 0.9 mg/l)

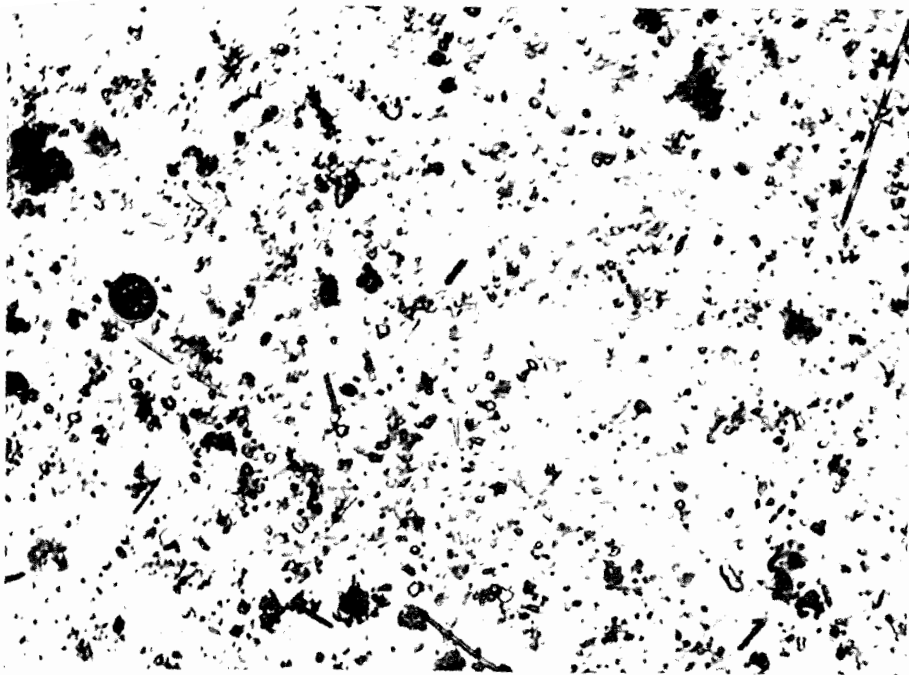


Abb. 2a



Abb. 2b

Tafel 2 (zu J. Lenz)

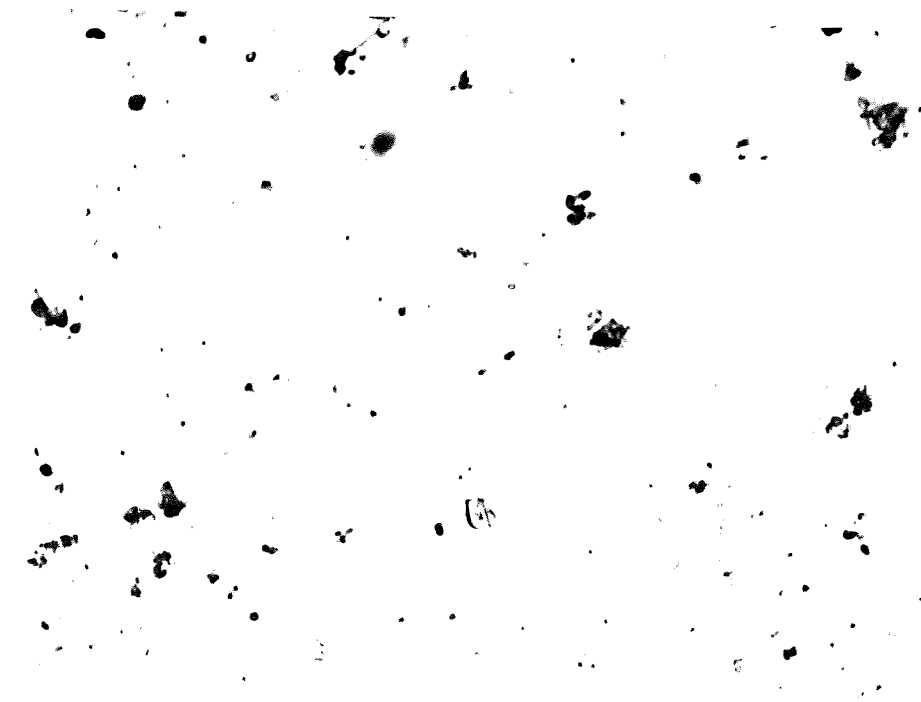


Abb. 3 a

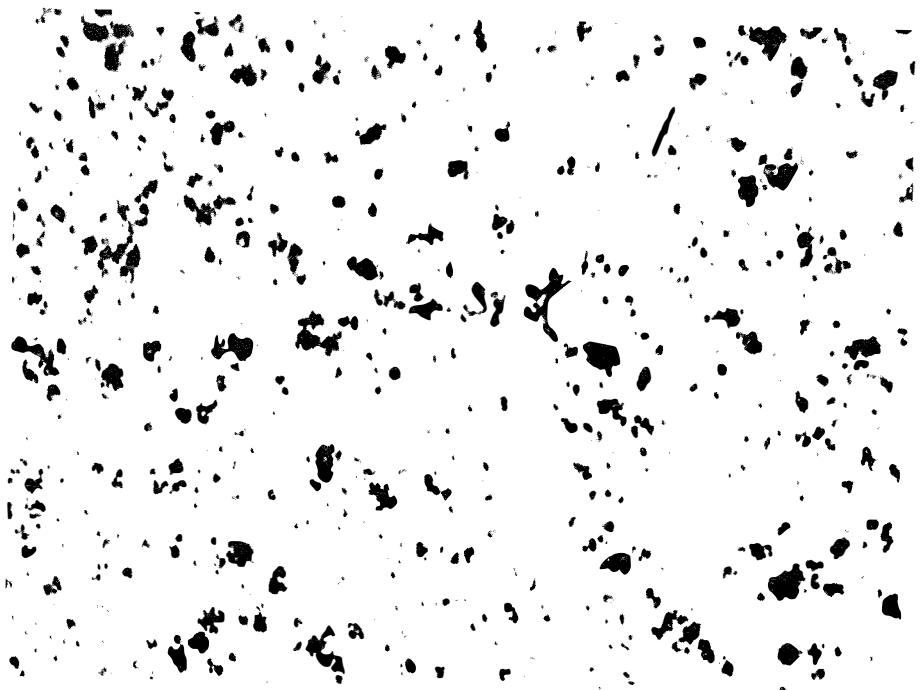


Abb. 3 b

Tafel 3 (zu J. Lenz)

