

# 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.

# Partikuläre Substanz und Plankton an Hand chemischer und biologischer Daten gemessen in den oberen Wasserschichten des Gotland-Tief im Mai 1968<sup>1)</sup>

VON JENS B. DERENBACH

**Zusammenfassung:** In den oberen 75 Metern Wassertiefe wurden neben dem Auszählen der Planktonorganismen chemische Nachweise durchgeführt auf Chlorophyll, Protein, RNA und die Gesamtheit einiger vorkommender Zucker. Diese und andere schon vorliegende Daten wurden auf ihre Aussagefähigkeit über die partikuläre Substanz und das lebende Plankton untersucht, um daran anschließend die Beziehungen zwischen den als aussagekräftig erkannten Werten herzustellen. Die damit ermöglichte Beschreibung des Planktonbestandes gestattet dann zwar die Konstatierung eines tiefenabhängigen, unterschiedlichen physiologischen Zustandes dominierender Organismen, doch werden hierbei auch die Aussagegrenzen summarisch-chemischer Bestimmungsmethoden sichtbar.

**Particulate matter and plankton in the surface layer of Gotland Deep in May 1968 as shown by certain biological and chemical data. (Summary):** The investigations were limited to the upper 75 meters. Here besides a counting of plankton organisms chemical determinations were performed for chlorophyll, protein, RNA, and the total amount of some occurring sugars. These and other data were compared as to their accuracy in estimating particulate matter and living organisms. Then it was searched for the relationship between values of recognized reliability. The resulting estimation of the plankton-stock permits the recognition of a varying physiological state of dominant organisms, depending on depth, though the limits of an account, given by chemical analysis of the entire amount of particulate matter, are reached.

## I. Einleitung

In zwei vorausgegangenen Publikationen haben GIESKES und GRASSHOFF (1969) und EHRHARDT (1969a) die Ergebnisse ihrer Messungen während einer Ankerstation im Gotland-Tief dargelegt (57°20'N und 20°03'E vom 8. 5. 0300 Uhr bis zum 12. 5. 1968 0900 Uhr). Diese Arbeit möchte die Ergebnisse der gleichzeitig durchgeführten biologischen und biochemischen Analysen mitteilen. Ziel der Untersuchung ist die Beschreibung der in den oberen 75 Metern Wassertiefe enthaltenen partikulären Substanz im Hinblick auf die vorhandenen Planktonmengen. Dazu werden Beziehungen ausgewertet, die zwischen den gefundenen Daten bestehen. Außerdem werden die Zusammenhänge zu den von den anderen Arbeitsgruppen erfaßten Komponenten gesucht.

## II. Material und Methoden

### 1. Probennahme

Die untersuchten Wasserproben entstammen sechs Tiefenhorizonten: 1, 10, 20, 30, 50 und 75 m. Die Probennahme erfolgte dreimal im Verlauf von 24 Stunden, um 0700, 1300 und 1900 Uhr. Gearbeitet wurde mit plastikverkleideten 5-Liter-Schöpfern (Fa. Hydro-Bios). Einschließlich der von der Arbeitsgruppe EHRHARDT durchgeführten Kohlenstoff- und Stickstoffanalysen wurden die für die verschiedenen Untersuchungs-

<sup>1)</sup> Für die mir zuteil gewordene Förderung und Unterstützung bin ich meinem Doktorvater Herrn Professor Krey sehr verpflichtet. Allen Teilnehmern dieser Ausfahrt danke ich für ihre freundlich gewährte Hilfe. Auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat durch ihre Unterstützung wesentlich zum Erfolg beigetragen.

zwecke benötigten Wassermengen aus demselben Schöpfer und in jeweils der gleichen Reihenfolge und Zeit abgefüllt; dabei wurden möglicherweise vorhandene grobe Partikel durch ein 300  $\mu\text{m}$ -Netz zurückgehalten.

## 2. Planktonzählung

Die Bestandsanalyse der vorkommenden Planktonorganismen blieb auf die erste der drei täglich durchgeführten Probennahmen beschränkt. Aus den jeweils 100 ml des mit ca. 3%-igem, neutralisierten Formaldehyd fixierten Seewassers wurden 50 ml mit dem Umgekehrten-Mikroskop (Fa. Zeiss) ausgezählt (UTERMÖHL 1958). Mögliche Fehler, die das ungleiche Absetzen der Plankter hierbei verursachen kann, wurden durch das Auszählen des gesamten Kammerbodens vermieden.

## 3. Filtrieren und Filterbehandlung

Für jede der beabsichtigten chemischen Analysen wurde die benötigte Materialmenge durch umgehendes Filtrieren der abgefüllten 500 oder 100 ml des geschöpften Probenwassers gewonnen. Der Saugdruck überstieg in keinem Falle 0,3 atm. Verwendete Filter für die Chlorophyllbestimmung waren Cellulose-Ester-Filter Typ HA mit einer definierten Porenweite von 0,45  $\mu\text{m}$  (SCOR-UNESCO 1966; DERENBACH 1969a). Für die übrigen Bestimmungen wurden PVC-Filter Typ BD mit einer definierten Porenweite von 0,6  $\mu\text{m}$  benutzt (DERENBACH 1969b). Beide Filtertypen stimmen nach Angaben des Herstellers (Fa. Millipore) in ihren Filtriereigenschaften praktisch überein.

Diese Filter wurden mit den auf ihnen gesammelten Probenmengen einzeln in mit PVC-Deckeln verschlossene Zentrifugengläser gebracht — in den später auch die Nachweisreaktionen ausgeführt wurden — und sofort bei  $-10^{\circ}\text{C}$  eingefroren.

## 4. Chlorophyll-Bestimmung

Zehn Tage nach der Probennahme wurden die Chlorophyll-a-Messungen vorgenommen. Abgesehen von der veränderten Art der Homogenisation (DERENBACH 1969a), entsprach der Analysengang den von der SCOR-UNESCO Working Group (1966) empfohlenen Vorschriften.