### Material und Methoden.

Für die Untersuchung der Detritusteilchen wurden insgesamt 92 Wasserproben ausgewählt, die sich auf 5 Stationen in der Kieler Bucht und 1 Station im Bornholm-Becken verteilen (Tab. 1). Da die Probennahme seinerzeit auf Planktonanreicherungen in der Sprungschichtzone ausgerichtet war, häufen sich die Proben aus diesem Tiefenbereich.

Die Utermöhlproben für die spätere Teilchengrößenanalyse wurden gleich aus dem 5 l-Schöpfer in 100 ml Glasflaschen abgefüllt und mit Lugolscher Lösung (J/KJ) fixiert. In jeder Schöpfprobe wurde anschließend der Gehalt an Seston, Chlorophyll a und Eiweiß, letzteres als Albuminäquivalent (vergl. KREY et. al. 1957), bestimmt. Bei allen Bestimmungen wurde das gleiche Papierfilter verwendet (SCHLEICHER & SCHÜLL) Nr. 575, 1,5  $\mu$  Porenweite).

Die Teilchengrößenanalyse kann als eine Erweiterung der Utermöhltechnik (UTERMÖHL 1958) betrachtet werden. Von den in den Zählkammern sedimentierten Teilchen werden unter dem Umgekehrten Mikroskop Mikrophotos angefertigt und auf DIN A4-Format vergrößert. Auf diesen Vergrößerungen werden die abgebildeten Teilchen mit dem Teilchengrößenanalysator ausgemessen und gezählt. Die Größemessung erfolgt durch einen Flächenabgleich. Ein erleuchteter Kreis mit veränderbarem Durchmesser wird so auf das zu zählende Teilchen eingestellt, daß sich die Flächen beider überdecken. Bei rechteckig oder unregelmäßig geformten Teilchen muß die Flächengleichheit geschätzt werden. Der mit dem Fuß zu bedienende Zählhalter betätigt gleichzeitig einen Markierhammer, der das gezählte Teilchen fein durchlocht, um Doppelzählungen auszuschalten.

Der Teilchengrößenanalysator TGZ 3 hat zwei Meßbereiche, von 1,2 mm Durchmesser bis 27,7 mm (Größenverhältnis 1:23) für den Normalfall und einen verkleinerten Meßbereich von 0,4 bis 9,2 mm für besonders genaue Zählungen von kleinen Größen. Unterhalb von 1 mm wird jedoch die Zählung nach Größenklassen ungenau. Das Zählwerk besteht aus 48 Größenklassen und einem Summenzähler. Er erlaubt 4 verschiedene Einstellungen:

Die Teilchengröße, die dem Durchmesser der Lichtmarke entspricht, kann linear oder exponentiell ansteigen, und man kann zwischen einer Verteilungs- und einer Summenkurve wählen. Es wird empfohlen, für die Aufnahme einer einigermaßen gesicherten Verteilungskurve rund 1000 Teilchen zu zählen. Bei einiger Übung bedeutet das einen Zeitaufwand von ca. 15 Minuten.

Die Verteilungskurven der hier analysierten Detritusteilchen wurden im normalen Meßbereich (1,2—27,7 mm) mit linear ansteigenden Größenklassen aufgenommen. Die Vergrößerung der Teilchen auf den DIN A4-Blättern betrug 156  $\times$ . Die untere Größengrenze der registrierten Teilchen liegt damit bei 8  $\mu$ . Da die kleineren Teilchen schon in der Nähe der photographischen Auflösungsgrenze liegen, die man mit dieser Art der Mikrophotographie unter dem Umgekehrten Mikroskop erreichen kann, ist vor allem die Unterscheidung zwischen den sogenannten  $\mu$ -Flagellaten und ähnlich

---

#### Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 3: Mikroaufnahmen von Utermöhlproben  
(Vergr. ca. 120  $\times$ )

- a) Klares „Ostseewasser“  
(St. 15, 40 m Tiefe, Salzgehalt 7.65<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, Sestongehalt 0.2 mg/l)
- b) Trüberes „Beltseewasser“  
(St. 15, 43 m Tiefe, Salzgehalt 22.15<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, Sestongehalt 1.0 mg/l)



geformten Detritusteilchen sehr erschwert. Große, sehr flockig erscheinende Teilchen wurden bei dem Größenabgleich in mehrere kleinere Einzelteilchen zerlegt.

## Ergebnisse

### I. Die Teilchengrößenverteilung

Die Größenverteilung und Häufigkeit der Detrituspartikel im Meer hängt von sehr verschiedenen Faktoren ab. Die wichtigsten sind die Herkunft, das Alter und der Zersetzungsgrad, die Sinkgeschwindigkeit und die hydrographischen Verhältnisse. Eine stichprobenartige Teilchengrößenanalyse allein ohne zusätzliche Untersuchungen kann nur Anhaltspunkte über die Einwirkung dieser Faktoren geben. In einem flachen und stark geschichteten Meeresgebiet wie der westlichen Ostsee treten häufig die hydrographisch bedingten Einflüsse am deutlichsten hervor. Das Teilchengrößenspektrum der St. 20 (Abb. 1) kann als ein Beispiel dafür dienen. Man erkennt eine schwache Anreicherung der kleineren Partikel im Bereich der Dichtesprungschicht. Der unruhige Verlauf des Spektrums in dieser Tiefe ist sicher in erster Linie methodisch bedingt infolge von relativ hohen Streuungswerten bei der Auszählung der engabständigen Proben. Die Zunahme der Partikel zum Boden hin ist wahrscheinlich auf aufgewirbelte Sedimentteilchen zurückzuführen, die von den höher gelegenen Rändern der schmalen Vejsnäs Rinne herkommen. Die Häufigkeit der Teilchen nimmt mit der Größe schnell ab, von allem in der oberen Wasserschicht.