## 5. Protein-Bestimmung

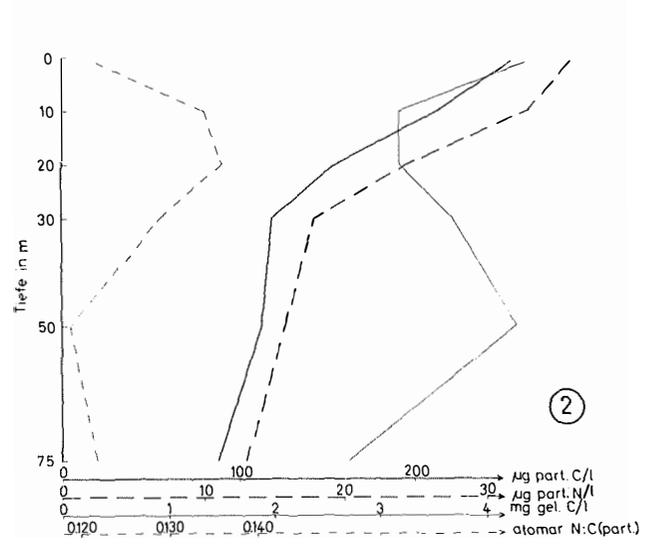
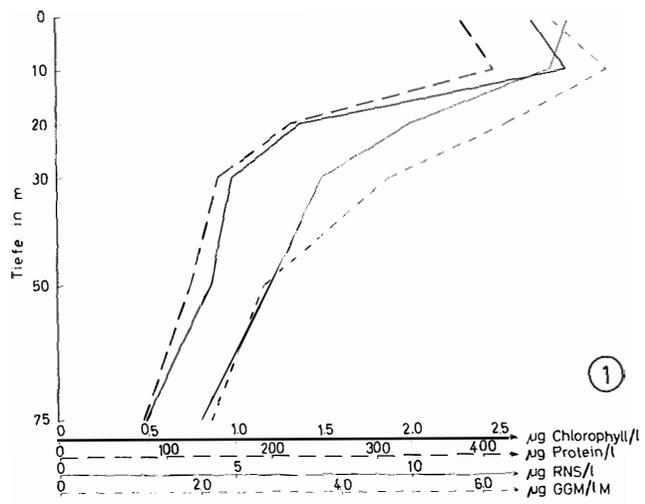
Der Proteingehalt der Proben wurde mit Hilfe der Methode von LOWRY, ROSENBROUGH, FARR und RANDALL (1951) bestimmt. Die dem sogenannten Proteingehalt entsprechende, photometrisch zu messende Farbkonzentration wird dabei durch zwei Reaktionen verursacht (LAYNE 1957): durch die Biuretreaktion und durch die von den Aminosäuren Tyrosin und Tryptophan hervorgerufene Reduktion des Phosphormolybdat-Phosphorwolframat-Reagenzes.

Für diese Nachweisreaktion wurde das Probenmaterial zuvor 18 Stunden bei Zimmertemperatur in 1 n NaOH hydrolysiert; eine Eichkurve wurde mit Eialbumin (Fa. Merck) aufgestellt (KREY 1951). Die gefundenen Proteinwerte sind dementsprechend als Albuminäquivalente aufzufassen. Die Analysengenauigkeit betrug  $\pm 3 \mu\text{g}$  per Probe.

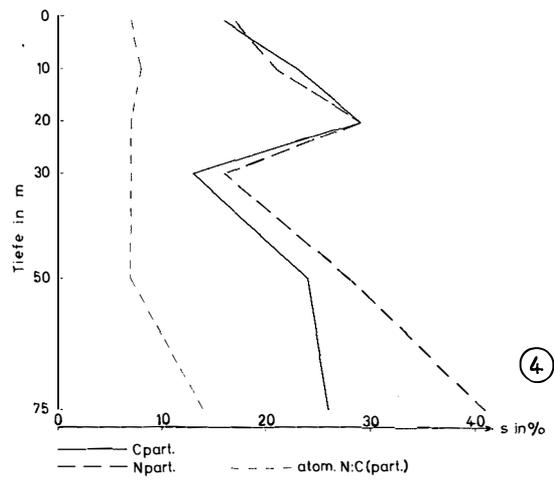
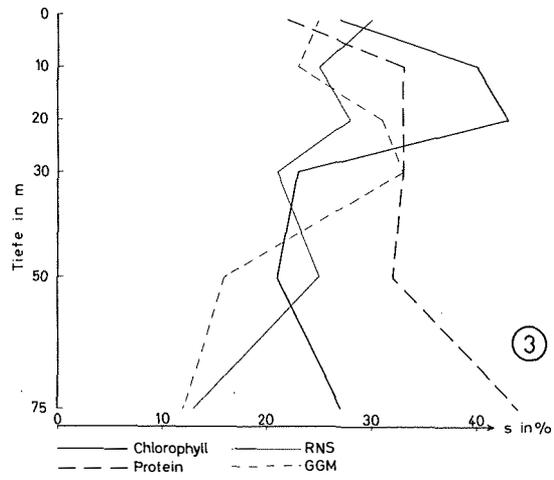
---

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

- Abb. 1: Über die ganze Stationsdauer gemittelte Werte der einzelnen gemessenen Komponenten Chlorophyll, Protein, RNS und die Summe der bei der RNS-Bestimmung gefundenen Mengen an Glucose, Galactose und Mannose (GGM).
- Abb. 2: Entsprechend der Abbildung 1 die Angaben für partikulären Kohlenstoff, partikulären Stickstoff, gelösten Kohlenstoff und das atomare Verhältnis von partikulärem Stickstoff zu Kohlenstoff.



Tafel 1 (zu J. Derenbach)



Tafel 2 (zu J. Derenbach)

## 6. Ribonukleinsäure-Bestimmung

Die RNA wurde durch die Orcin-Reaktion nach CERIOTTI (1955), jedoch ohne Ausschütteln der Farbe mit Isoamylalkohol bestimmt. Der Nachweis beruht auf der Bildung von Furfural aus der durch eine vorausgegangene Perchlorsäure-Hydrolyse freigewordenen, purinegebundenen Ribose in Gegenwart starker, anorganischer Säuren. Hierbei wird das Furfural auf Grund einer Reaktion mit Orcin photometrisch meßbar.

Diese Methode ist aber nur wenig ribosespezifisch. Die Desoxyribose der DNA und vor allem die im Analysengang aus den Phytoplanktonanteilen des Probematerials herausgelösten Mengen an Glucose, Galactose und Mannose können zu sehr erheblicher Überschätzung der tatsächlich vorhandenen RNA-Konzentration führen. Fehler diesen Ursprungs lassen sich jedoch durch eine Erweiterung des Analysenganges vermeiden (DERENBACH 1969b): Die Einflüsse der DNA auf das Meßergebnis werden durch eine schonende Art der Extraktion unterbunden; d. h. es wird praktisch keine Desoxyribose freigesetzt (WANKE 1962). Die Einflüsse der Glucose, Galactose und Mannose können durch die Messung bei zwei verschiedenen Wellenlängen eliminiert werden, sofern das Mengenverhältnis der drei genannten Zucker untereinander bekannt ist; hier wurde mit einem angenommenen, mittleren Mengenverhältnis von 5 zu 2 zu 1 gearbeitet. Bei einer Näherung an diese Bedingungen beträgt die Analysengenauigkeit für die RNA  $\pm 0,4 \mu\text{g}$  per Probe und die für die Gesamtheit der im Extrakt vorhandenen, interferierenden Zucker  $\pm 2 \mu\text{g}$  per Probe.