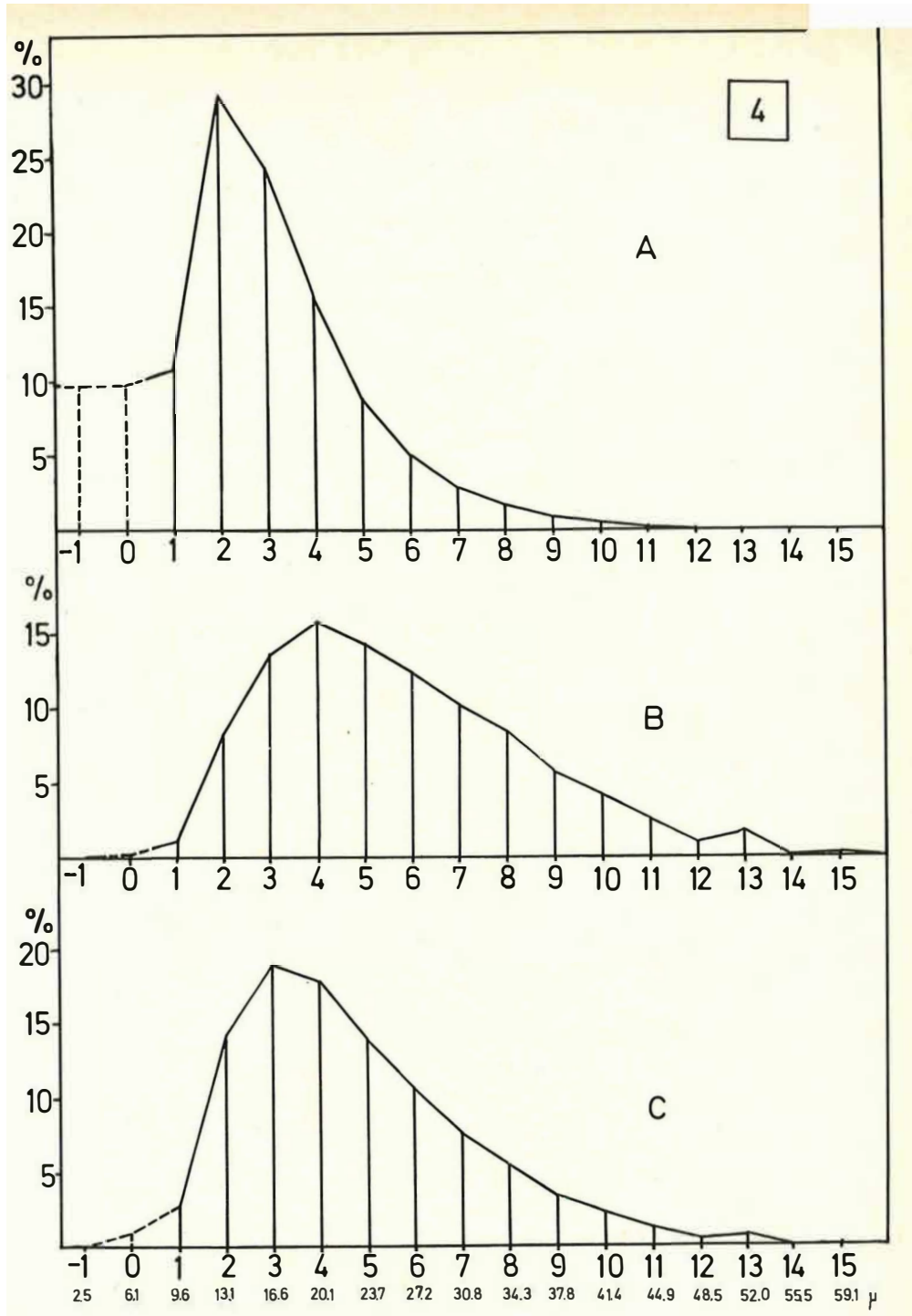
Die folgenden Abbildungen zeigen einige Mikroaufnahmen, an denen die Teilchengrößenanalyse ausgeführt wurde. Die Abb. 2a stellt eine Wasserprobe mit einem sehr hohen Detritusgehalt dar. Auf diesem Bildausschnitt wurden rund 300 Detritusteilchen gezählt. Planktonorganismen sind kaum sichtbar. Ihr gewichtsmäßiger Anteil beträgt nur 12%. Die Abb. 2b ist dagegen ein Beispiel für das Vorhandensein von viel Phytoplankton und relativ wenig Detritus. Auf den Abb. 3a und 3b sehen wir zwei Proben von derselben Station im Bornholm-Becken. Sie charakterisieren die beiden unterschiedlichen Wassermassen, die hier ohne eine breitere Übergangszone fast unmittelbar übereinander lagen.

Im Hinblick auf die Frage, in welchem Maße Detrituspartikel von den Filtrierern unter den Planktonorganismen gefressen werden, spielt die Teilchengröße eine wichtige Rolle. Denn die Filtrationseinrichtungen dieser Tiere sind auf einen bestimmten Größenbereich der Nahrungsteilchen zugeschnitten. Kleine Tiere wie Nauplien filtrieren kleinere Teilchen ab als große Copepoden oder Euphausiaceen. Unter diesem Gesichtspunkt ist aus den Teilchengrößenspektren aller Einzelproben eine Gesamtverteilungskurve gebildet worden (Abb. 4a). Die Teilchen über 60  $\mu$  Größe sind wegen ihres sehr vereinzelt Auftretens in den einzelnen Größenklassen — ihr zahlenmäßiger Anteil ist geringer als 0,4% — weggelassen worden. Es ist bemerkenswert, daß die mittlere Teilchengröße in dem untersuchten Größenbereich (8—60  $\mu$ ) 17,6  $\mu$  beträgt und daß 94% aller Teilchen zwischen 8 und 30  $\mu$  groß sind. Wie verschiedene Versuche an filtrierenden Zooplanktern ergeben haben, werden Teilchen dieser Größenordnung bevorzugt

---

#### Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 4)

Abb. 4: Die Teilchengrößenverteilung (A), das Volumen (B) und die Oberfläche (C) von 20427 analysierten Detritusteilchen. Die Häufigkeiten ( $z_i = 2000 \approx 10\%$ ) der Größenklassen 0 und — 1 sind Schätzwerte.