## III. Ergebnisse und Diskussion

### 1. Hydrographische Bedingungen

Nach GRASSHOFF und GIESKES (1969) sind die vorgefundenen oberen Wasserkörper bereits durch die Ausbildung einer als Sommerwasser bezeichneten Deckschicht charakterisiert. Dabei folgt einer Oberflächenschicht mit einer Mächtigkeit von rund 20 m und Temperaturen knapp unter  $5^\circ\text{C}$  eine deutlich kühlere Zone bis in Tiefen von 60 m bei einem mehr oder weniger gleichmäßigen Temperaturabfall auf ca.  $2,3^\circ\text{C}$ . Der Übergang zu dem relativ warmen Tiefenwasser manifestiert sich als deutliche Temperatur-Sprungschicht zwischen 60 und 75 m. Abgesehen von den Temperaturdifferenzen der obersten Wasserschichten gilt für den Salzgehalt ein ähnliches Bild. Bei nahezu homogenen Bedingungen zwischen 7,5 und  $8,0\text{‰}$  bis zu 60 m Tiefe liegt der Übergang zu salzhaltigem Tiefenwasser ebenfalls zwischen 60 und 75 m. — Von den in erster Linie zu berücksichtigenden Nährstoffen wurden gemessen das Nitrat, Nitrit und das gelöste anorganische Phosphat. Alle drei traten erst in Tiefen über 50 m deutlich meßbar in Erscheinung.

### 2. Verwendbarkeit der gefundenen chemischen und biochemischen Analysendaten für biologische Aussagen

Einen ersten Eindruck von den angetroffenen Verhältnissen liefern die in der Abbildung 1 dargestellten, über die ganze Stationsdauer gemittelten Werte der einzelnen gemessenen Komponenten: Chlorophyll a, Protein, RNA und die aus dem angenommenen Mengenverhältnis errechneten Gesamtheit an Glucose, Galactose und Mannose

---

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

Abb. 3: Die Standardabweichung  $s$  (angegeben in Prozent vom Mittelwert) der über die Stationsdauer gemittelten Werte für Chlorophyll, Protein, RNS und Glucose, Galactose und Mannose.

Abb. 4: Entsprechend der Abbildung 3 die Standardabweichung  $s$  partikulären Kohlenstoff, partikulären Stickstoff und das atomare Verhältnis von partikulärem Stickstoff zu Kohlenstoff.

(GGM). In der Abbildung 2 sind die denselben Schöpfproben entstammenden Mittelwerte des gemessenen (EHRHARDT 1969 a und b) partikulären Kohlenstoffs (C part.), des partikulären Stickstoffs (N part.), die Mittelwerte für atomares Verhältnis (atom. N : C) und für den gelösten organischen Kohlenstoff (C gel.) zusammengefaßt. In beiden Abbildungen mag man sich dabei von dem auffallend ähnlichen Kurvenverlauf leicht irreführen lassen. Wie aber bereits eine nähere Betrachtung der Mittelwerte zeigt, sind die sich scheinbar anbietenden, direkten Zusammenhänge nur teilweise vorhanden; d. h. nur einige der zur Verfügung stehenden Meßwerte können zu Aussagen über das vorkommende Plankton Verwendung finden.

Zur Berechnung des Proteins aus nach der KJELDAHL-Methode gefundenen Stickstoffmengen bedient man sich allgemein des Faktors 6,25 (KEIL, SORMOVA 1965; STRICKLAND, PARSONS 1965). Dieser recht hohe Stickstoffanteil des Proteins von 16% kann sicher zu einem Teil durch die Verluste bei dieser Art des Nachweises erklärt werden. In dem hier zur Eichung der Proteinmethode verwendeten Eialbumin wurden gaschromatographisch — entsprechend dem Nachweis des partikulären Stickstoffs und Kohlenstoffs — nur 13% Stickstoff festgestellt. Doch auch bei zu Grunde legen solch niedriger Stickstoffanteile reichen die in den oberen Wasserschichten gefundenen Stickstoffwerte kaum aus, allein die dort ebenfalls gefundenen Proteinwerte zu rechtfertigen. Zur Klärung dieses Widerspruchs können vornehmlich zwei Gesichtspunkte beitragen: Entweder wurde bei der der partikulären Stickstoff- und auch Kohlenstoffbestimmung vorausgehenden Filtration durch Glasfaserfilter Typ GF/C (Fa. Whatman) nur ein Teil der vorhandenen partikulären Substanz erfaßt, oder die bereits erwähnte Tyrosin- und Tryptophanempfindlichkeit der Proteinbestimmung führte durch größere Anteile beider Aminosäuren im Untersuchungsmaterial zu überhöhten Proteinwerten. Dieser zuletzt vorgebrachte Einwand gegen die Proteinmethode läßt sich verhältnismäßig einfach widerlegen. Nach einer Arbeit von CHAU, CHUECAS, RILEY (1967), die Aufschluß über die im Plankton vorkommenden Aminosäuren liefert, liegt der bei den Analysen zu erwartende Gehalt beider in Frage kommender Aminosäuren geringfügig unter demjenigen des als Eichsubstanz verwendeten Eialbumins; d. h. die Proteinwerte fallen in dieser Hinsicht theoretisch etwas zu niedrig aus. Praktisch darf dieser Umstand aber unberücksichtigt bleiben; ohne signifikante Differenz wurden Proteinbestimmungen an natürlichen Planktonpopulationen mit der Biuret-Methode (KREY 1951) und der LOWRY-Methode vorgenommen (DEVULDER 1968).

Für die vermuteten Verluste bei der Filtration dagegen ist es schwierig, nachträglich den direkten Beweis anzutreten, wenn man von Vergleichsfiltrationen absieht, die HUMPHREY und WOOTTON (1966) bezüglich der Chlorophyllbestimmung durchgeführt haben. Da Filtrationsfehler dieser Kategorie stark von der Art des filtrierten Planktons abhängen, ist es kaum statthaft, die Ergebnisse bedenkenlos zu übernehmen, obwohl grundsätzlich eine schlechtere Leistung dieser Glasfaserfilter im Vergleich zu HA-Filtern beispielsweise behauptet werden darf. Die unterschiedliche Porenweite der benutzten Filter könnte den Organellen der im Filtrationsgang zerstörten Zellen einen weit differenzierteren Widerstand entgegensetzen als den vergleichsweise großen Chloroplasten. Das wäre dann bei der Proteinbestimmung mit einem stärker voneinander abweichenden Wirkungsgrad der Filter verbunden.