Tafel 4 (zu J. Lenz )

gefressen. Sie haben gerade die richtige Größe für die aus Borsten bestehenden Filterapparate der Tiere (vergl. dazu JØRGENSEN 1966).

Die Angabe der Teilchengröße und der Teilchenzahl allein ist für die vollständige Erfassung des Detritusgehalts in einer Wasserprobe noch nicht ausreichend. Erst das Volumen und, daraus abgeleitet, das Gewicht aller vorhandenen Teilchen ergibt ein für weiterführende Untersuchungen und Vergleiche brauchbares Maß. Den Übergang von der Teilchenzahl zum dazugehörigen Volumen auf der Basis der Kugelform zeigt die Abb. 4b. Sie soll die bekannte Tatsache noch einmal vor Augen führen, wie stark bei einer solchen Verteilungskurve der Volumensanteil der kleinen Teilchen gegenüber dem der größeren zurücktritt.

Nicht ganz so stark fällt diese Verschiebung des prozentualen Anteils bei der Berechnung der Teilchenoberfläche ins Gewicht (Abb. 4c). Ihr wurde ebenfalls die Kugelform zugrundegelegt. Die insgesamt vorhandene Oberfläche der Detrituspartikel, für die die angenommene Kugelform nur einen Minimalwert liefert, spielt als Substratfläche für die im Meer lebenden Bakterien eine sehr wichtige Rolle. Das Gleiche gilt für die Adsorption der organisch gelösten Stoffe an den Detritusteilchen. Die Tab. 2 enthält die zu der Gesamtverteilungskurve gehörenden Werte (Abb. 4) und die Umrechnung auf den Litergehalt. Den Bakterien steht demnach zum Beispiel in 1 m<sup>3</sup> Wasser der westlichen Ostsee eine Mindestsiedlungsfläche von 1,5 m<sup>2</sup> zur Verfügung.

Tabelle 2  
Gesamtmittelwerte (St. 13—20)

Probenzahl	Σ d. gezählten Teilchen	Größenbereich (μ)	Mittl. Teilchengröße (μ) $\bar{x}$	Teilchenzahl (Mill./l)	Volumen (mm <sup>3</sup> /l)	Oberfläche (cm <sup>2</sup> /l)
92	20427	7.9—60.9	17.6 ± 6.5	1.35	5.68	14.91

## 2. Die Errechnung des Trockengewichts

In dem folgenden Teil wird aus der Teilchengrößenverteilung das Trockengewicht der vorhandenen Detritusmenge abgeleitet. Die Ergebnisse werden anschließend mit den nach Methode 2 über den Seston- und Eiweißgehalt gewonnenen Detrituswerten verglichen und die Abweichungen zu deuten versucht.

Für die Errechnung des Trockengewichts der analysierten Detritusteilchen müssen die hierbei gemachten Einschränkungen und Voraussetzungen genannt werden:

1. Da die untere Grenze der hier gezählten Teilchengröße bei 8 μ liegt, mußte die unbekannte Anzahl der kleineren Teilchen vernachlässigt werden. Wie bereits gezeigt, ist jedoch der Einfluß der kleinen Teilchen auf das Gesamtvolumen und damit auch auf das Gewicht sehr gering (vergl. Abb. 4). Nehmen wir für die beiden fehlenden Größenklassen — 1 (0.8 — 4.4 μ) und 0 (4.4 — 7.9 μ) je 2000 Teilchen an, die zusammen rund 20% der Gesamteilchenzahl ausmachen, so ist ihr gemeinsamer Volumenanteil nur 0.34%. Für je 10000 Teilchen in diesen beiden

Tabelle 3

St. Nr.	Probennahme				Teilchengrößenanalyse						Auswertung	
	Tiefenbereich (m)	Temperatur (°C)	Salzgehalt (‰)	Probenzahl	Σ d. gezählten Teilchen	Größenbereich (μ)	Mitl. Teilchengröße (μ)	Dichtemittel D (μ)	Schiefe S	Teilchenzahl (Mill./l)	Detritusnaßgew. (mg/l)	Umrrechnungsfaktor U
13	5 —19	10.9—11.6	13.65—13.90	8	1608	7.9—53.8	19.7	6.5	16.8	0.45	0.78	4.54
	20 —22	12.5—13.5	16.50—18.05	4	1987	7.9—43.2	17.1	5.0	14.7	0.48	1.93	7.01
14	5 —20.3	9.2	14.10—14.15	7	1530	7.9—46.7	16.8	6.0	13.8	0.51	0.85	3.17
	20.6—21.5	9.2—10.0	14.80—16.05	4	1473	7.9—39.6	16.7	5.6	13.8	0.52	1.43	5.01
	23 —25	11.1—12.0	19.55—20.30	2	1311	7.9—53.8	18.0	7.5	13.7	0.58	2.54	13.30
15	30 —42.5	8.7—10.1	7.15—13.70	7	814	7.9—43.2	16.1	4.8	12.2	0.81	0.77	2.63
	43 —45	10.2—10.3	21.75—22.20	5	1082	7.9—50.2	17.8	6.6	14.0	0.59	1.68	7.71
16	5 —11	4.3— 5.5	17.85—18.25	4	1612	7.9—43.2	18.1	5.9	15.0	0.54	2.50	10.10
	12 —16	5.9— 7.0	19.20—23.55	5	1011	7.9—43.2	17.6	5.9	14.0	0.63	1.57	6.70
	17 —22	7.5	26.00—26.80	4	800	7.9—53.8	17.2	6.2	14.2	0.48	1.55	6.37
19	5 —14	2.0— 2.5	17.20—17.90	11	1627	7.9—53.8	19.0	7.2	14.4	0.65	1.12	6.34
	14.2—15	2.8— 3.0	18.50—19.20	5	707	7.9—53.8	18.8	7.9	13.8	0.63	1.11	7.28
	15.3—17	3.0	19.55—20.30	4	695	7.9—43.2	18.5	6.6	15.3	0.48	1.35	6.73
20	10 —14.2	2.7— 3.1	17.90—19.30	8	1350	7.9—60.9	16.4	5.8	13.6	0.48	1.31	4.60
	14.4—15.4	3.1— 3.5	19.40—22.25	7	1295	7.9—43.2	16.1	5.8	13.5	0.45	1.43	4.67
	16 —25	3.6	22.75—22.90	7	1525	7.9—53.8	17.9	5.7	13.3	0.81	1.69	8.92

Größenklassen, was fast einer Verdoppelung der Gesamtteilchenzahl gleichkommt, würde der Volumenzuwachs nicht mehr als 2.00% betragen.

2. Bei allen Proben wurden die größeren Teilchen, deren Häufigkeit in den einzelnen Größenklassen weniger als 1% der analysierten Teilchenzahl betrug, weggelassen. Wegen ihres großen Einflusses auf die Höhe des Gesamtvolumen würden sie dieses zu sehr von Zufälligkeiten abhängig machen. Dieser weggelassene Rest der großen Teilchen macht im Mittel 1.5% der Gesamtteilchenzahl aus.
3. Der Berechnung der Teilchenvolumina wurde die Kugelform zugrunde gelegt. Es ist aber offensichtlich, daß diese Annahme, genau genommen, nur eine recht beschränkte Gültigkeit hat. Für die kleinen Teilchen mag sie wohl einigermaßen zutreffen. Bei den größeren Teilchen überwiegt jedoch wahrscheinlich mehr die flächige Form. Infolgedessen wird das errechnete Volumen häufig zu hoch ausfallen.
4. Für das spezifische Gewicht der Detritusteilchen wurde der Wert 1.05 eingesetzt. Die Multiplikation mit dem Volumen ergibt das Detritusmaßgewicht, dessen Verhältnis zum Detritustrockengewicht als 6 : 1 angenommen wird.

Zur besseren Übersicht und um außerdem repräsentativere Werte für die Teilchengrößenverteilung zu erhalten, wurden die Einzelproben auf den Stationen, soweit sie annähernd demselben Wasserkörper entstammten, zu einer einzigen Verteilungskurve vereint. Diese allerdings manchmal stark vereinfachende Zusammenfassung führte auf den meisten Stationen zu einer dreifachen hydrographischen Gliederung: Oberschicht, Sprungschicht, Unterschicht. Die Tab. 3 gibt die Tiefenbereiche mit den dazugehörigen Temperatur- und Salzgehaltsdaten an. Die mittlere Teilchengröße schwankt unregelmäßig entsprechend der großen Streuung (s). Es lassen sich höchstens Unterschiede von Station zu Station erkennen. Die Teilchenzahl pro Liter nimmt im allgemeinen zum Boden hin zu. Ähnlich verhält es sich mit dem Detritusmaßgewicht.

Der Umrechnungsfaktor U stellt das Verhältnis von dem aus der Teilchengrößenanalyse errechneten Detritusmaßgewicht zu dem Detritustrockengewicht dar, das nach Methode 2 mit Hilfe der chemischen Analysen bestimmt wurde. Das Trockengewicht des Planktons, das für diesen Zweck vom Sestonsgewicht abgezogen wurde, basiert auf dem Eiweißgehalt ( $\times 4$ ) und in einigen Ausnahmen auf dem Chlorophyll a-Gehalt ( $\times 100$ ). Sich im Eiweißgehalt eventuell ausdrückende Bakterienvorkommen wurden dabei außer acht gelassen.

Der Umrechnungsfaktor U sollte nach der obigen Annahme im Idealfall den Wert 6 haben. Er zeigt jedoch recht große Schwankungen. Es fallen besonders die hohen Werte auf. Die Vermutung liegt nun nahe, daß es sich hier nicht so sehr um verschiedene Detritusarten von unterschiedlicher Konsistenz handelt, sondern vielmehr um methodische Einflüsse durch die Teilchengrößenverteilung. Je größer der Anteil der relativ großen Teilchen ist, um einen desto höheren Betrag wird das nach der nun nicht mehr zutreffenden Kugelform berechnete Volumen zu groß werden. Die Folge ist ein zu hoher Umrechnungsfaktor. Je mehr große Teilchen da sind, desto unsymmetrischer, schiefer wird eine Verteilungskurve werden, wenn die Häufigkeitsmaxima von den kleinen Teilchen gebildet werden. Zur Berechnung dieser Schiefe der Verteilungskurve bot sich das Schiefheitsmaß von PEARSON an:

$$S = \frac{\bar{x} - D}{s}$$

wobei  $\bar{x}$  die mittlere Teilchengröße, s die dazugehörige Streuung und D das Dichtemittel ist (zur Berechnung von D vergl. WEBER, S. 87).

In der Abb. 5 sind die Umrechnungsfaktoren U gegen die Schiefe S aufgetragen. Trotz der großen Streuung läßt sich eine gewisse Abhängigkeit erkennen. Man könnte

daraus ableiten, daß Verteilungskurven mit einer kleineren Schiefe als 0.55 unter den genannten Voraussetzungen zu brauchbaren Werten für das Detritustrockengewicht führen, während bei solchen mit einer größeren Schiefe Korrekturen vorgenommen werden müssen.