Die geringe Aussicht, dagegen den Proteindaten einen nur wenig brauchbaren Wert beizumessen, läßt sich vorläufig daraus ableiten, daß — wie noch zu zeigen ist — die einzelnen Proteindaten eine enge Beziehung zu den im Analysengang vergleichsweise problemlos bestimmten Chlorophylldaten besitzen. Diese gute Korrelation bestünde jedoch auch, wenn aus methodisch unbekanntem Gründen gleichmäßig überhöhte Proteinwerte

gemessen würden. Daraufhin unternommene Vergleichsfiltrationen und -analysen (Protein, N part., C part.) an resuspendierten Netzplankton (*Skeletonema costatum*, *Melosira* und *Coscinodiscus spec.*) aus der Kieler Förde ergaben jedoch keinen Hinweis auf im Vergleich zu den N- und C-Analysen überhöhte Proteinwerte. Dagegen traten schon mit diesem relativ stabilen Netzplankton zwischen den beiden Filtertypen Differenzen von ca. 20% auf. Somit gilt: die Angaben über den partikulären Stickstoff und Kohlenstoff (hier können an Hand der Proteinwerte die gleichen Mißverhältnisse aufgezeigt werden) sind bezogen auf die durchgeführten Analysen im Gotland Tief trotz der exakten, gaschromatographischen Nachweismethode nur in einer Näherung für Aussagen über das vorkommende Plankton brauchbar.

Auch die Meßwerte des gelösten organischen Kohlenstoffs sind für die gesuchten Aussagen nur begrenzt zu verwenden. Ihre Konzentration übertrifft den partikulären Kohlenstoff um den Faktor 20. Selbst dann, wenn der nachgewiesene partikuläre Kohlenstoff wie in diesem Falle als zu niedrig angesetzt werden darf, sind bei solcher Voraussetzung und unter Berücksichtigung der geringen Chlorophyllmengen kurzzeitig keine deutlich erkennbaren, durch das Phytoplakton verursachten Schwankungen im Gehalt des gelösten organischen Kohlenstoffs zu erwarten (HELLEBUST 1965; YENTSCH 1965; NALEWAJKO 1966). Aus demselben Grunde werden sich hier auch umgekehrt die heterotrophen Eigenschaften chlorophyllhaltiger Dinoflagellaten beispielsweise nur geringfügig bemerkbar machen (PROVASOLI, McLAUGHLIN 1963). Bei dieser im Vergleich zur partikulären Substanz hohen Konzentration des gelösten organischen Kohlenstoffs muß deshalb unter den vorherrschenden Bedingungen entweder der Zeitfaktor in der Entwicklung der Verhältnisse stärker berücksichtigt werden, d. h. die Untersuchungen müssen sich über einen längeren Zeitraum mit demselben Wasserkörper befassen, oder die Untersuchungen müssen sich auf spezielle Verbindungen beschränken (FOGG, WATT 1965; HELLEBUST 1965).

Zusammenfassend darf soweit als geklärt gelten, warum in der voraufgegangenen Veröffentlichung die nicht gefundene Korrelation zwischen gelöstem organischem Kohlenstoff und partikulärem Kohlenstoff auch gar nicht gefunden werden konnte. Und ferner, warum die Korrelation zwischen partikulärem Stickstoff und Protein so unbefriedigend ausfallen mußte; gänzlich unbeschadet des Vorkommens stickstoffhaltiger Partikel, die — wie sicher zu Recht vermutet werden darf — mit der Proteinmethode nicht erfaßt werden können.

Aus dem Größenverhältnis der gemittelten, biochemisch bestimmten Komponenten untereinander kann dagegen noch kein Maß für ihre Aussagekraft über das vorkommende Plankton abgeleitet werden. Diesbezüglich wird deshalb für alle Meßwerte noch ein zweites Kriterium angewendet: die Größe der bei der Mittelwertbildung gleichzeitig berechneten Standardabweichung *s*. Ihre Darstellung findet sich in den Abbildungen 3 und 4; die Standardabweichung ist dabei jeweils in Prozenten vom Mittelwert angegeben.

Unabhängig von einer ursprünglich unregelmäßigen Verteilung partikulärer Substanz ist es in einem wie dem angetroffenen, eingangs hydrographisch als stabil charakterisierten System äußerst unwahrscheinlich, daß nach Ablauf einer gewissen Zeit die gedachte, unregelmäßige Verteilung wiedergefunden oder sogar in verstärktem Maße sichtbar wird. Bei den auf die partikuläre Substanz einwirkenden Kräften, der Schwerkraft in Medien unterschiedlicher Dichte, ist lediglich eine teilweise Fixierung der zunächst als unregelmäßig verteilt angenommenen partikulären Substanz denkbar, die in den Sprungschichten auch zu beobachten ist. Dagegen müssen alle anderen, deutlich einseitigen Konzentrationsverschiebungen der partikulären Substanz in fremden, hydrographisch nicht faßbaren Mechanismen ihre Ursache besitzen: in den Wirkungsweisen lebender Organismen, des Planktons.

Dieser Zusammenhang ist für die vorliegende Fragestellung bedeutsam. Bei der Untersuchung partikulärer Substanz darf die relative Größe der Standardabweichung  $s$  als Maß für den Grad des Zusammenhanges zwischen der gemessenen Substanz und dem zu beschreibenden Plankton angesehen werden. Dabei ergibt sich aus den Abbildungen 3 und 4 erwartungsgemäß eine bessere Beziehung der biochemischen vor den organisch-chemischen Komponenten zu dem vorkommenden Plankton. Dies mag unter anderem als weitere Rechtfertigung der Proteindaten gelten. Wie durch die erwähnte, größere Standardabweichung in den Sprungschichten augenfällig dokumentiert wird, böte dagegen die Bestimmung des partikulären Kohlenstoffs und Stickstoffs nach Abzug der aus den biochemischen Daten zu errechnenden C- und N-Quantitäten hier ein objektives Maß für die inaktiven Anteile der partikulären Substanz, den Detritus; doch erscheint aus den oben genannten Gründen eine eingehendere Beschäftigung mit diesen Meßwerten nur wenig sinnvoll.

### 3. Summarische Charakterisierung der Verhältnisse

Ähnlich den beschriebenen, ausgeprägt festen hydrographischen Bedingungen können auch die biologischen Verhältnisse stabil genannt werden. Dabei ist die Kennzeichnung stabil für biologische Systeme in weit stärkerem Maße den Adjektiven *alt* und *inaktiv* synonym.

Zunächst wird die Festigkeit der hydrographischen Zustände durch die besprochene Größenzunahme der Standardabweichung in den Sprungschichten für den partikulären Stickstoff und Kohlenstoff unterstrichen. Die bei kleinen Tiefenstufen sich relativ stark ändernden biochemischen Meßgrößen weisen in die gleiche Richtung; sie liefern aber auch einen ersten Anhalt hinsichtlich der geringen biologischen Aktivität. Als weiteren Indikator hierfür kann man die verschwindend kleinen Nährstoffkonzentrationen anführen. Doch der eigentliche Beweis läßt sich erst durch die RNA-Werte erbringen. Sie zeigen eine annähernd gleichförmige, relativ geringe Größe der Standardabweichung, die erst in großen Tiefen stark zurück geht.