Die Abb. 6 veranschaulicht an zwei Beispielen, wie stark eine unterschiedliche Schiefe der Verteilungskurve das dazugehörige Volumen und damit den Umrechnungsfaktor beeinflussen kann. Ein einfaches Maß für die Schiefe ist bereits die Differenz zwischen dem arithmetischen Mittel und dem Dichtemittel der Teilchengröße.

Einen Vergleich zwischen den beiden, hier näher beschriebenen Methoden der Detritusbestimmung bietet die Abb. 7 mit der St. 13. Bis auf einige starke Schwankungen, bei denen der Zusammenhang mit der Teilchengröße und Teilchenzahl ersichtlich ist, zeigt die Methode 3 eine einigermaßen gute Übereinstimmung mit der Methode 2, die hier als Vergleichsstandard benutzt wurde.

#### Diskussion

Bei der vorliegenden Untersuchung wurde aus dem ganzen Größenspektrum der Detritusteilchen nur der Bereich zwischen 8 und 60  $\mu$  erfaßt. Es erhebt sich die Frage, welche Rolle vor allem die kleineren Teilchen spielen. Wenngleich sie wahrscheinlich auch oft in großer Anzahl vorhanden sind, so werden sie doch in der Regel in ihrer Masse wenig ins Gewicht fallen. Diese Vermutung wird zum Beispiel durch die Beobachtungen von HOBSON (1967) bestätigt. Im Nordpazifischen Ozean, allerdings im Tiefenwasser unterhalb der euphotischen Deckschicht, fand er bei der Untersuchung der suspendierten Partikel von 2  $\mu$  an aufwärts, daß der Hauptanteil der Teilchenmasse von den Teilchengrößen zwischen 8 und 44  $\mu$  eingenommen wurde. Man darf also annehmen, daß der für produktionsbiologische Fragestellungen wichtigste Ausschnitt aus der Gesamtverteilung der Detrituspartikel mit der beschriebenen Methode der Teilchengrößenanalyse erfaßt wird.

Die Ableitung des Detritustrockengewichts aus der Teilchengrößenverteilung ist mit einigen Problemen behaftet. Unter gewissen Einschränkungen ist dieser Weg jedoch gangbar. Die Genauigkeit der Gewichtswerte läßt sich sicher durch umfangreichere Zählungen mit einer entsprechenden Verminderung der Streuung erhöhen.

Eine sehr elegante Methode der Teilchengrößenanalyse ist das Zählverfahren mit dem Coulter Counter (vergl. SHELDON & PARSONS 1967 a, b). Neben der Schnelligkeit und automatischen Registriermöglichkeit hat es den Vorzug, daß die Teilchengrößenverteilung der noch unfixierten Seewasserproben gleich an Bord gemessen werden kann. Ein weiterer Vorteil des Coulter Counter besteht darin, daß er die produktionsbiologisch sinnvollste Größe, nämlich das Volumen der Teilchen, mißt. Nur in einem Punkt ist er dem Teilchengrößenanalysator von Zeiss unterlegen, denn er mißt unterschiedslos

---

#### Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

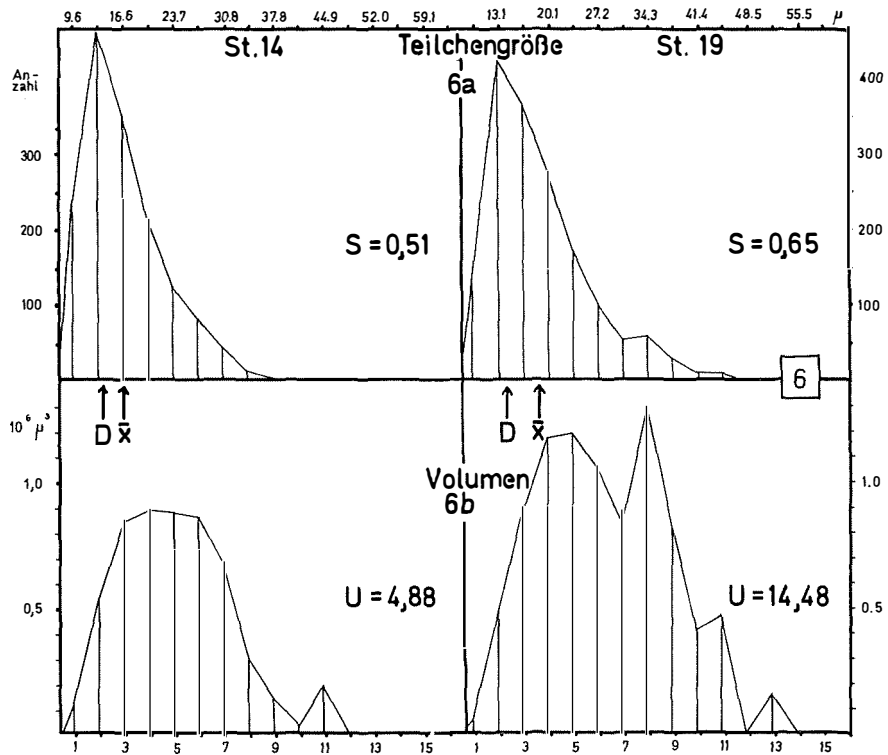
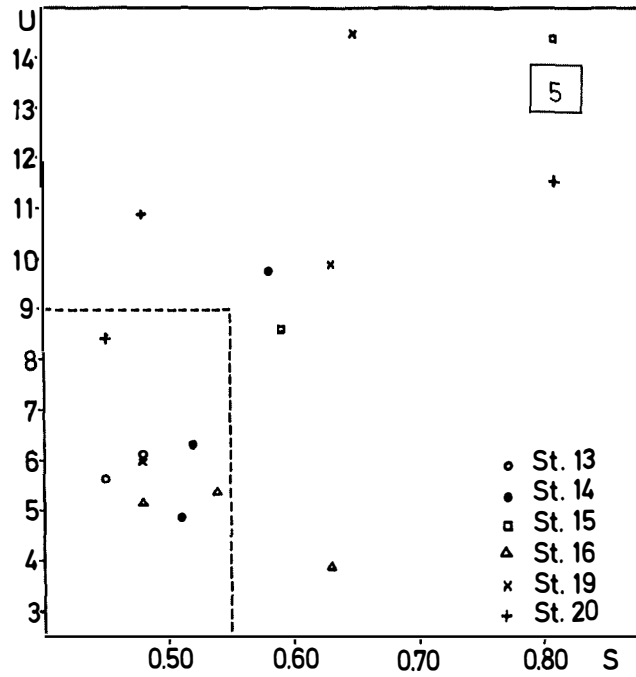
Abb. 5: Der Umrechnungsfaktor U (Detritusnaßgewicht : Detritustrockengewicht) in Abhängigkeit von der Schiefe S der Teilchengrößenverteilung der Detrituspartikel auf verschiedenen Stationen. (Abgegrenztes Areal =  $S < 0.55$ )

Abb. 6: Die Teilchengrößenverteilung (a) mit unterschiedlicher Schiefe S und das dazugehörige Teilchenvolumen (b) mit verschiedenem Umrechnungsfaktor U auf zwei ausgewählten Stationen:

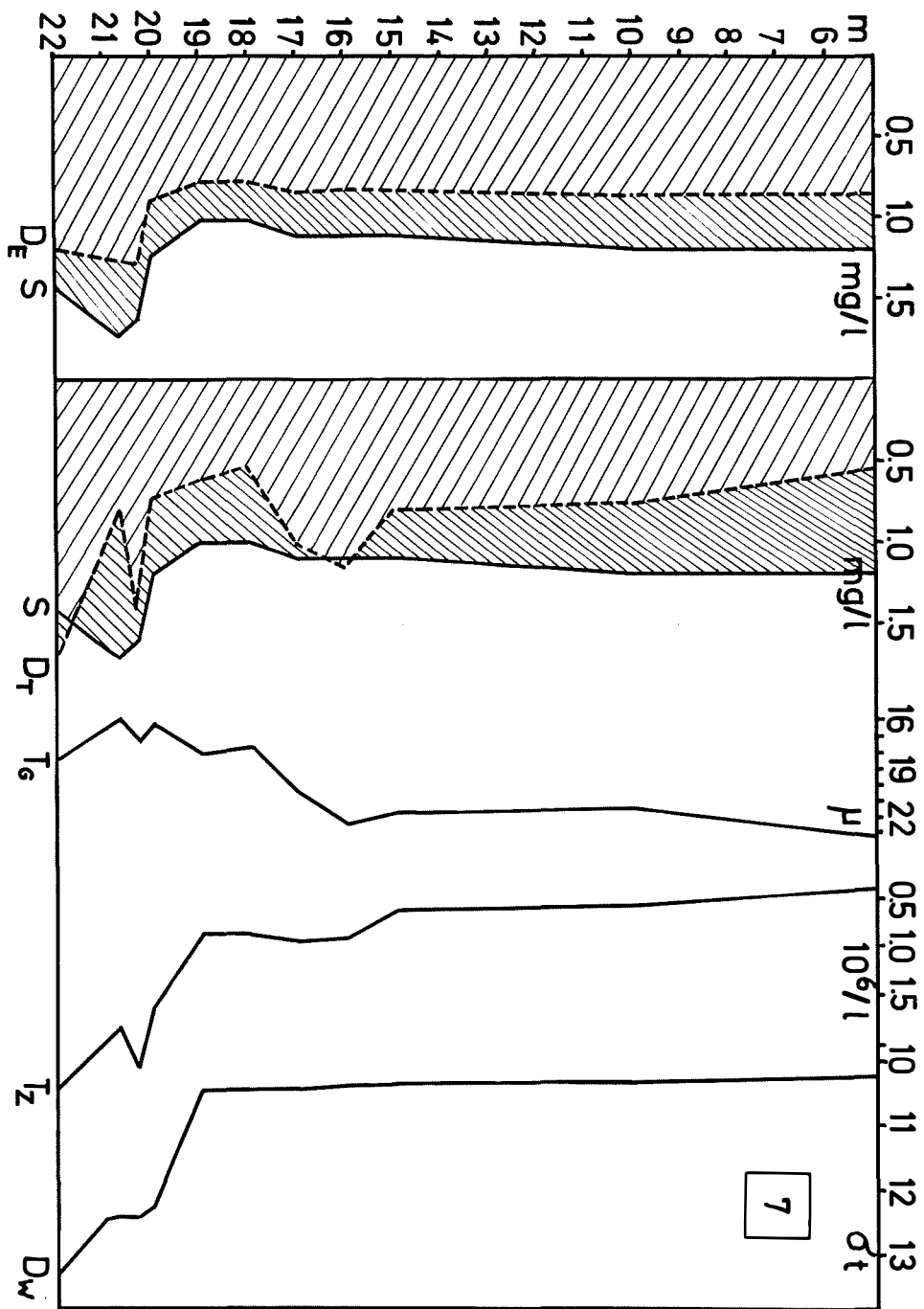
St. 14, 5—20.3 m, 1530 Teilchen/1.81 ml, Gesamtvolumen  $5.45 \times 10^6 \mu^3$ .

St. 19, 5—14 m, 1627 Teilchen/1.55 ml, Gesamtvolumen  $8.81 \times 10^6 \mu^3$

(Abszisse: Größenklassen unten und Klassenmitten oben. Ordinate: Teilchenzahl und Volumen.  $D$  = Dichtemittel,  $\bar{x}$  = arithmetisches Mittel).



Tafel 5 (zu J. Lenz)



Tafel 6 (zu J. Lenz )



alle suspendierten Partikel. Obwohl es unter günstigen Umständen gelingt, hervorstechende Peaks in der Größenverteilung dem Massenaufreten einzelner Planktonarten zuzuordnen, ist jedoch eine generelle Unterscheidung zwischen Plankton und Detritus nach diesem Verfahren unmöglich.