Beginnt man bei der Rekonstruktion des Planktonbestandes mit den Chlorophyll-daten, dann ist bis zu Tiefen von 30 m zunächst ein steiler Abfall beobachtbar; dies sowohl hinsichtlich der gemessenen Konzentration als auch der berechneten Standardabweichung, die an der Oberfläche sogar die relativ höchsten Werte aufweist. Das deutet im Zusammenhang mit den Proteindaten, die verglichen mit den Chlorophyll-quantitäten verhältnismäßig hoch ausfallen, nicht nur auf Zooplanktonanteile, sondern in Verbindung mit der über einige Tiefenstufen konstanten Standardabweichung des Proteins auf eine zunächst mehr autotrophe, mit zunehmender Tiefe steigend heterotrophe Lebensweise dergleichen mixotrophen Organismen. In gutem Einklang mit dieser Folgerung steht der Abfall der Standardabweichung für die Gesamtheit der erfaßten Glucose, Galactose und Mannose erst unterhalb der 30-m-Tiefenlinie.

### 4. Beziehungen zwischen den einzelnen biochemischen Meßwerten

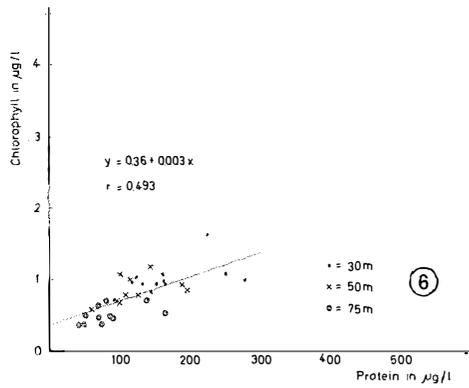
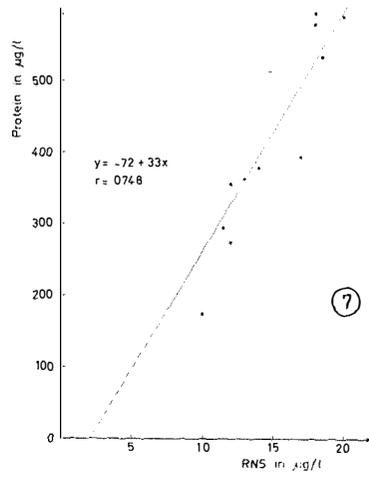
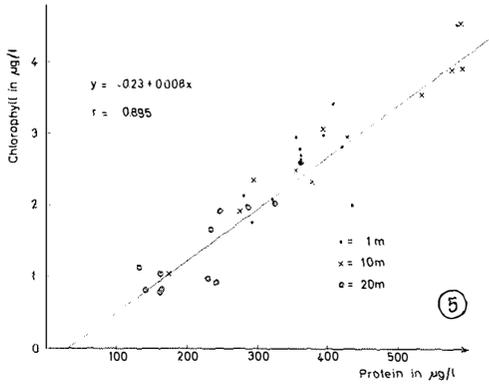
Nach der vorausgegangenen Betrachtung über die Verwendbarkeit der gefundenen Daten bezüglich biologischer Aussagen und einer ersten summarischen Charakterisierung

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

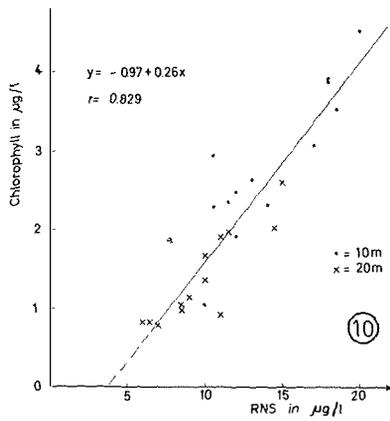
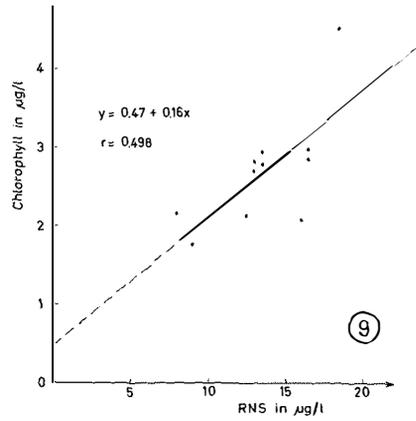
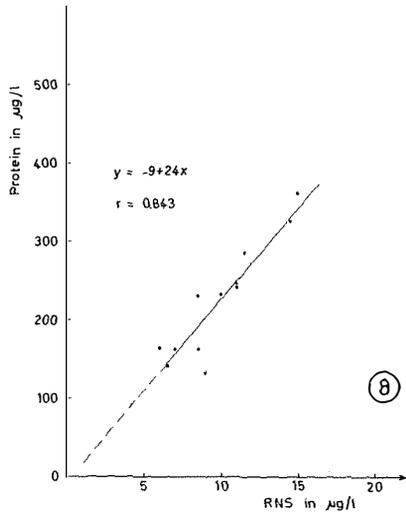
Abb. 5: Die Beziehungen zwischen einigen der gemessenen Komponenten, dargestellt durch die Regressionsgeraden  $y = a + bx$  und die Korrelationskoeffizienten  $r$ . Regressionsgerade und Korrelationskoeffizient für Chlorophyll- und Proteindaten aus 1, 10 und 20 m Tiefe.

Abb. 6: Regressionsgerade und Korrelationskoeffizient für Chlorophyll- und Proteindaten aus 30, 50 und 75 m Tiefe.

Abb. 7: Regressionsgerade und Korrelationskoeffizient für Protein- und RNS-Daten aus 10 m Tiefe.



Tafel 3 (zu J. Derenbach)



Tafel 4 (zu J. Derenbach)

der angetroffenen Verhältnisse wird jetzt nach der Art der Beziehung zwischen den als aussagekräftig erkannten Daten gesucht. Einer eindeutigen Analyse sind dabei enge Grenzen gesetzt durch die Vielzahl der wirksamen Faktoren einerseits und die geringe Anzahl der Kriterien — als gemessene Substanzen — andererseits. Dennoch sollten mit den daran anknüpfenden Folgerungen zwei Antworten versucht werden:

- a) über die Vollständigkeit, mit der die verschiedenen Meßgrößen das Plankton erfassen,
- b) über die Ähnlichkeit des Aussagewertes der gemessenen Substanzen.

Eine für diesen Untersuchungszweck geeignete Methode ist die Regressionsanalyse. Die Beziehungen zwischen den Meßwertfolgen (Variablen) werden dabei hier als linear vorausgesetzt. Diese Prämisse scheint deshalb wenigstens für einzelne Tiefenstufen gerechtfertigt zu sein, weil bei den vorherrschenden, stabilen Bedingungen in einer Näherung für alle vorkommenden Arten eine relativ gleiche Verteilung und für alle Individuen einer Art ein ähnlicher physiologischer Zustand angenommen werden darf. Der Zusammenhang läßt sich deshalb formulieren:  $y = a + bx$ . Die Größe  $a$  ist hierbei ein Maß für die Vollständigkeit, mit der aus der Gesamtheit der partikulären Substanz die als lebend beschriebenen Anteile durch die beiden miteinander verglichenen Komponenten erfaßt werden. Die Streuung der Daten um diese als Mittelwertsgerade errechneten Beziehung wird durch den Korrelationskoeffizienten  $r$  ausgedrückt. Dieses Maß für den Zusammenhang zwischen den beiden Folgen von Meßwerten ist damit auch ein Maß für die Ähnlichkeit ihrer Aussage.

In den Abbildungen 5 bis 10 ist ein Teil der gebildeten Regressionen dargestellt. Abgesehen von der Beziehung zwischen Chlorophyll und RNA in 10 und 20 m Tiefe ergibt sich der durch einen T-Test abgesicherte Befund, daß die Größe  $a$  niemals eine von Null verschiedene Ausdehnung erreicht, die auf einer höheren (weit über 50% liegenden) Vertrauensbasis gerechtfertigt werden könnte. Zusammen mit der guten Korrelation zwischen Chlorophyll und Protein in den oberen 20 m folgt damit aus diesen Daten für die Zusammensetzung der Population: im gesamten Planktonbestand sind keine signifikanten Zooplanktonanteile vorhanden; oder aber bei der Stabilität der Verhältnisse haben sich die Zooplanktonmengen der Konzentration des Phytoplanktonbestandes angeglichen. Der erwähnte RNA-Chlorophyll-Vergleich hingegen macht einen auf einer über 90%-igen Vertrauensbasis signifikanten Anteil heterotroph lebender Organismen wahrscheinlich (Abb. 10). Die Verhältnisse in Tiefen von 30 und mehr Metern sind durch eine Betrachtung der Einzelwerte nicht genauer zu beschreiben, als dies bei der Besprechung der Abbildung 3 geschehen ist. Nur die Höhe der Proteindaten liefert hier einigen Aufschluß über den Planktonbestand, ohne sich in brauchbarer Weise mit den Chlorophyll-, RNA- oder Glucose-Werten korrelieren zu lassen.

Für die Tiefe ist also mit den gefundenen Meßwerten kein Spezifizieren des Planktonbestandes möglich. In den oberen Wasserschichten aber kann die Beschreibung noch verbessert werden und zwar über den Grad des Zusammenhanges, der zwischen den nachgewiesenen Substanzen besteht. Doch unberücksichtigt bleiben soll der den ein-

---

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 8: Regressionsgerade und Korrelationskoeffizient für Protein- und RNS-Daten aus 20 m Tiefe.

Abb. 9: Regressionsgerade und Korrelationskoeffizient für Chlorophyll- und RNS-Daten aus 1 m Tiefe.

Abb. 10: Regressionsgerade und Korrelationskoeffizient für Chlorophyll- und RNS-Daten aus 10 und 20 m Tiefe.

zelen Substanzen zukommende, objektive physiologische Wert, dessen Diskussion nur dann sinnvoll ist, wenn die Organismen und ihre physiologischen Verhaltensweisen unter den jeweiligen Bedingungen bekannt sind.

Nach dieser Beschreibung des Planktonbestandes zielt die nächste Charakterisierung auf die Analyse seines Zustandes. Bisher abgeleitet war für die oberen 20 m ein nach seiner Zusammensetzung in hohem Maße gleichförmiger Planktonbestand. Aus der zwischen Chlorophyll und Protein hier bestehenden, nahezu konstanten, guten Korrelation wird man darüber hinaus auf eine geringere Artenzahl schließen dürfen, die durch das Alter und die Stabilität der Verhältnisse keinen Widerspruch erfährt. Damit ist aber jede Korrelationsänderung zwischen Protein oder Chlorophyll einerseits und einer anderen der nachgewiesenen Substanzen ein Indiz für den abweichenden physiologischen Zustand der durch sie repräsentierten Organismen zu denjenigen, für die keine Korrelationsänderung beobachtet werden kann. Am Beispiel der Korrelationsänderung der RNA zu Protein und Chlorophyll wird dieser Übergang zu einem anderen physiologischen Zustand deutlich sichtbar. Über die gesamten oberen 20 m sind Protein und Chlorophyll gut korreliert (Abb. 5), die RNA mit diesen beiden Substanzen nur in einer Tiefe zwischen 10 und 20 m (Abb. 7 und 8). In der obersten Wasserschicht sind die RNA-Werte mit den entsprechenden Chlorophylldaten nur schlecht (Abb. 9) und mit den Proteindaten überhaupt nicht zu korrelieren. — Eine entsprechende, wenn schon weniger augenfällige Ableitung des veränderten physiologischen Zustandes läßt sich ebenfalls aus den RNA-Werten und auch aus den Werten für die Gesamtheit der gemessenen Glucose, Galactose und Mannose in den Tiefenhorizonten von 20 und 30 m erbringen.

##### 5. Ergebnisse der Planktonzählung und ihre Beziehung zu den biochemischen Analysendaten

Den hydrographischen Bedingungen entsprechend bot die Planktonbesiedlung ein gleichbleibend, einförmiges Bild. Die Tabelle 1 faßt die Ergebnisse der UTERMÖHL-Zählung als Durchschnittswerte zusammen; Individuenzahlen sind nach Art und Tiefenstufen getrennt. Dominierend unter den Planktonorganismen waren zwei Peridinum-Arten: *Peridinum catentatum* (LEVANDER) und eine als *Peridinum spec.* bezeichnete Art, die dem ebenfalls von LEVANDER beschriebenen *Peridinum balticum* außerordentlich ähnelt, jedoch viel kleiner ist (ihr Volumen beträgt ein gutes Drittel von *P. catentatum*). In viel geringerer Anzahl folgen unter den Phytoplanktern *Peridinum finlandicum* (PAULSEN), *Dinophysis ovum*, var. *baltica* (LEVANDER), *Prorocentrum micans* (EHBG.), *Skeletonema costatum* (GREV.), *Thalassiosira baltica* (GRUN.), *Melosira hyperborea* (GRUN.) und verschiedene Oocystis-, Coscinodiscus- und Chaetoceros-Arten. Die Bestimmung der Zooplankter stellte sich wegen der verwendeten Fixierung als weit schwieriger heraus. Diese Organismen sind deshalb summarisch zusammengefaßt. Ihre Anzahl setzt sich überwiegend zusammen aus verschiedenen Ciliaten, von den nur eine Didinium-Art — vermutlich *Didinium balbiani* (BÜTSCHLI) — annähernd sicher identifiziert werden konnte. Wesentlich im Bestand des Zooplanktons waren außerdem zahlreiche Protozoophora- und Trochophora-Larven, sowie einige sogenannte Sternhaarstatoblasten (HENSEN).

Bei der Untersuchung gemischter Populationen können — sofern keine zytologischen Methoden zur Anwendung gelangen (DERENBACH 1969 b) — allein auf Grund summarisch-chemischer Bestimmungsmethoden aus der Gesamtheit der Organismen nur über dominierende Gruppen eindeutige Aussagen erwartet werden. Diese Aussage ist dabei selten direkt abzuleiten. Sie bedarf hier der gleichzeitigen Berücksichtigung derjenigen Populationsanteile, die die chemischen Analyseergebnisse zwar nicht maßgeblich be-

stimmen, doch immerhin merkbar zu beeinflussen vermögen. Die gesuchte Antwort über die Zusammenhänge zwischen den biologischen und chemischen Meßwerten soll mit den gleichen Mitteln gefunden werden, wie sie bereits zur Auskunft über die Beziehungen der chemischen Meßdaten untereinander herangezogen wurden.

Dominierend in beinahe der gesamten untersuchten Wassersäule sind *P. catentatum* und *P. spec.* Da *P. catentatum* in den meisten Tiefen sowohl hinsichtlich seiner Anzahl als

Tabelle 1

Durchschnittswerte der ausgezählten Individuen nach Arten und Tiefenstufen getrennt. Die Angaben beziehen sich auf  $10^3$  Individuen pro Liter

Tiefe in m	<i>Peridinium catentatum</i>	<i>Peridinium spec.</i>	<i>Peridinium finlandicum</i>	<i>Dinophysis ovum</i>	<i>Prorocentrum micans</i>	<i>Sketionema costatum</i>	<i>Thalassiosira baltica</i>	<i>Melosira hyperborea</i>	<i>Oocystis spec.</i> (Kolonien)	<i>Coscinodiscus spec.</i>	<i>Chaetoceros spec.</i>	gesamt Phytoplankton	gesamt Zooplankton
1	27,0	12,8	0,5	0,4	0,6	—	—	—	1,9	0,2	—	43,4	21,2
10	25,0	12,8	0,5	0,6	0,8	—	—	—	2,2	0,3	—	42,2	19,5
20	15,2	11,9	0,4	0,3	0,9	2,7	—	—	1,9	0,3	—	33,6	15,1
30	7,3	8,1	0,3	—	1,4	11,2	—	—	1,8	0,4	—	30,5	8,5
50	6,7	8,0	0,2	—	3,1	42,0	0,4	0,4	1,8	0,5	1,5	64,6	6,6
75	—	2,5	—	—	0,8	19,2	0,6	0,2	—	0,3	0,6	24,2	1,7

auch seines Volumens überwiegt, wird einmal diese Art getrennt für sich betrachtet. Daneben werden beide genannten Peridinium-Arten der Größe ihres Volumens entsprechend als Gesamt-Peridineen zusammengefaßt: Anzahl *P. catentatum* plus Anzahl *P. spec.* dividiert durch 2,5. Der bei der Aussage über die dominierenden Peridineen als beeinflussender Faktor zu berücksichtigende Populationsanteil ist die Anzahl der insgesamt vorkommenden Zooplankter. Berechnet wurden nun zwischen den Peridineen einerseits, den Zooplanktern und den chemischen Meßwerten andererseits der Korrelationskoeffizient  $r$  und ferner aus der Regressionsgleichung  $y = a + bx$  die Größe  $a$ , die im Falle der chemischen Meßwerte Aufschluß über den Anteil der Peridineen an dem gesamten chemisch festgestellten Bestand gibt. Die Größe  $a$  ist dabei aufgeführt als %-Wert vom Mittel der entsprechenden chemischen Meßdaten.

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Dabei fällt zunächst der Betrag für  $a$  auf, dessen Ausdehnung besonders hinsichtlich der Chlorophyllwerte für die obersten Wasserschichten aus den UTERMÖHL-Zählungen nicht herzuleiten ist. Trotz der guten Korrelation zu den Chlorophyll- und Proteindaten darf daher ein größerer Anteil bei der Fixierung nicht auszählbarer Organismen vermutet werden. Dies wird ferner durch das Fehlen einer Korrelation der RNA-Werte zu den Peridineenzahlen nahegelegt, die immer dann herzustellen vergeblich ist, wenn der Wert für  $a$  bezüglich der Chlorophyll- und Proteindaten 50% weit überschreitet. Unabhängig von den Ursachen dieser Änderung der Größe  $a$  stellt sich somit die RNA-Bestimmung in dieser Hinsicht als empfindliches Indiz heraus.

Tabelle 2

Aus der Regressionsgleichung  $y = a + bx$  ist für die gleichen x-Werte (Anzahl *P. catentatum*, bzw. Anzahl *P. catentatum* plus Anzahl *P. spec. dividiert* durch 2,5) und verschiedene y-Werte (Konzentration Chlorophyll, Protein, RNS und Glucose, Galactose, Mannose) die Größe a berechnet worden. Sie ist dargestellt in Prozent vom Mittel des y-Wertes. Sie ist ferner mit mehr als 90%iger Sicherheit von Null verschieden. Die Korrelation zwischen den x-Werten einerseits, den y-Werten und der Anzahl der Zooplankter andererseits ist angegeben als Korrelationskoeffizient r. Für die Fälle, in denen keine aussagekräftige brauchbare Korrelation und Regression gefunden werden konnte, sind keine Angaben gemacht.

Tiefe in m	Variable x	Variable y		Chlorophyll		Protein		RNS		GGM	
		Zooplankton r		r	a in %	r	a in %	r	a in %	r	a in %
1	<i>P. catentatum</i>	0,777		0,968	53	0,955	70	—	—	—	—
1	gesamt <i>P.</i>	0,785		0,976	39	0,938	62	—	—	—	—
10	<i>P. catentatum</i>	0,686		0,918	34	0,920	39	0,985	50	0,936	60
10	gesamt <i>P.</i>	0,704		0,939	16	0,946	22	0,993	37	0,960	50
20	<i>P. catentatum</i>	0,974		0,878	—	0,971	23	0,927	37	0,895	36
20	gesamt <i>P.</i>	0,981		0,894	—	0,976	14	0,934	6	0,887	5
30	<i>P. catentatum</i>	0,931		0,189	82	0,712	78	—	—	—	—
30	gesamt <i>P.</i>	0,824		0,738	65	0,821	50	—	—	—	—
50	<i>P. catentatum</i>	0,916		—	—	0,785	70	—	—	—	—
50	gesamt <i>P.</i>	0,973		—	—	0,852	35	—	—	—	—

Zur Charakterisierung der dominierenden Organismen verbleiben demnach ihre Beziehungen zu den Chlorophyll- und Proteinwerten. Bei annähernd gleichbleibendem Verhältnis zu den Zooplanktonanteilen sind sie als Zustandsänderung aus der variierenden Korrelation zu den Chlorophyll- und Proteindaten abzuleiten. Diese Zustandsänderung kann dabei als mehr oder weniger heterotrophe Eigenschaft der in Frage kommenden Peridineen beschrieben werden. Sofern unter diesen stabilen Bedingungen der bei zunehmender Tiefe näherungsweise konstante Proteingehalt der Zellenunter gleichzeitiger Chlorophyllabnahme als Übergang zu vermehrt heterotropher Lebensweise gedeutet werden darf. Im anderen Falle wäre ein merkbarer Rückgriff der Organismen auf Proteine als Reservestoff zu erwarten (MATTERNE 1968). Daß die zunehmende, hier sogenannte Heterotrophie der Peridineen tatsächlich einem Chlorophyllrückgang parallel läuft, geht aus der mit der Meßtiefe abnehmenden Steigung der in Abbildung 5 und 6 dargestellten Regressionsgeraden hervor. Unter solcher Voraussetzung ist die sich vermindernde Korrelation zwischen den Peridineenzahlen und den Chlorophylldaten Ausdruck dieser Veränderung, während die gleichbleibend gute Korrelation zu den Proteindaten über die relative Konstanz des Proteingehalts informiert

Erwartungsgemäß läßt sich in den oberen 20 m Wassertiefe — entsprechend der hydrographischen Situation — keine deutliche Änderung des physiologischen Zustandes der Peridineen erkennen (gleichförmig hohe Korrelation der Peridineenzahlen zu Chlorophyll- und Proteindaten). Sichtbar ist hier allein die Zunahme der Peridineen als bestandsbildende Größe bei gleichzeitigem Rückgang der Individuenzahlen. In den beiden nächstfolgenden Tiefenstufen ändert sich die Anzahl der untersuchten Peridinen nur geringfügig. Dagegen wird aus der Korrelation zu den Chlorophylldaten in 30 m Tiefe der Übergang zu vermehrt heterotropher Lebensweise hauptsächlich für *P. catentatum* augenfällig, während für *P. spec.* erst in 50 m Tiefe die gleiche Erscheinung beobachtet werden kann.

Aus der beschriebenen Untersuchung partikulärer Substanz im Gotland-Tief ist der Wert einer über mehrere Tage sich erstreckenden Beobachtungsfolge offensichtlich: sie ermöglicht trotz Anwendung summarisch-chemischer Bestimmungsmethoden tastende Aussagen über den Zustand und die Zustandsänderungen einiger dominierender Organismen in gemischten Planktonpopulationen. Dennoch darf ebenso behauptet werden, daß quantitative Aussagen dieser Art über natürliche Populationen nur mit weit differenzierteren Methoden zu erbringen sind.

#### Literaturverzeichnis

- CERIOTTI, G. (1955): Determination of nucleic acids in animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **214**, 59—68.
- CHAU, Y. K., L. CHUECAS, J. P. RILLEY (1967): The component combined amino acids of some marine phytoplankton species. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **47**, 543—554. — DERENBACH, J. (1969a): Zur Homogenisation des Phytoplanktons für die Chlorophyllbestimmung. *Kieler Meeresforsch.* **25**. — DERENBACH, J. (1969b): Untersuchungsmethoden zur Produktionsbiologie des freien Wassers. Diss., im Druck. — DEVULDER, K. H. (1968): Produktionsbiologische Untersuchungen an Netzplankton im Jahresgang unter besonderer Berücksichtigung von Nucleinsäuren, Eiweiß und Chlorophyll. Dissertation an der Universität Kiel, 108 Seiten. — EHRHARDT, M. (1969): The particulate organic carbon and nitrogen, and the dissolved organic carbon in the Gotland Deep in May 1968. *Kieler Meeresforsch.* **25**. — EHRHARDT, M. (1969): A new method for the automatic measurement of dissolved organic carbon in sea water. *Deep Sea Res.*, im Druck. — FOGG, G. E., W. D. WATT (1965): The kinetics of release of extracellular products of photosynthesis by phytoplankton. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **18** suppl., 165—174. — GIESKES, J. M. T. M., K. GRASSHOFF (1969): Hydrographical and chemical observations at two anchor stations in the Baltic Sea. *Kieler Meeresforsch.* **25**. — HELLEBUST, J. A. (1965): Excretion of some organic compounds by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanol.*, **10**, 192—206. — HUMPHREY, G. F., W. WOOTON (1966): Comparison of the techniques used in the determination of phytoplankton pigments. *UNESCO Monogr. Oceanogr. Meth.*, **I**, 38 to 63. — KEIL, B., Z. ŠORMOVÁ (1965): Laboratoriumstechnik für Biochemiker. 925 Seiten. — KREY, J. (1951): Die Untersuchung des Eiweißgehaltes in kleinen Planktonproben. *Kieler Meeresforsch.* **8**, 164 bis 172. — LAYNE, E. (1957): Spectrophotometric and turbidimetric methods for measuring proteins. *Methods in Enzymology III*, 447—454. — LOWRY, ●. H., N. J. ROSENBOUGH, A. L. FARR, R. J. RANDALL (1951): Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265—275. — MATTERNE, M. (1968): Kulturversuche zur Primärproduktion mariner Phytoplanktonorganismen. Dissertation an der Universität Kiel, 88 Seiten. — NALEWAJKO, C. (1966): Photosynthesis and excretion in various planktonic algae. *Limnol. Oceanol.*, **11**, 1—10. — PROVASOLI, L., J. J. A. McLAUGHLIN (1963): Limited heterotrophy of some photosynthetic dinoflagellates. *Symposium on marine microbiol.*, 105—113. — SCOR-UNESCO (1966): Report of SCOR-UNESCO Working Group 17, Determination of photosynthetic pigments. *UNESCO Monogr. Oceanogr. Meth.*, **I**, 9—18. — STRICKLAND, J. D. H., T. R. PARSONS (1965): A manual of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, **125**, 2nd ed., 203 Seiten. — UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitt. int. Verein. theor. angew. Limn.*, **9**, 1—38. — WANKA, F. (1962): Die Bestimmung der Nucleinsäuren in Chlorella-Kulturen. *Planta*, **58**, 594—609. — YENTSCH, C. S. (1965): The relationship between chlorophyll and photosynthetic carbon production with reference to the measurement of decomposition products of chloroplastic pigments. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **18** suppl., 323—346.