Die hier angewandte Methode der Teilchengrößenanalyse an fixierten Wasserproben birgt die Gefahr in sich, daß die Fixierung und die spätere Weiterbehandlung eine Verfälschung der ursprünglichen Teilchengrößenverteilung hervorrufen. Wichtig ist, daß die fixierten Proben vor dem Umfüllen in die Zählkammern des Utermöhlmikroskops nicht zu kräftig geschüttelt, sondern nur vorsichtig umgewälzt werden, damit die ursprünglichen Teilchengrößen erhalten bleiben.

Die Schwierigkeit der fixierten Proben kann vielleicht dadurch umgangen werden, daß die Teilchen gleich an Bord vorsichtig auf Membranfiltern angereichert und die mit Immersionsöl transparent gemachten Filter photographiert werden. Mit der Hilfe von Anfärbungen und Farbaufnahmen wäre dann vielleicht auch eine Unterscheidung zwischen organischen und anorganischen Detritusteilchen möglich.

Die Utermöhlmethode mit der anschließenden Teilchengrößenanalyse kann als ein Beispiel für eine sehr ins Detail gehende Analysenmethode gelten. Der relativ große Arbeitsaufwand für die Untersuchung einer jeden Einzelprobe ist dadurch zu rechtfertigen, daß man einen genauen Einblick in die qualitative und quantitative Zusammensetzung des Plankton- und Detritusgehaltes einer Wasserprobe erhalten kann. Diese Kenntnisse sind die Voraussetzung für eine richtige Deutung der quantitativen Meßwerte, die mit integrierenden Analysenmethoden in demselben Wasserkörper gewonnen wurden.

Gerade heutzutage, wo die moderne Meßtechnik zusammen mit der Automation der Meeresforschung faszinierende, neue Möglichkeiten und Dimensionen der Datensammlung erschließt, besteht die Gefahr, daß solche neuen, durch ihre Methodik bestechenden Meßverfahren von den eigentlich wichtigen Fragestellungen ablenken. Diese Entwicklung verführt dazu, einzelne Parameter ganz isoliert ohne Rücksicht auf die vielfältigen kausalen Verflechtungen mit anderen Faktoren zu messen. Bei der Deutung der Meßergebnisse werden dann die fehlenden Detailkenntnisse notgedrungen durch hypothetische Annahmen ersetzt. Erst das Zusammenwirken zwischen der großräumigen Bestandsaufnahme und der vertieften Detailanalyse wird zu weiterleitenden Erkenntnissen führen. Deshalb wird man auf solche Detailstudien, auch wenn sie mühsam und zeitraubend sind, auch in Zukunft kaum verzichten können.

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 6)

Abb. 7: Die vertikale Verteilung des Detritusgehaltes auf St. 13 (östl. Schleimünde, 19. 10. 60).

- S : Sestonsgewicht (mg/l)
- DE : Detritustrockengewicht mit Hilfe des Eiweißgehaltes berechnet (mg/l)
- DT : Detritustrockengewicht aus der Teilchengrößenverteilung errechnet (mg/l)
- S—D : Anteil des Planktons als Trockengewicht (mg/l)
- TG : Mittlere Teilchengröße ( $\mu$ )
- TZ : Anzahl der Teilchen ( $10^6/l$ )
- DW : Dichte des Wassers ( $\sigma_t$ )

#### Literaturverzeichnis

- BANSE, K. (1956): Produktionsbiologische Serienbestimmungen im südlichen Teil der Nordsee im März 1955. *Kieler Meeresforsch.* **12** (2): 166—179. — 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**: 186—201. — HAGMEIER, E. (1961): Plankton-Äquivalente (Auswertung von chemischen und mikroskopischen Analysen). *Kieler Meeresforsch.* **17** (1): 32—47. — HAGMEIER, E. (1962): Das Seston und seine Komponenten. *Kieler Meeresforsch.* **18** (2): 189—197. — HOBSON, L. A. (1967): The seasonal and vertical distribution of suspended particulate matter in an area of the Northeast Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **12** (4): 642—649. — KÖRTE, F. (1966): Plankton- und Detritusuntersuchungen zwischen Island und den Färöer im Juni 1960. *Kieler Meeresforsch.* **22** (1): 1—27. — KREY, J. (1956): Die Trophie küstennaher Meeresgebiete. *Kieler Meeresforsch.* **12**: 46—65. — KREY, J., BANSE, K. u. HAGMEIER, E. (1957): Über die Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuretreaktion. *Kieler Meeresforsch.* **13** (1): 35—40. — KREY, J. (1961a): Der Detritus im Meere. *Journ. du Cons. Inter. Expl. Mer* **26** (3): 263—280. — KREY, J. (1961b): Beobachtungen über den Gehalt an Mikrobiomasse und Detritus in der Kieler Bucht 1958—1960. *Kieler Meeresforsch.* **17** (2): 163—175. — KREY, J. (1964): Die mittlere Tiefenverteilung von Seston, Mikrobiomasse und Detritus im nördlichen Nordatlantik. *Kieler Meeresforsch.* **20** (1): 18—29. — MENZEL, D. W. and J. J. GOERING (1966): The distribution of organic detritus in the ocean. *Limnol. Oceanogr.* **11** (3): 333—337. — PARSONS, T. R. (1963): Suspended Organic Matter in Sea Water. *Progress in Oceanography*. Pergamon Press, Oxford, Vol. 1, pp. 205—239. — POSTMA, H. (1954): Hydrography of the Dutch Wadden Sea. *Arch. néerl. Zool.* **10**: 1—106. — SHELDON, R. W. and T. R. PARSONS (1967a): A continuous size spectrum for particulate matter in the sea. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **24** (5): 909—915. — SHELDON, R. W. and T. R. PARSONS (1967b): A Practical Manual on the Use of the Coulter Counter in Marine Science. Coulter Electronics Sales Company — Canada, Toronto, Ontario. — UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Intern. Verein f. theor. u. angew. Limnol., Mitteilg.* **9**. — WEBER, E. (1967): *Grundriß der Biologischen Statistik*. 6. Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena.