

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.

Aus dem Institut für Meereskunde an der Universität Kiel

Untersuchung über den Einfluß einiger Produktionsbiologischer Parameter auf die Sichttiefe im Meere

Von HARTMUTH SCHINKOWSKI

Zusammenfassung: Zur Untersuchung des Einflusses verschiedener produktionsbiologischer Parameter auf die Sichttiefe wurden an sechs Stationen der Kieler Bucht monatliche Sichttiefenmessungen vorgenommen und je nach deren Größe 1 bis 5 Schöpfproben gewonnen und zur Bestimmung folgender Größen verwendet: Das Sestonsgewicht wurde gemessen und der Detritusgehalt berechnet. Das Phytoplankton wurden mittels Chlorophyllbestimmung und durch Auszählung der Zellzahlen erfaßt. Mit der Biuretmethode wurde der Eiweißgehalt des Gesamtplanktons bestimmt. Zur Kontrolle wurden Licht- und Durchsichtigkeitsmessungen durchgeführt. 1966 ergab sich zusätzlich die Möglichkeit, in der Nordsee von Bord eines Feuerschiffes aus (P 8) die dortigen Verhältnisse im Februar, im Mai und im August zu untersuchen. Wie sich aus den Untersuchungen in der Ostsee zeigt, kann man auf Grund mehrmaliger Sichttiefenmessungen einzelne Stationen in einem bestimmten Gebiet statistisch sicher unterscheiden. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Sichttiefe an einem Ort können beträchtlich sein. Stationen, die im relativ freien Wasser außerhalb der Kieler Förde liegen, zeigen keinen statistisch gesicherten Unterschied. Die Sichttiefenbestimmungen in der Nordsee ergaben charakteristische Mittelwerte für die einzelnen Monate (Februar: 4,97 m; Mai: 8,27 m; August: 5,83 m). Den größten Einfluß auf die Sichttiefe übt der Sestongehalt aus. Da seine Beschaffenheit sehr variabel ist, beeinflußt eine bestimmte Sestonmenge die Sichttiefe verschieden stark. Mittels der Sestonwerte ließen sich die Stationen der Ostsee schlechter trennen als auf Grund der Sichttiefe. Bei einem Vergleich der Veränderung von Sichttiefe und Sestongehalt ergab sich für die gesamte Untersuchungsperiode in 70% der Fälle eine negative Korrelation zwischen ihnen. Die Probenahme auf P 8 zeigt, daß die negative Korrelation zwischen Sichttiefe und Sestongehalt beträchtlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist, was auf die verschiedene Zusammensetzung des Sestons zurückzuführen ist. So ergab sich für den Februar in 83,3% der Fälle eine negative Korrelation, während sie im Mai nur in 56,2% und im August in 54,5% der Fälle bestätigt werden konnte. Ähnliche Verhältnisse wie für den Sestongehalt wurden auch für das Verhalten des Detritusgehaltes gefunden. In 69,8% der Fälle wurde während der gesamten Untersuchungsperiode für die Ostseestation eine negative Korrelation angetroffen. Die Verhältnisse auf P 8 zeigten, daß der Detritusgehalt jahreszeitlich bedingt eine verschieden stark ausgeprägte Korrelation zur Sichttiefe aufweist. So fand sich im Februar in 83,3% der Fälle eine negative Korrelation, während im Mai nur 43,7% der Fälle eine negative Korrelation aufwies. Im August stieg der Prozentsatz wieder auf 54,5%. Die Beeinflussung der Sichttiefe durch das Gesamtplankton, gemessen mittels des Eiweißgehaltes, variierte stark. Die Ostseestationen ergaben für die gesamte Untersuchungsperiode in 46,6% der Fälle eine Bestätigung der negativen Korrelation. Die Probenahme auf P 8 ergab für den Februar in 66,6% der Fälle eine negative Korrelation, im Mai stieg sie auf 75,0% und fiel im August auf 40,9%. Für die Stationen in der Ostsee zeigte sich außerdem, daß eine signifikante Verschiedenheit der Stationen in bezug auf den Eiweißgehalt vorhanden ist. In 57,7% der untersuchten Fälle ließ sich eine negative Korrelation zwischen Sichttiefe und Chlorophyllgehalt für die Stationen der Ostsee und für den gesamten Untersuchungszeitraum feststellen. Im Februar 1966 fand sich in der Nordsee bei P 8 nur in 25,0% der Fälle eine negative Korrelation. Im Mai stieg sie auf 56,2% und fiel im August wieder auf 50,0% der untersuchten Fälle. Trotz der Verschiedenartigkeit der Phytoplanktonformen fand sich für die gesamte Untersuchungsperiode in der Ostsee in 51,1% der untersuchten Fälle eine negative Korrelation zwischen Gesamtzellzahl und Sichttiefe. Eine Bestätigung der negativen Korrelation erfolgte für P 8 im Februar in 75,0% der Fälle, im Mai waren es 50,0%, im August 31,8%. Die Beleuchtungsmessungen an den Ostseestationen ergaben, daß im Mittel 9,40% des Oberflächenlichtes bis zur Sichttiefe dringt. Das sind, im Vergleich zum Feuerschiff P 8, geringe Werte. Dort fanden sich für den Februar 24,37% des Oberflächenlichtes in der Sichttiefe. Im Mai waren es 18,80%, im August 18,78%. Für das Zusammenfallen einer Sichttiefenzunahme (— abnahme) mit einer Zunahme (— abnahme) der Beleuchtungsintensität ergaben sich folgende Werte: Februar: 58,3% aller Fälle. Mai: In 50,0% aller Fälle. August: In 31,8% aller Fälle.

An investigation into the influence of several parameters concerning biological production, on the depth of visibility in the sea (Summary): To investigate the influence of different factors on the secchidepth monthly measurements of the secchidepth were carried out at 6 stations in the Kiel Bight. According to the range of the secchidepth 1—5 samples with the waterbottle were taken to determine the following parameters: The dry weight of suspended matter (seston) was measured and the content of detritus was calculated. Measuring the amount of chlorophyll-a per litre and enumerating the number of cells per litre the standing stock of phytoplankton was estimated. The biuret-reaction (KREY 1952) was used for ascertaining the amount of protein of the plankton. As control, measurement of vertical and horizontal extinction coefficients were carried out. In 1966 the additional possibility was given in February, May and August to study the conditions in the Northsea, on board of the light-vessel P 8. According to the investigation in the Kiel Bight it is possible to distinguish the stations statistically between each others by means of repeated measuring secchidepth. The seasonal variation of secchidepth at a station may be considerable. In the Northsea the daily measurements of the secchidepth are showing characteristic averages for each month (February: 4,97 m, May: 8,27 m, August: 5,83 m). The content of seston has the greatest effect of all parameters on the secchidepth. According to the variability of its optical properties the same amount of seston has a smaller or greater effect on the secchidepth. To discern the 6 stations in the Kiel Bight the amount of seston was less useful compared with the secchidepth. Comparing the variation of secchidepth with the amount of seston a negative correlation was found in 70% of all cases during the time of investigation. The samples of the Northsea are showing considerable seasonal variations caused by the different composition of seston. A negative correlation was found in 83,3% of the samples in February, in 56,2% in May and in 54,5% in August. Similar proportions were found for the amount of detritus compared with the secchidepth: In 69,8% the samples taken in the Baltic are showing a negative correlation. In the North Sea, according to the season the negative correlation between detritus and secchidepth was more or less distinct. So the negative correlation was found in February in 83,3% of all samples, in May only in 43,7% and in August in 54,5%. As measured by the biuret-reaction the influence of the amount of plankton on the secchidepth was of great variability. The stations of Kiel Bight demonstrate that only in 46,6% of examined samples a negative correlation existed. The samples taken at the station P 8 in the Northsea showed a negative correlation in 66,6% in February, increasing to 75,0% in May and decreasing to 40,9% in August. In Baltic waters a negative correlation existed in 57,7% of all samples between the secchidepth and content of chlorophyll a. In the Northsea a negative correlation was found in February in 25,0% of the samples, increasing to 56,2% in May and decreasing to 50,0% in August. In the Baltic Sea, in spite of the various forms of phytoplankton a negative correlation between secchidepth and total number of cells was found in 51,1% of the samples. In the Northsea this negative correlation was found as follows: 75,0% in February, 50,0% in May and 31,8% in August. At the stations of the Baltic Sea the measurements of illumination are showing an average of 9,4% of surface illumination. In comparison with the Northsea the value is very small. In the Northsea, the values of illumination in the secchidepth reached 24,37% of surface illumination in February, 18,80% in May and 18,78% in August. The percentage of coincidence of increasing (decreasing) secchidepth with increasing (decreasing) illumination was found as follows: February: 58,3%, May: 50,0%, August: 31,8%.

Einleitung

Die Beschäftigung mit optischen Fragen fing in der Meereskunde schon relativ früh an. Als einer der ersten hat SECCHI mit Untersuchungen über die Transparenz des Meerwassers begonnen. Einen Maßstab für die Transparenz gab ihm die Sichttiefe, d. h. diejenige Tiefe, in der eine weiße Scheibe gerade dem Auge entschwindet. Im Laufe späterer Untersuchungen wurde deutlich, daß die Größe der Sichttiefe von einer Vielzahl von Faktoren abhängig ist, die zum Teil mehr oder weniger konstant sind, zum Teil innerhalb weiter Grenzen variieren.

In reinem, d. h. von allen gelösten oder suspendierten Substanzen befreitem Wasser kommen nur dessen physikalische Eigenschaften zur Wirkung. Das bedeutet, daß die Sichttiefe nur von der Intensität der einfallenden Strahlung, von der Absorption und der Streuung des Lichtes an den Wassermolekülen und von Grenzflächenerscheinungen (Beschaffenheit der Wasseroberfläche) abhängt. Bei bewegter Wasseroberfläche tritt eine stärkere Reflexion der einfallenden Strahlung auf, insbesondere dann, wenn durch Seegang Luftblasen ins Wasser gerissen werden. (ATKINS 1945, ATKINS & CLARKE 1937,

ATKINS & ELLISON 1947, ATKINS & POOLE 1952, 1954, BIRGE & JUDAY 1929, CLARKE 1933, 1936b, 1937, 1938, CLARKE & POWELL 1936, CLARKE & JAMES 1939, HULBURT 1945, JERLOV 1947a, LEGRAND 1939, LENOBLE 1956, 1957, NAN'NITI 1953, NEIBURGER 1948, POOLE 1938, TAKENOUTI 1940).

Im Normalfall, wie wir ihn im freien Meer vorfinden, spielen andere Faktoren eine bei weitem größere Rolle. Die Sichttiefe wird hier einerseits durch die gelösten anorganischen und organischen Substanzen, andererseits durch partikuläre anorganische und organische Substanzen bestimmt. Der Wirkungsgrad der einzelnen Faktoren ist nie gleich stark. Er wird einmal durch deren optische Eigenschaften bestimmt, d. h. es ist von Bedeutung, ob Streuung oder Absorption überwiegt und in welchem Wellenlängenbereich eine optische Aktivität besteht. Zum anderen hängt der Wirkungsgrad von der jeweils vorhandenen Konzentration ab.

Die gelöste anorganische Substanz hat einen sehr geringen Einfluß auf die Transparenz eines Gewässers und damit auf die Sichttiefe. LENOBLE (1956, 1957) stellt fest, daß die Absorption, hervorgerufen durch Anionen und Kationen im Meer gelöster Salze, bei Wellenlängen über 340 nm nicht signifikant ist. Für praktische Zwecke ist die durch gelöste anorganische Substanz hervorgerufene Extinktion zu vernachlässigen. Die bedeutendste Ursache für die Absorption des Lichtes durch gelöste organische Substanz stellt der „Gelbstoff“ dar, der in größerer oder geringerer Konzentration überall im Meer vorhanden ist. In eigenen Untersuchungen konnte zwar eine Änderung des Gelbstoffgehaltes örtlich und zeitlich festgestellt werden, es bestand jedoch kein erkennbarer Zusammenhang mit entsprechenden Sichttiefenänderungen.

Der Faktor „partikuläre anorganische Substanz“ umfaßt alle mineralischen Schwebstoffe. Es sind vor allem winzige Ton- und Sandpartikel, die in der Umgebung von Flußmündungen, in Gebieten mit Gezeiteneinfluß und in Gebieten geringer Wassertiefe eine große Rolle spielen. Partikel unter 1μ haben eine große extingierende Wirkung auf Wellenlängen unter 350 nm. Unter den Begriff „partikuläre organische Substanz“ fallen einerseits Phyto- und Zooplankton (lebend), andererseits der Detritus (tot). Die partikuläre organische Substanz ist neben der partikulären anorganischen Substanz der wichtigste Faktor in bezug auf die Extinktion des Lichtes im Meer. (FUKUDA 1960, GRAHAM 1966, HART 1962, JERLOV 1947b, 1950, 1951, 1953, 1955, JONES & WILLS 1956, JORGENSEN & UTTERBACK 1939, KLEIN 1952, KREY 1952b, OTTO 1966, POSTMA 1961.) Etwas Näheres über den Einfluß der partikulären, insbesondere der partikulären organischen Substanz zu erfahren, war das Hauptziel dieser Untersuchung.

Für die Anregung zu dieser Arbeit, die stete Förderung und vielseitige Hilfe danke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. J. Krey, sehr herzlich. Mein Dank gilt ferner Kapitän und Besatzung des F. K. „Hermann Wattenberg“, des F. F. S. „Anton Dohrn“ sowie des „Feuerschiffes P 8“. Die Fraunhofer-Gesellschaft ermöglichte die Durchführung vorliegender Untersuchung durch Geräte- und Sachbeihilfen.

Material und Methoden

Das zu vorliegender Untersuchung verwendete Material stammt zum Teil aus der Ostsee, zum Teil aus der Nordsee. Die Proben in der Ostsee wurden in monatlichen Ausfahrten an folgenden Stationen gewonnen: In der Schwentinemündung (S; 8 m tief), beim Leuchtturm Friedrichsort (LF; 14 m tief), bei Tonne C (TC; 17 m tief), Boknis Eck (BE; 27 m tief), Stoller Grund (SG; 13 m tief) und beim Feuerschiff Kiel (FK; 20 m tief). Im Februar, Mai und August 1966 wurden auf dem Feuerschiff P 8 in der Nordsee bei 34 m Wassertiefe täglich Messungen durchgeführt. Neben der Sichttiefenbestimmung wurden in beiden Gebieten folgende Daten gewonnen: Sestonengehalt,

Eiweißgehalt (als Albuminäquivalente), Chlorophyllgehalt und Zellzahlen/l. Der Detritusgehalt wurde aus Seston- und Eiweißwerten ermittelt. Weiterhin wurden Lichtmessungen und an einigen Stellen Durchsichtigkeitsmessungen vorgenommen.

Zur Sichttiefenbestimmung wurde eine weiße Plasticscheibe von 50 cm Durchmesser benutzt. Nach Möglichkeit wurde an jeder Station eine Zweit- und Drittbestimmung der Sichttiefe vorgenommen, die in der Regel nie mehr als ± 10 cm vom ersten Ergebnis abwich. Um Verfälschungen der Ergebnisse durch Oberflächenreflexion zu vermeiden, wurden die Messungen nach Möglichkeit auf der Schattenseite des Schiffes durchgeführt. Zwei Fehlerquellen beeinträchtigen die Zuverlässigkeit der Sichttiefenmessung mittels der Secchischeibe: Der subjektive Fehler (verschiedene Beobachter erzielen an einem gegebenen Ort voneinander abweichende Ergebnisse), der mit Abweichungen von ± 10 cm verhältnismäßig gering ist, und der verhältnismäßig große, durch das Unterlicht bedingte Fehler (durch stärkeres Unterlicht wird der Kontrast Sichtscheibe/Wasser vermindert, die Sichttiefe erscheint geringer).

Die Lichtmessungen wurden mit Hilfe von Photoelementen (Sperrschichtphotozellen S 60 der Fa. Lange, Berlin) durchgeführt. Ihre spektrale Empfindlichkeit entspricht der mittleren Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges. Als Anzeigergerät diente ein in Lux geeichtes Mikroampèremeter, wahlweise mit einem Bereich von 0—100 oder von 0—1000 Lux. Bei einer Lichtintensität über 1000 Lux mußten DämpfungsfILTER vor den Photoelementen angebracht werden (Platinopal- oder Neutralglasfilter). Ungenauigkeiten bei der Ablesung der Luxwerte traten aus zwei Gründen auf: Das Anzeigergerät war nicht gedämpft und infolgedessen gegen Erschütterungen empfindlich (Ablesegenauigkeit bei stärkerem Seegang: $\pm 3\%$). Die zweite Ungenauigkeit ergab sich aus der Bewegung des Schiffskörpers bei Seegang: Die Meßtiefe veränderte sich fortwährend und schnell in bezug auf die Wasseroberfläche, wodurch die Photoströme ab- oder zunahmen und den Zeiger des Luxmeters bis zu maximal 12 Teilstrichen schwanken ließen. In diesen Fällen wurde ein Mittelwert genommen. Über Theorie und Praxis von Lichtmessungen geben u. a. JOSEPH (1946, 1949) und ATKINS & POOLE (1929, 1930) Auskunft.

Auf allen Stationen wurden mit einem 5 l-Schöpfer die zur Untersuchung benötigten Wasserproben gewonnen. Die tiefste Probe entstammt jeweils aus der Tiefe, die zuvor als Sichttiefe bestimmt worden war. Die Strecke Sichttiefe Wasseroberfläche wurde weiter unterteilt, so daß je nach deren Größe zwischen 1 und 9 Proben in möglichst gleichem Abstand voneinander lagen. Für die Bestimmung von Seston, Eiweiß und Chlorophyll wurden die einzelnen Komponenten durch Vakuumfiltration von 0,25 bis 2,0 l Probenwasser auf Papierfilter (Schleicher und Schüll Nr. 575, Porenweite ca. $1,5 \mu$) angereichert und durch Trocknen bei ca. 60°C fixiert. Die Sestonbestimmung erfolgte durch Wägung des Filters vor und nach der Filtration, wobei eine Genauigkeit von $\pm 0,1 \text{ mg/l}$ erreicht werden kann (KREY 1950). Zur Ausschaltung des Einflusses wechselnder Luftfeuchtigkeit wurden laufend Kontrollmessungen an unbenutzten Filtern vorgenommen. Der Eiweißgehalt auf den Filtern ausgedrückt als Albuminäquivalente wurde nach der von KREY, BANSE und HAGMEIER (1957) erarbeiteten Methode bestimmt. Die kolorimetrischen Messungen erfolgten im Elko II (Zeiss) mit einer Genauigkeit von $\pm 15 \mu\text{g/l}$. Zur Bestimmung des Chlorophyllgehaltes wurde das angereicherte Phytoplankton ohne vorherige Trocknung in Methanol überführt und nach der Methode von KREY (1939) weiterverarbeitet. Auch hier erfolgte die kolorimetrische Messung im Elko II mit dem Filter I 66,2 (Chlorophyll a). Die Genauigkeit der Methode liegt bei $\pm 0,3 \mu\text{g/l}$. Zur Fixierung des für die Zählung vorgesehenen Materials wurde anfangs Lugolsche Lösung verwendet, später wurde stattdessen mit Formalin fixiert, da sich darin manche Formen besser erhielten. Von den fixierten Seewasserproben wurden

10—50 ml nach der Methode von UTERMÖHL (1958) bei Vergrößerungen zwischen 20-fach und 320-fach ausgezählt. Bei LUND et al. (1958) und UEHLINGER (1964) findet man Auskunft über die Zählmethode und die statistische Behandlung der Ergebnisse.

Ergebnisse

1. Ostsee

a) Sichttiefenverhältnisse

Betrachten wir zunächst den Bereich, in dem sich die Sichttiefen während der Untersuchungsperiode bewegten, so ergibt sich für die einzelnen Stationen folgendes Bild:

Station	Minimale ST (m)	Maximale ST (m)	Mittlere ST (m)
S	0,6	5,3	2,44
LF	3,2	7,0	4,49
TC	3,4	10,0	6,41
BE	5,0	11,0	7,74
SG	5,1	10,2	7,85
FK	4,9	11,2	7,68

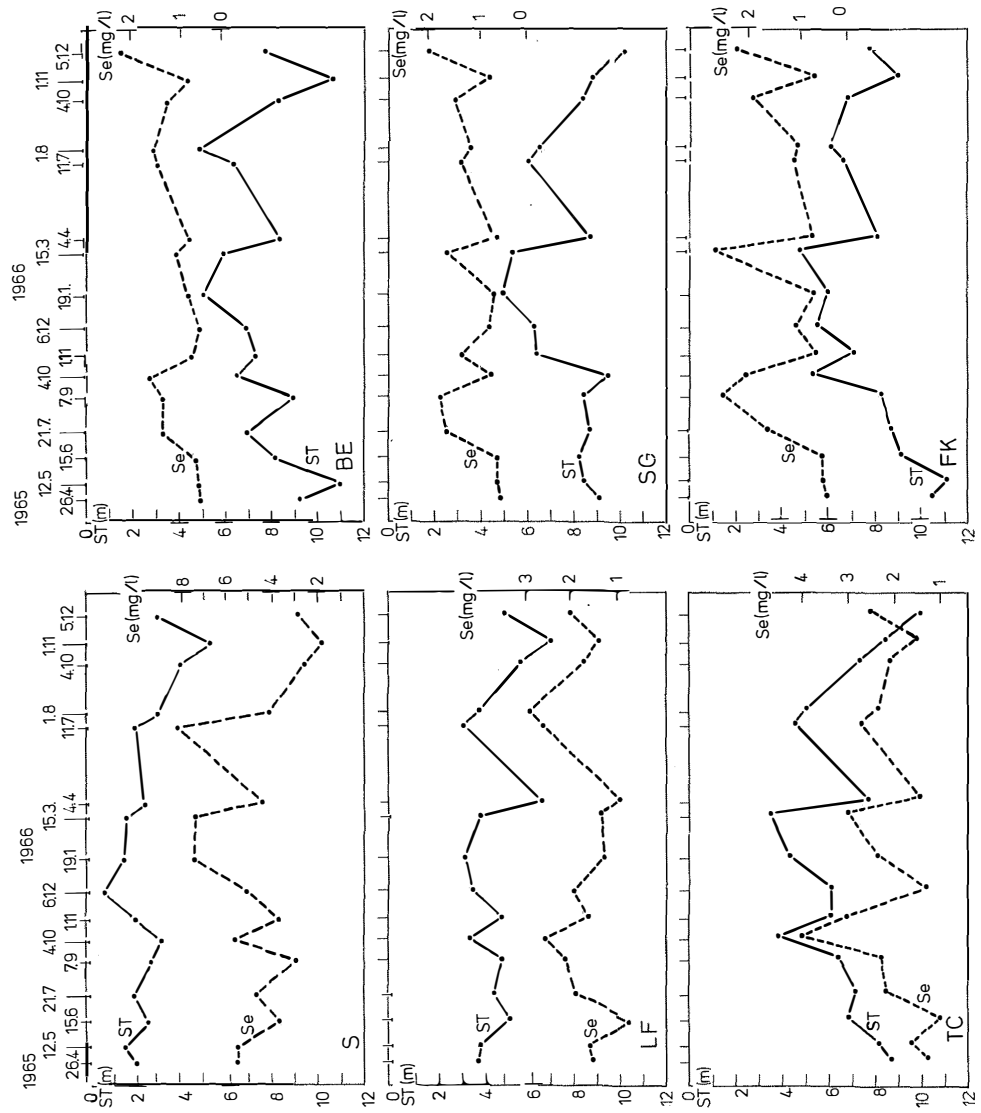
Die Standardabweichung der mittleren Sichttiefe beträgt für die Station S $\pm 1,07$ m, für Station LF $\pm 1,12$ m, für Station SG $\pm 1,50$ m, für Station BE $\pm 1,73$ m, für Station FK $\pm 1,77$ m und für Station TC $\pm 1,83$ m. Man kann vermuten, daß die geringen mittleren Sichttiefen der Stationen S und LF, verbunden mit den kleineren Standardabweichungen, auf die etwas konstanteren Verhältnisse der eutrophierten Kieler Förde zurückzuführen sind. Außerdem spielt die Landnähe eine gewisse Rolle — beide Stationen liegen relativ dicht am Ufer. Station TC mit einer mittleren Sichttiefe von 6,41 m und der größten Standardabweichung wäre dann als Übergangsgebiet zu den Stationen im freieren Wasser anzusehen. Die Stationen BE, SG und FK zeigen nämlich bei größerer mittlerer Sichttiefe wieder eine etwas geringere Standardabweichung.

Versucht man mittels einer Varianzanalyse zu entscheiden, ob sich die einzelnen Stationen aufgrund ihrer Sichttiefen signifikant voneinander unterscheiden, so kommt man zu folgendem Ergebnis: Zwischen den drei Stationen außerhalb der Kieler Förde (BE, SG, FK) besteht kein signifikanter Unterschied in der Sichttiefe. Die Stationen TC und FK weisen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Sichttiefe auf, die übrigen sind signifikant voneinander verschieden. Das bedeutet also, daß nicht alle sechs Stationen durch eine eigene mittlere Sichttiefe charakterisiert werden können. Es ergibt sich eine Einteilung in vier Sichttiefengruppen:

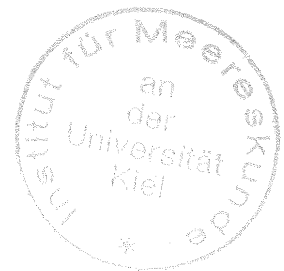
1. Sichttiefengruppe S mit der mittleren Sichttiefe von 2,44 m.
2. Sichttiefengruppe LF mit der mittleren Sichttiefe von 4,49 m.
3. Sichttiefengruppe TC mit der mittleren Sichttiefe von 6,41 m.

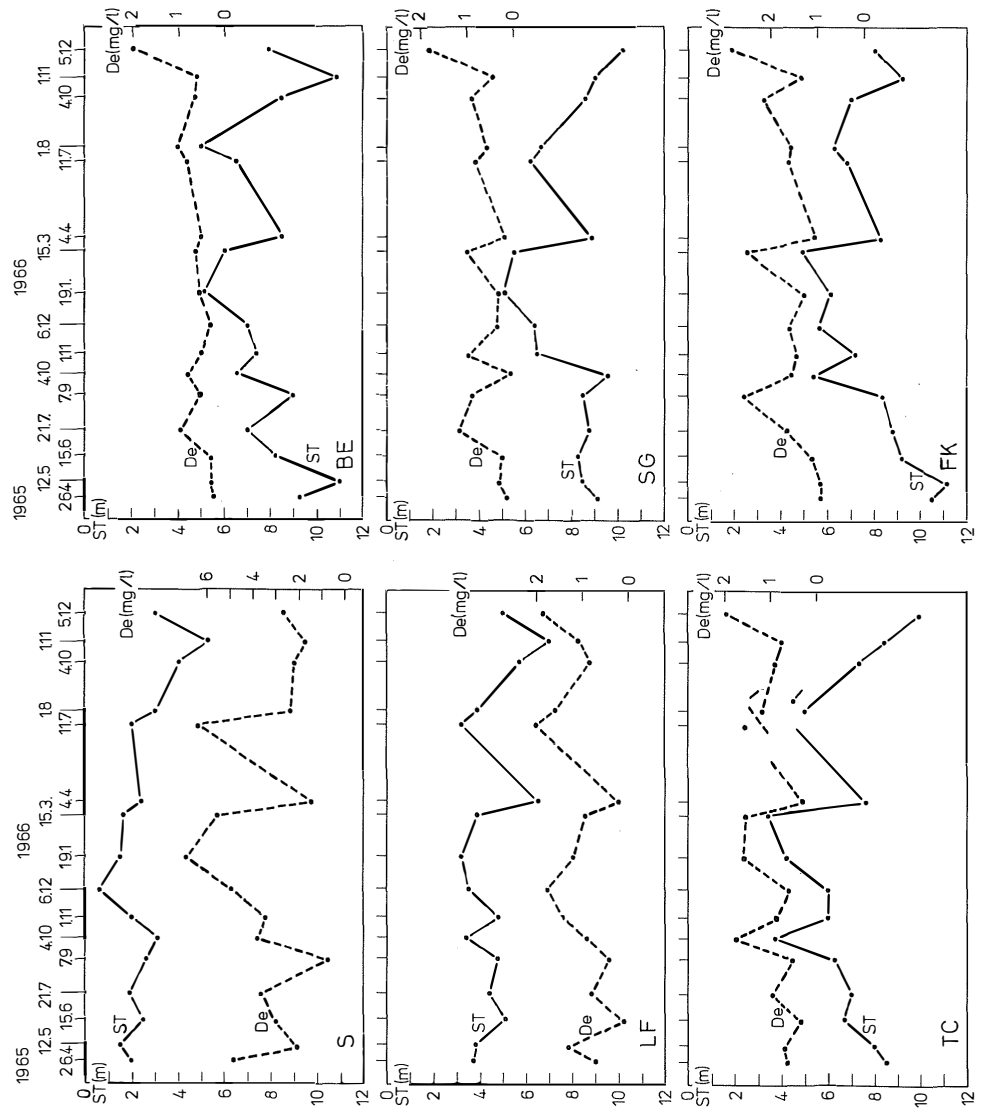
Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

Abb. 1: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Seston Gehalt (Se) in mg/l für die Stationen S, LF, TC, BE, SG, FK.



Tafel 1 (zu H. Schinkowski)





Tafel 2 (zu H. Schinkowski)

Die Tatsache, daß die Sichttiefe von TC und FK nicht signifikant verschieden sind, kann als weiteres Indiz dafür gewertet werden, daß TC einen Übergang von einem Gebiet niederer zu einem Gebiet höherer Sichttiefen darstellt.

4. Sichttiefengruppe BE, SG, FK mit der mittleren Sichttiefe von 7,75 m.

b) Sichttiefe und Sestongehalt

Die Verteilung des Sestons in der Schicht, deren Mächtigkeit durch die Sichttiefe festgelegt wurde, ist sehr ungleichmäßig und weist von Monat zu Monat wenig Ähnlichkeit auf. Allgemeine Grundzüge sind jedoch erkennbar. Die Menge des Seston pro Liter Seewasser nimmt von „innen nach außen“ ab, d. h. die Stationen innerhalb der Kieler Förde weisen eine wesentlich höhere Sestonzkonzentration auf als die Stationen im freien Wasser außerhalb der Kieler Förde. Ein Extremfall ist Station S, wo der Sestongehalt — bedingt durch den Zufluß der Schwentine — bis zu 9,6 mg/l ansteigen kann. Von Station S zu Station LF erfolgt in der Regel ein starker Abfall des Sestongewichtes, ein weiterer, schwächerer Abfall besteht im allgemeinen zwischen den Stationen LF und TC. Die Stationen BE, SG und FK sind auf den ersten Blick nicht in eine Reihenfolge zu bringen, da ihr Sestongewicht zu sehr streut und die drei Stationen gleichartig erscheinen läßt. Eine Varianzanalyse ergab, daß in bezug auf den Sestongehalt die Station S von allen übrigen Stationen signifikant verschieden ist. Die Stationen LF und TC sind untereinander und von der Station FK nicht signifikant verschieden, jedoch von allen übrigen. Die Stationen BE, SG und FK unterscheiden sich nicht signifikant.

Um eine Verknüpfung der Sichttiefe mit dem Sestongehalt vornehmen zu können, muß man zur Betrachtung von Mittelwerten übergehen, da die für eine bestimmte Sichttiefe ermittelten Sestonwerte stark streuen und als Einzelwerte wenig Aussagekraft haben. Den Verlauf der Sichttiefe an den sechs Stationen zusammen mit dem mittleren Sestongehalt während der Untersuchungsperiode veranschaulicht Abb. 1.

Vergleicht man die Richtungstendenzen (zunehmend oder abnehmend) der Sichttiefe und des Sestongehaltes zwischen den einzelnen Ausfahrten, so ergibt sich in 70% aller Fälle, daß die Sichttiefenveränderung mit einer Veränderung des Sestongehaltes korreliert ist.

Die Korrelation von Sichttiefe und Sestongehalt ergibt eine für die betreffende Station typische Kennlinie, die Art und Umfang der Sichttiefenveränderung in Zusammenhang mit den Veränderungen des Sestongehaltes beschreibt. Für die Stationen außerhalb der Kieler Förde wurde eine gemeinsame Kennlinie BSF berechnet, da sie nicht signifikant voneinander verschieden sind. Im einzelnen lauten die Kennlinien, wobei y der Sichttiefe, x dem Sestongehalt entspricht, für die gesamte Untersuchungsperiode:

$$\begin{aligned} S & y = -0,622 x + 5,455 \\ LF & y = -0,724 x + 5,797 \\ TC & y = -1,357 x + 8,759 \\ BSF & y = -0,897 x + 8,833 \end{aligned}$$

Die Steilheit des Anstieges der Kennlinie (= der Faktor vor x) ist ein Maß für die Wirkung des Sestongehaltes, d. h. bei großer Steilheit wird die Zu- oder Abnahme des Sestongehaltes um einen bestimmten Betrag eine größere Ab- oder Zunahme der Sichttiefe bewirken als bei geringer Steilheit. Der Anstieg wird von Station S über die Sta-

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Abb. 3: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Detritusgehalt (De) in mg/l für die Stationen S, LF, TC, BE, SG, FK.

tionen LF, BSF und TC immer steiler, oder anders ausgedrückt, die optische Wirkung einer Gewichtseinheit des Sestons nimmt in dieser Reihenfolge laufend zu (s. Abb. 2, Tafel 7). Stellt man sich die Frage, wieviel Stationen sich pro Ausfahrt in bezug auf eine Änderung des Sestongehaltes gleichsinnig verhalten, so kommt man für die gesamte Untersuchungsperiode zu einem Mittelwert von 4,79. Das heißt, es verhalten sich im Schnitt zwischen 4 und 5 der 6 Stationen gleichsinnig.

c) Sichttiefe und Detritusgehalt

Eine Darstellung von Sichttiefe und den Mittelwerten des Detritusgehaltes gibt Abb. 3. Vergleicht man nun diese Mittelwerte der einzelnen Stationen mit der jeweiligen Sichttiefe, so zeigt sich, daß in 69,8% der untersuchten Fälle die Konzentration der Detrituspartikel im umgekehrten Verhältnis zur Sichttiefe vergrößert oder verkleinert, d. h. es besteht eine negative Korrelation zwischen beiden.

Der Vergleich der Mittelwerte (Mittelwert für die gesamte Untersuchungsperiode) von Sichttiefe und Detritusgehalt zeigt für alle 6 Stationen eine entgegengesetzte Tendenz im Kurvenverlauf. Die mittlere Sichttiefe nimmt von den Stationen der Innenförde zu den Stationen der Außenförde um etwa den gleichen Betrag zu. Der mittlere Detritusgehalt zeigt jedoch einen sehr großen Abfall zwischen den Stationen S und LF, während der Unterschied zwischen den anderen Stationen weniger beträchtlich ist. Der hohe Detritusanteil an der Station S ist durch den Einfluß der Schwentine bedingt.

Die Abhängigkeit der Sichttiefe vom Detritusgehalt läßt sich für die einzelnen Stationen mittels einer Regressionsgeraden veranschaulichen. Betrachtet man die gesamte Untersuchungsperiode und zieht man zum Vergleich mit dem Sestongehalt die Stationen BE, SG und FK zu BSF zusammen, so ergeben sich folgende Gleichungen: ($y \hat{=}$ der Sichttiefe, $x \hat{=}$ dem Detritusgehalt)

$$\begin{array}{ll} \text{S} & y = -0,332 x + 3,600 \\ \text{LF} & y = -0,844 x + 5,411 \\ \text{TC} & y = -0,791 x + 8,349 \end{array}$$

Die Regressionsgeraden verhalten sich ähnlich wie diejenigen für den Sestongehalt, ihr Ausdehnungsbereich ist jedoch zu geringeren Detrituswerten hin verschoben.

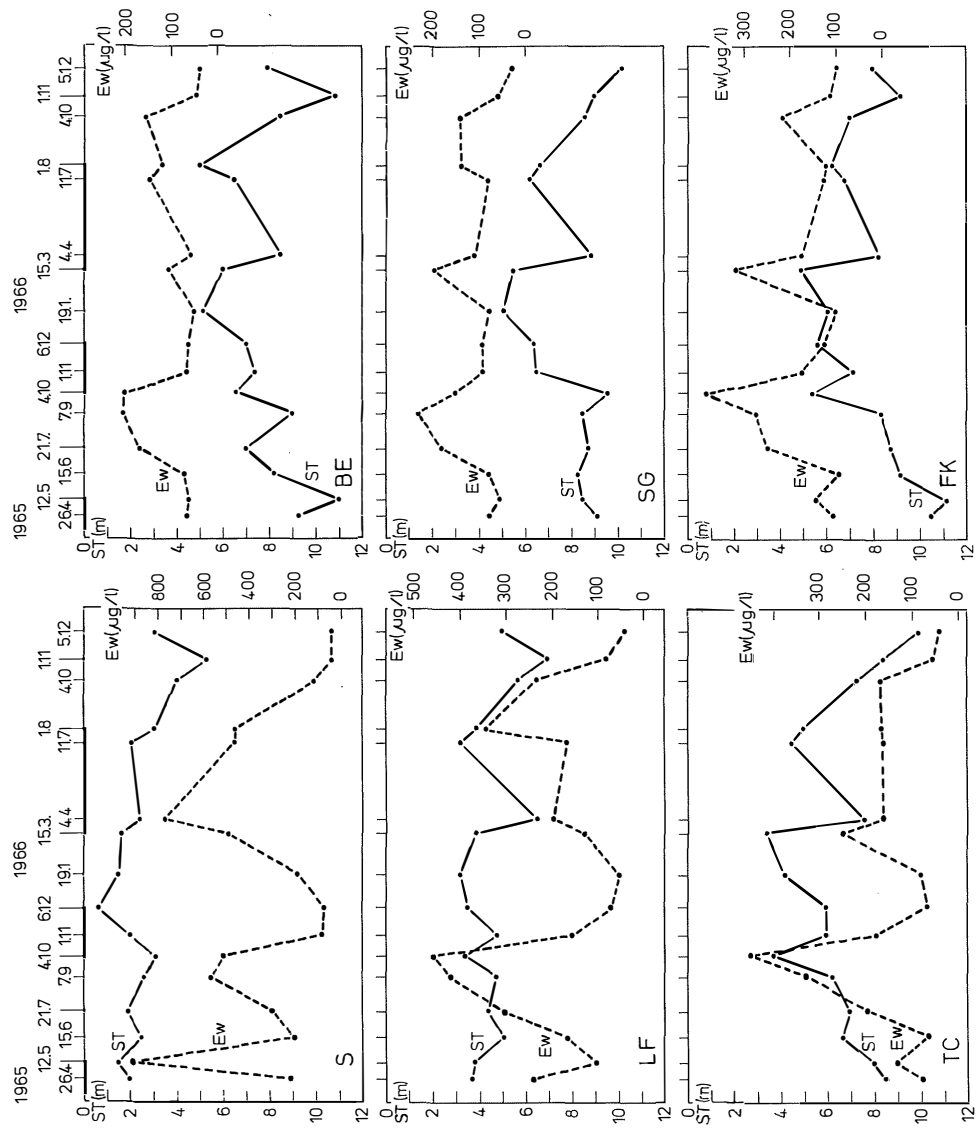
Statistische Untersuchungen ergaben, daß sich allein Station S von allen übrigen signifikant unterscheidet. Die restlichen Stationen unterscheiden sich zwar nicht signifikant voneinander, weisen jedoch deutliche graduelle Unterschiede auf. Die Beziehungen zwischen der Sichttiefe und dem Detritusgehalt verhalten sich also mehr oder weniger gleichmäßig: Die eine Komponente des Sestons, der Detritusgehalt, variiert zwischen den Stationen während der Untersuchungsperiode weniger stark als der Sestongehalt selbst. Die stärker ausgeprägten Unterschiede im Sestongewicht müssen deshalb durch die 2. Komponente des Sestons, das Plankton, verursacht werden.

d) Sichttiefe und Eiweißgehalt

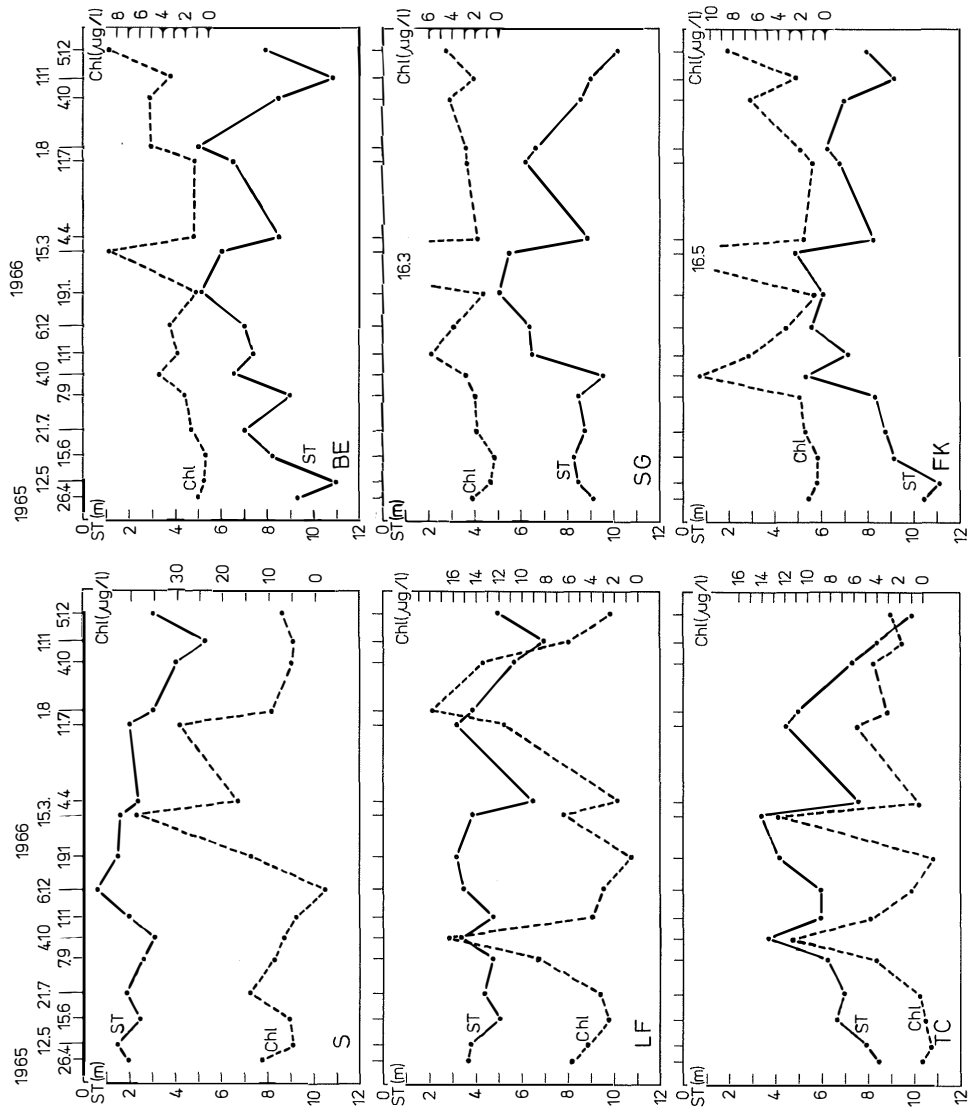
Der Betrachtung des Verhältnisses zwischen Eiweiß und Sichttiefe liegen ebenfalls Mittelwerte pro Station für alle Ausfahrten zugrunde. Hier zeigt sich, daß in 46,6% der Fälle der Eiweißgehalt eine negative Korrelation mit der Sichttiefe zeigt. Eine graphische Darstellung des Eiweißgehaltes und des Sichttiefenverlaufes ist in Abb. 4 gegeben.

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Abb. 4: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Eiweißgehalt (Ew) in $\mu\text{g/l}$ für die Stationen S, LF, TC, BE, SG, FK.



Tafel 3 (zu H. Schinkowski)



Tafel 4 (zu H. Schinkowski)

Der Verlauf der mittleren Sichttiefe und des mittleren Eiweißgehaltes, bezogen auf die gesamte Untersuchungsperiode, zeigt mit Ausnahme der Station SG gegensinniges Steigen und Fallen. Die Prüfung der Stationen auf signifikante Unterschiede ergibt ein etwas kompliziertes Bild. Es lassen sich nicht mehr einzelne Stationen signifikant unterscheiden, sondern es sind — mit Überlappungen — Komplexe von 2—3 Stationen. Die Frage danach, wieviel der 6 Stationen sich bei jeder Ausfahrt in bezug auf den Eiweißgehalt gleichsinnig verhalten, führt zu dem Ergebnis, daß im Mittel (über die gesamte Untersuchungsperiode) bei jeweils mehr als vier Stationen (genau: 4,62) eine gleichsinnige Zu- oder Abnahme des Eiweißgehaltes erfolgte.

e) Sichttiefe und Chlorophyllgehalt

Die Veränderungen der Sichttiefe und des mittleren Chlorophyllgehaltes sind auf Abb. 5 dargestellt. In 57,7% der Fälle besteht eine negative Korrelation zwischen Sichttiefe und Chlorophyllgehalt.

Vergleicht man die Tendenzen des Chlorophyllgehaltes von einer Ausfahrt zur anderen nach steigend oder fallend, so zeigt sich, daß im Mittel an über fünf Stationen (genau: 5,04) die Tendenz gleichsinnig verläuft. Eine statistische Untersuchung der Chlorophyllwerte ergibt, daß einzelne Stationen voneinander verschieden sind, daß aber keine Station von allen übrigen zugleich verschieden ist. Die Stationen BE, SG und FK sind untereinander nicht signifikant verschieden. Ein Vergleich der mittleren Sichttiefe der 6 Stationen mit dem mittleren Chlorophyllgehalt zeigt — wiederum mit Ausnahme der Station SG — einen entgegengesetzten Kurvenverlauf.

f) Sichttiefe und Gesamtzellzahl

Untersucht man die Tendenzen der Sichttiefe und der Gesamtzellzahl für die 6 Stationen von einer Ausfahrt zur anderen, so ergibt sich, daß in 51,1% der Fälle die Sichttiefe negativ mit der Gesamtzellzahl korreliert ist. Betrachtet man die Stationen einzeln, so ergibt sich eine gegenläufige Tendenz bei

Station S	in 6 von 15 Fällen (40%)
Station LF	in 6 von 15 Fällen (40%)
Station TC	in 10 von 15 Fällen (67%)
Station BE	in 9 von 15 Fällen (60%)
Station SG	in 5 von 15 Fällen (33%)
Station FK	in 10 von 15 Fällen (67%)



Ein Vergleich der Tendenzen der Gesamtzellzahl von einer Ausfahrt zur anderen zeigt, daß sich im Mittel über 4 Stationen (genau: 4,37) gleichsinnig (ansteigend oder abfallend) verhalten. Die mittlere Sichttiefe zusammen mit der mittleren Gesamtzellzahl für die gesamte Untersuchungsperiode läßt erkennen, daß ein gegensinniger Kurvenverlauf, wiederum mit Ausnahme der Station SG, vorhanden ist: Die Sichttiefe verhält sich invers zur Gesamtzellzahl.

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 4)

Abb. 5: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Chlorophyllgehalt (Chl) in $\mu\text{g/l}$ für die Stationen S, LF, TC, BE, SG, FK.

2. Feuerschiff P 8, Nordsee

a) Die Sichttiefenverhältnisse

Die Sichttiefenverhältnisse zeigen für jeden der drei Aufenthalte ein charakteristisches Bild. Im Februar schwankte die Sichttiefe innerhalb enger Grenzen (4,5—5,6 m), die mittlere Sichttiefe lag bei 4,97 m. Der Aufenthalt war gekennzeichnet durch das Vorherrschen starker Winde, die das Wasser in ständiger Durchmischung hielten. Im Gegensatz dazu waren die Sichttiefenschwankungen im Mai beträchtlich. Während dieser Zeit lag die minimale Sichttiefe bei 5,0 m und erreichte ihren Maximalwert mit 12,2 m. Die relativ hohen Sichttiefen beruhen einerseits auf einer völlig anderen Zusammensetzung des Sestons (Diatomeenblüte; wenig anorganische Partikel; weniger, aber größere Detrituspartikel als im Februar). Andererseits wurden sie gefördert durch Perioden geringer Windstärken, während derer das Plankton in tiefere Schichten absank. Die mittlere Sichttiefe betrug für die Untersuchungsperiode im Mai 8,27 m. Betrachtet man die Sichttiefenwerte getrennt für Messungen bei Hochwasser und bei Niedrigwasser, so ergibt sich für die bei Niedrigwasser genommenen Proben eine mittlere Sichttiefe von 8,00 m, für die bei Hochwasser genommenen eine solche von 8,46 m. Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant. Im August/September ist der Bereich der Sichttiefenschwankungen wieder kleiner: die minimale Sichttiefe lag bei 4,5 m, die maximale betrug 6,9 m. Die mittlere Sichttiefe — bezogen auf die gesamte Untersuchungsperiode — betrug 5,83 m. Die mittleren Sichttiefen für die Proben bei Hoch- und bei Niedrigwasser unterscheiden sich kaum (5,81 bzw. 5,85 m). Diese Werte ähneln den Februarwerten, die Beschaffenheit des Sestons zeigt jedoch erhebliche Unterschiede zum Februar.

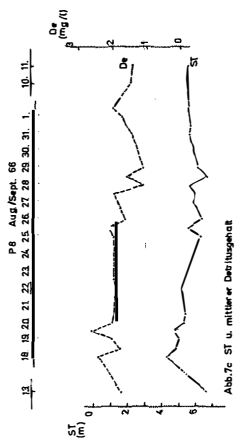
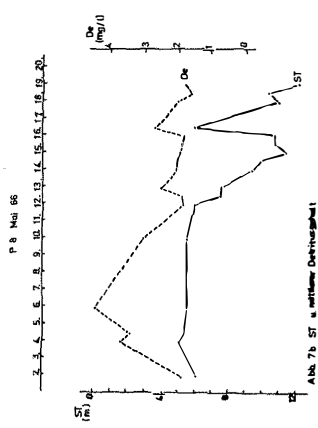
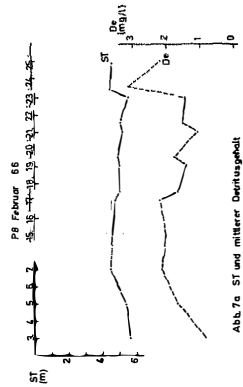
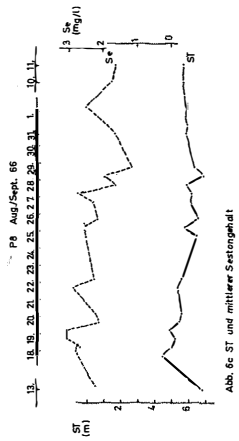
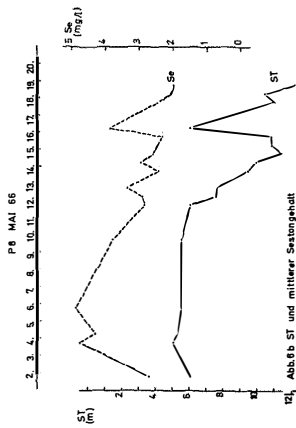
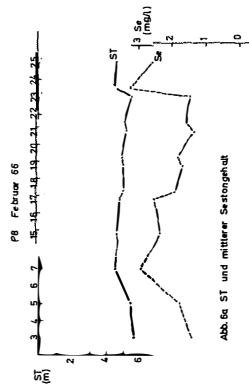
b) Sestongehalt

Die Sestonwerte der einzelnen Serien zeigen — außer für einige Serien im Mai — keine geordnete Verteilung. Um zu einer gewissen Übersicht zu kommen, wurden deshalb die Sestonwerte jeder zu einer Sichttiefenbestimmung gehörenden Probenserie gemittelt (Abb. 6 zeigt den Verlauf der Sichttiefe und des mittleren Sestongehaltes). Im Februar liegen die Einzelwerte zwischen 0,78 mg/l und 4,26 mg/l, der Mittelwert für die gesamte Untersuchungsperiode beträgt 2,12 mg/l. Die Mittelwerte für Hochwasser (2,24 mg/l) und für Niedrigwasser (1,98 mg/l) zeigen keinen statistisch gesicherten Unterschied. In 80% der untersuchten Fälle liegt eine inverse Beziehung zwischen Sichttiefe und Sestongehalt vor. Im Mai liegen die Sestonwerte der einzelnen Serien zwischen 0,88 mg/l und 6,42 mg/l bei einem Mittelwert von 3,11 mg/l für die gesamte Untersuchungsperiode. Die Mittelwerte für Hochwasser (3,09 mg/l) und für Niedrigwasser (3,14 mg/l) unterscheiden sich wenig. Vergleicht man die Beziehung zwischen Sichttiefe und Sestongehalt, so ergibt sich in 52,3% aller untersuchten Fälle eine negative Korrelation. Betrachtet man die Verhältnisse für Hoch- und Niedrigwasser getrennt, so zeigt sich eine deutliche Verschiedenheit: Bei Hochwasser ergab sich in nur 44,4% der Fälle eine negative Korrelation, bei Niedrigwasser dagegen war in 83,3% der Fälle eine negative Korrelation vorhanden, was durch den größeren Partikelgehalt des küstennäheren Wassers bedingt ist. Die Sestonwerte der einzelnen Serien im August/September

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

Abb. 6: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Sestongehalt (Se) in mg/l beim Feuerschiff P 8 im Februar, Mai und August/September 1966.

Abb. 7: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Detritusgehalt (De) in mg/l beim Feuerschiff P 8 im Februar, Mai und August/September 1966.



Tafel 5 (zu H. Schirrkowski)

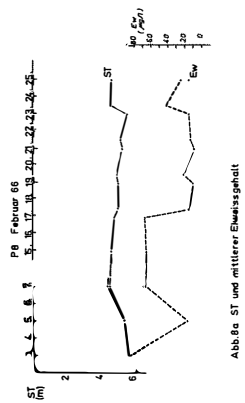


Abb. 8a ST und mittlerer Etwassergehalt

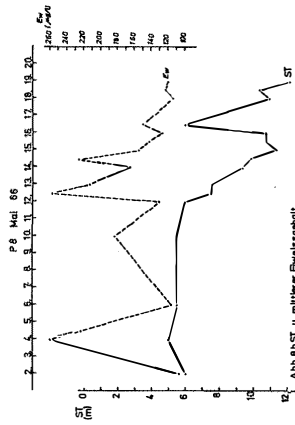


Abb. 8b ST u. mittlerer Etwassergehalt

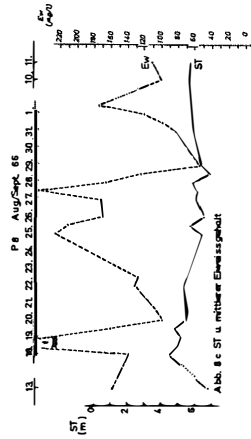


Abb. 8 c ST u. mittlerer Etwassergehalt

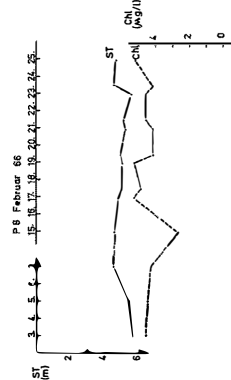


Abb. 8a ST und mittlerer Chlorophyllgehalt

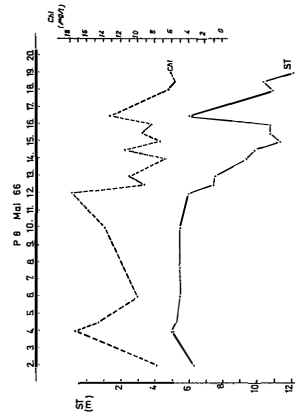


Abb. 8b ST u. mittlerer Chlorophyllgehalt

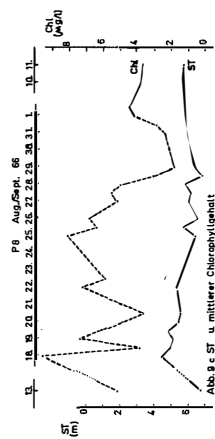


Abb. 8 c ST u. mittlerer Chlorophyllgehalt

schwanken zwischen 1,14 mg/l und 3,11 mg/l. Für die gesamte Untersuchungsperiode ergibt sich ein Sestonmittelwert von 2,27 mg/l. Der Unterschied der Sestonmittelwerte für Hochwasser (2,17 mg/l) und für Niedrigwasser (2,27 mg/l) ist statistisch nicht gesichert. Vergleicht man auch hier wieder die Änderungen der Sichttiefe in bezug auf die Veränderungen des Sestongehaltes, so zeigt sich, daß in 54,5% der untersuchten Fälle eine Sichttiefenveränderung mit einer Änderung des Sestongehaltes negativ korreliert ist. Vergleicht man die Serien getrennt nach Hochwasser und nach Niedrigwasser, so ergibt sich ein ähnliches Bild wie im Mai: Die bei Hochwasser genommenen Serien zeigen eine geringere negative Korrelation (in 54,5% der Fälle) als die Serien, die bei Niedrigwasser gefahren wurden (in 70,0% der Fälle), was wiederum auf eine qualitative Verschiedenheit des Sestons von Hochwasser und Niedrigwasser hinweist. Drückt man die Abhängigkeit der Sichttiefe vom Sestongehalt mittels einer Regressionsgeraden aus, so ergibt sich für

$$\begin{array}{ll} \text{Februar} \dots\dots\dots & \text{ST} = -0,534 \text{ Se} + 6,111 \\ \text{Mai} \dots\dots\dots & \text{ST} = -2,333 \text{ Se} + 15,548 \\ \text{August/September} \dots\dots & \text{ST} = -0,629 \text{ Se} + 7,261 \end{array}$$

c) Sichttiefe und Detritusgehalt

Abb. 7 gibt den Verlauf der Sichttiefe und der zugehörigen Detritusmittelwerte wieder. Im Februar schwanken die Werte für den Detritusgehalt zwischen 0,99 mg/l und 3,14 mg/l bei einem Mittelwert von 1,88 mg/l für die ganze Zeit. In 83,3% der untersuchten Fälle finden wir eine gegenläufige Tendenz zwischen der Sichttiefe und dem Detritusgehalt. Im Mai liegen die Werte für die einzelnen Proben zwischen 0,70 mg/l und 5,14 mg/l, bei einem Mittelwert von 2,38 mg/l für alle Proben, die im Mai genommen wurden. Vergleicht man die Tendenzen zwischen Sichttiefe und Detritusgehalt für die gesamte Untersuchungsperiode, so ergibt sich in 43,8% der Fälle eine inverse Beziehung. Betrachtet man Hochwasser und Niedrigwasser getrennt, findet man für ersteres in 44,4% der Fälle eine inverse Beziehung, für letzteres in 83,3% der Fälle. Ähnliche Zahlen finden wir für die Untersuchungen im August/September. Die Detrituswerte der einzelnen Proben liegen hier zwischen 0,46 mg/l und 3,16 mg/l, bei einem Detritusmittelwert von 1,64 mg/l für die gesamte Zeit. Vergleicht man auch hier die Tendenzen zwischen Sichttiefe und Detritusgehalt, so findet man für die gesamte Untersuchungsperiode in 54,5% der Fälle eine gegenläufige Tendenz. Betrachtet man Hochwasser und Niedrigwasser getrennt, bleibt für die Hochwasserwerte ein Prozentsatz von 54,5%, während bei Niedrigwasser 70,0% der Fälle eine inverse Tendenz aufweisen. Es zeigt sich also, daß der Detritusgehalt der landnäheren Wassermassen deutlich eine engere Korrelation mit der Sichttiefe aufweist als der Detritusgehalt der landferneren Wassermassen. Drückt man die Abhängigkeit der Sichttiefe vom Detritusgehalt mittels einer Regressionsgeraden aus, so ergibt sich für

$$\begin{array}{ll} \text{Februar} \dots\dots\dots & \text{ST} = -0,556 \text{ De} + 6,022 \\ \text{Mai} \dots\dots\dots & \text{ST} = -2,165 \text{ De} + 13,427 \\ \text{August/September} \dots\dots & \text{ST} = -0,885 \text{ De} + 7,291 \end{array}$$

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 6)

Abb. 8: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Eiweißgehalt (Ew) in $\mu\text{g/l}$ beim Feuerschiff P 8 im Februar, Mai und August/September 1966.

Abb. 9: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlerer Chlorophyllgehalt (Chl) in $\mu\text{g/l}$ beim Feuerschiff P 8 im Februar, Mai und August/September 1966.

d) Sichttiefe und Eiweißgehalt

Die Eiweißwerte im Februar sind — bedingt durch die geringe Entfaltung des Planktons — relativ niedrig. Sie bewegen sich zwischen $6 \mu\text{g/l}$ und $245 \mu\text{g/l}$ für die einzelnen Proben bei einem Mittelwert von $36 \mu\text{g/l}$ für die gesamte Untersuchungsperiode. (Abb. 8 zeigt den Verlauf der Sichttiefe und der jeweils zugehörigen Eiweißmittelwerte für die drei Monate.) In 66,6% der Fälle verhält sich der Eiweißgehalt invers zur Sichttiefe. Im Mai, zu einer Zeit starker Phytoplanktonentwicklung, liegen die einzelnen Eiweißwerte zwischen $14 \mu\text{g/l}$ und $393 \mu\text{g/l}$, der Mittelwert für die gesamte Untersuchungsperiode steigt auf $166 \mu\text{g/l}$. Betrachtet man die Mittelwerte für Hoch- und Niedrigwasser, so zeigt sich auch hier wieder ein höherer Wert für Niedrigwasser ($173 \mu\text{g/l}$) als für Hochwasser ($161 \mu\text{g/l}$). Sie sind aber statistisch nicht verschieden. Der Prozentsatz der Fälle, bei denen ein inverses Verhältnis zwischen Sichttiefe und Eiweißgehalt anzutreffen ist, steigt auf 75,0%. Im August/September finden wir Eiweißwerte zwischen $21 \mu\text{g/l}$ und $381 \mu\text{g/l}$. Der Mittelwert für die gesamte Untersuchungsperiode liegt mit $152 \mu\text{g/l}$ jedoch etwas niedriger als im Mai. Ein Tendenzvergleich zwischen Sichttiefe und Eiweißgehalt ergibt für die gesamte Untersuchungsperiode in 40% aller Fälle eine inverse Beziehung. Betrachtet man jedoch Hoch- und Niedrigwasser getrennt, so ergibt sich bei Hochwasser ein Prozentsatz von 55,5%, bei Niedrigwasser ein solcher von 66,7% für eine inverse Beziehung zwischen Sichttiefe und Eiweißgehalt.

e) Sichttiefe und Chlorophyllgehalt

Abb. 9 zeigt den Verlauf der Sichttiefe und der jeweiligen Chlorophyllmittelwerte für die 3 Monate, während derer die Untersuchung gemacht wurde. Die Chlorophyllwerte liegen bei den einzelnen Proben im Februar zwischen $2,6 \mu\text{g/l}$ und $7,4 \mu\text{g/l}$. Der Mittelwert für die gesamte Untersuchungsperiode beträgt $4,5 \mu\text{g/l}$. Eine inverse Beziehung zwischen Sichttiefe und Chlorophyllgehalt ließ sich in nur 25% der untersuchten Fälle nachweisen. Wesentlich höhere Chlorophyllwerte sind im Mai anzutreffen. Sie liegen nun zwischen $2,4 \mu\text{g/l}$ und $21,6 \mu\text{g/l}$ für die Einzelproben. Der Mittelwert für den ganzen Beobachtungszeitraum beträgt $10,4 \mu\text{g/l}$. Bei dem Vergleich, wie sich Sichttiefe und Chlorophyllgehalt zueinander verhalten, finden wir für die Hochwasserproben in 77,8% der Fälle eine inverse Tendenz, während für die Niedrigwasserproben nur in 66,7% der Fälle eine inverse Tendenz zu beobachten ist. Im August/September liegen die Chlorophyllwerte der einzelnen Proben wieder niedriger. Sie bewegen sich zwischen $1,4 \mu\text{g/l}$ und $11,0 \mu\text{g/l}$. Der Mittelwert für die gesamte Untersuchungszeit beträgt diesmal $5,0 \mu\text{g/l}$. Der Vergleich, wie sich die Sichttiefe und der Chlorophyllgehalt verändern, ergibt für die gesamte Untersuchungsperiode in 50,0% der Fälle eine inverse Tendenz. Für Proben bei Hochwasser liegt dieser Prozentsatz bei 45,5%, für die bei Niedrigwasser genommenen Proben steigt er auf 60,0%.

f) Sichttiefe und Gesamtzellzahl

Im Februar schwankten die Zellzahlen des Phytoplanktons von $4,8 \cdot 10^3$ — $13,9 \cdot 10^3$ Zellen pro Liter, bei einem Mittelwert von $9,8 \cdot 10^3$ Z/l für den ganzen Februar. In 75,0% aller Fälle verhielt sich die Zellzahl invers zur Sichttiefe, d. h. bei abnehmender

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 7)

Abb. 10: Sichttiefenverlauf (ST) und mittlere Gesamtzellzahl (GZZ) in Individuen/l beim Feuerschiff P 8 im Februar, Mai und August/September 1966.

Abb. 2: Kennlinien des Verhältnisses zwischen Sichttiefe und Seston für die Stationen S, LF, TC und BSF in der Ostsee.

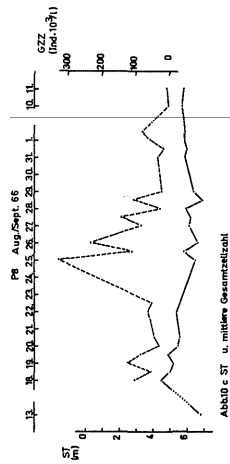


Abb.10 c ST u. mittlere Gesamtzellzahl

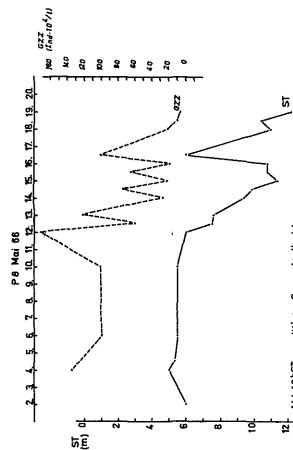


Abb.10 d ST u. mittlere Gesamtzellzahl

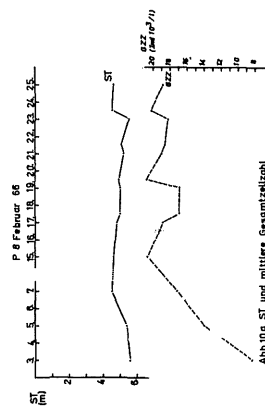


Abb.10 e ST und mittlere Gesamtzellzahl

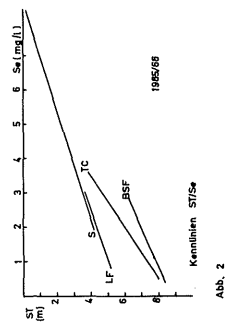


Abb. 2

Sichttiefe nahm die Gesamtzellzahl zu und umgekehrt. Die Gesamtzellzahl hatte im Mittel einen Diatomeenanteil von 86,3%. Im Mai war eine starke Phytoplanktonentwicklung zu beobachten. Die Zellzahlen schwankten von $2,56 \cdot 10^4$ Z/l bis $3,434 \cdot 10^6$ Z/l für die einzelnen Proben bei einem Mittelwert von $6,948 \cdot 10^5$ Z/l für die ganze Untersuchungsperiode. Ein Vergleich der Tendenzen von Sichttiefe und Gesamtzellzahl für die gesamte Untersuchungsperiode ergibt in 57,1% aller Fälle eine gegenläufige Tendenz. Für Proben bei Hochwasser liegt der Prozentsatz der gegenläufigen Tendenz dagegen bei 44,4%, für Proben bei Niedrigwasser bei 83,3%. Im August/September lagen die Zellzahlen wieder niedriger. Sie bewegten sich bei den einzelnen Proben zwischen $4,6 \cdot 10^3$ und $4,361 \cdot 10^5$ Z/l, bei einem Mittelwert von $8,48 \cdot 10^4$ für die gesamte Untersuchungsperiode. Für letztere ergibt sich in nur 32% aller Fälle eine gegenläufige Tendenz zwischen Sichttiefe und Gesamtzellzahl. Betrachtet man Hochwasser und Niedrigwasser für sich allein, so erhält man bei beiden in jeweils 50% der Fälle ein inverses Verhältnis. Abb. 10 zeigt den Verlauf der Sichttiefe und der Zellzahlmittelwerte.

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, daß es zwar deutliche Abhängigkeiten und Beziehungen zwischen Sichttiefe und den gemessenen Parametern gibt, daß sie aber viel zu komplex sind, um ein einfaches, klares Bild zu ergeben. Da die Sichttiefe an einem bestimmten Ort zeitlichen Schwankungen unterworfen ist, kann man sich mit einer einmaligen Messung der Sichttiefe nicht zufrieden geben, wenn man sie als Mittel zur Unterscheidung verschiedener Gewässer benutzen will. So berichtet VISSER (1970), der in der südlichen Nordsee Untersuchungen über die Trübung anstellte, von Einflüssen der Jahreszeit, von Gezeiten und Windverhältnissen auf die Sichttiefe und die Trübung des Wassers. Die verschiedenen Jahreszeiten wirken vor allem durch eine Förderung oder Hemmung des Planktonwachstums auf die Sichttiefe ein, während Wind und Gezeiten durch die Aufwirbelung vorhandener Partikel die Trübung verändern. So geschah es zum Beispiel im Mai 1966 beim Feuerschiff P 8, daß die Sichttiefe innerhalb weniger Stunden durch aufkommenden Wind auf weniger als die Hälfte des ursprünglichen Wertes zurückging.

Ohne Zweifel ist es mit Hilfe der Sichttiefenbestimmung über einen längeren Zeitraum hinweg möglich, eine eventuelle Verschiedenheit in der Trübung der untersuchten Gewässer zu ermitteln. Diese Verschiedenheit tritt zum Beispiel ganz deutlich im Unterschied der Station S in der Ostsee zu den übrigen Stationen zutage. Gehen wir nun näher auf die gemessenen Parameter ein, so ist an erster Stelle der Sestonengehalt zu betrachten, da er von allen gemessenen Parametern den größten Einfluß auf die Sichttiefe hat. In einer experimentellen Studie untersucht POSTMA (1961) die Abhängigkeit der Sichttiefe vom Partikelgehalt des Wassers. Er benutzte dazu eine Aufschwemmung sorgfältig nach dem Partikeldurchmesser fraktionierter Sandproben, deren Konzentration durch Zugabe von Wasser variiert wurde. Das Experiment zeigte folgendes:

a) Die Abhängigkeit der Sichttiefe von der Konzentration einer definierten Partikelgröße ist linear, abgesehen von einer Sättigungsgrenze. Das heißt: Nach Erreichen eines bestimmten Gesamtgewichtes der Partikel, das für die einzelnen Fraktionen verschieden ist, sind mehr Partikel als zuvor notwendig, um die Sichttiefe um einen gleichen Betrag zu verringern.

b) Geht man von gleichen Gewichtseinheiten der Partikel aus, so haben die verschiedenen Partikelfraktionen eine verschiedene Wirkung: Eine bestimmte Menge

kleinerer Partikel wirkt stärker sichttiefenmindernd als die gleiche Menge größerer Partikel. Das bedeutet also, daß eine kleinere Gewichtseinheit kleinerer Partikel dieselbe Sichttiefenveränderung hervorruft wie eine größere Gewichtseinheit größerer Partikel. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch KLEIN (1952), der mit einem lichtelektrischen Trübungsmesser arbeitete.

In natürlichen Gewässern sind diese Beziehungen jedoch sehr verwischt, da sich dort ein Partikelgemisch mit den verschiedensten Durchmessern findet. Außerdem besteht das Seston nicht nur aus Sandpartikeln, sondern immer, oft sogar zum größten Teil, auch aus organischen Komponenten wie Detritus und Plankton. Diese zeigen andere optische Wirkungen (große Lichtabsorption, Lichtdurchlässigkeit verschieden hyaliner Bestandteile) als mineralische Partikel. Bedenkt man weiter, daß sich das Verhältnis von anorganischen Partikeln zu organischen Partikeln zu Plankton laufend verändert und daß sich je nach Jahreszeit verschiedene Planktonformen einstellen, dann wird verständlich, daß die Beziehungen zwischen der Sichttiefe und den gemessenen Parametern nur relativ grob zu fassen sind. Von diesen zeigt der Sestongehalt noch die beste Korrelation mit der Sichttiefe, besonders dann, wenn der Prozentsatz an mineralischen Partikeln und Detritus hoch ist. Dies ist zum Beispiel bei Station S der Fall, dementsprechend ist auch der Korrelationskoeffizient für die Beziehung zwischen Seston und Sichttiefe mit $-0,668$ am größten. Es folgen die Stationen TC mit $-0,586$, Station LF mit $-0,393$ und die aus dreien zusammengezogene Station BSF mit $-0,332$. Im Mittel finden wir in 70% aller Fälle eine Bestätigung der inversen Tendenz zwischen Sichttiefe und Seston für das gesamte Untersuchungsgebiet.

Aus den Untersuchungen des Sestongehaltes ergibt sich weiter, daß in dem Untersuchungsgebiet Areale mit voneinander verschiedener Sichttiefe und voneinander verschiedenem Sestongehalt unterschieden werden können. Zur Charakterisierung dieser Areale dienen empirisch gewonnene „Kennlinien“, welche die Beziehungen zwischen Sichttiefe und Sestongehalt veranschaulichen. Ihre allgemeine Form lautet: $ST = m \cdot Se + K$, wobei der Faktor m die Steilheit der Kennlinie bestimmt ($ST =$ Sichttiefe, $Se =$ Seston, $K =$ Konstante). Der Faktor m kann als Maß für die optische Wirksamkeit des Sestongehaltes bezeichnet werden. Denken wir an die experimentellen Befunde von POSTMA, nach denen — bei gleichem Gesamtgewicht — kleinere Partikel die Sichttiefe stärker beeinflussen als große, dann muß der Anstieg der Kennlinie (der Faktor m) für kleine Partikel größer sein als für große Partikel. Das bedeutet, daß eine Kennlinie mit einem großen Wert für m einer Partikelfraktion mit kleinem Durchmesser äquivalent ist. Betrachtet man nun die m -Werte der Ostseestationen, so ergibt sich folgende Gruppierung nach steigendem m :

Stationen	m
S	0,662
LF	0,724
BSF	0,897
TC	1,375

Das besagt, daß in dieser Reihenfolge der optische Durchmesser der Partikel abnimmt. An Station S müßten also Partikel mit größerem Durchmesser, an Station TC die mit dem kleineren Durchmesser zu finden sein. In der Mehrzahl der Fälle entspricht das auch den tatsächlichen Gegebenheiten. Betrachten wir die m -Werte, die für die Aufent-

halte auf P 8 ermittelt wurden (Februar: 0,53; Mai: 2,33; August: 0,62). Abgesehen vom Februarwert, der durch die große Zahl mineralischer Partikel und den hohen Detritusgehalt bestimmt ist und deshalb schlecht mit den beiden anderen zu vergleichen ist, ergibt sich auch hier wieder eine Übereinstimmung mit den Experimenten von ПОСТМА. Im Mai war eine kleine Kieselalge — *Asterionella japonica* zahlenmäßig stark vertreten (mittlere Individuendominanz: 35,3%), während im August eine große Peridineenart — *Ceratium fusus* — das Bild beherrschte (mittlere Individuendominanz: 53,7%). Dieser Wandel der Formengröße drückt sich auch im m-Wert aus. Auch die Beziehung zwischen Detritus und Sichttiefe zeigt noch relativ günstige Verhältnisse. So wird immerhin in 69,8% der untersuchten Fälle der Ostseestationen eine inverse Tendenz gefunden. Daß die Beziehung jahreszeitlich größeren Schwankungen unterworfen ist, läßt sich an den auf P 8 ermittelten Werten gut ablesen. Im Februar, wo der Detritusgehalt sehr groß war, finden wir in 83,0% der Fälle eine inverse Tendenz. Im Mai tritt der Detritusgehalt stark hinter dem Planktongehalt zurück, es ergibt sich in nur 43,7% der Fälle eine inverse Tendenz. Bessere Verhältnisse findet man wieder im August, wo durch das Ansteigen des Detritusgehaltes der Prozentsatz der inversen Tendenz auf 54,5% ansteigt. Die Beziehungen zwischen Sichttiefe und Eiweißgehalt beziehungsweise Chlorophyllgehalt sind weniger eindeutig. In Zeiten, wo reichlich Plankton und wenig Detritus vorhanden ist, zeigen sie gute Beziehungen, wie zum Beispiel im Mai 1966 auf P 8. Sobald jedoch mehrere Komponenten zusammentreffen, verwischt sich das Bild.

Auch die Windverhältnisse spielen eine gewisse Rolle, indem sie über die vertikale Verteilung des Sestons einwirken und so die Sichttiefe durch Trübung der oberen Schichten mitbestimmen: So zeigte sich im Mai 1966 auf P 8 nach einer windstillen Periode, in der das Seston langsam absank und die Sichttiefe bis auf 10,8 m anstieg, durch plötzliches Auffrischen des Windes innerhalb von sechs Stunden eine Sichttiefenverringerung von 4,4 m auf eine Sichttiefe von 6,0 m. Bei einem Vergleich von Windstärken und Sichttiefenwerten, die 1928/1929 auf der Great Barrier Reef Expedition ermittelt wurden, zeigt sich sogar in 80,4% der Fälle eine inverse Tendenz.

Literaturverzeichnis

- ATKINS, W. R. G. (1945): Daylight and its penetration into the Sea. Trans. Illum. Eng. Soc., 10, 9, 12 pp
- ATKINS, W. R. G. & ELLISON, M. A. (1947): Photoelectric measurements of the seasonal variation in daylight at Plymouth from 1938 to March 1941 compared with the years 1930 to 1937. Proc. Roy. Soc., A, 191, 467—484
- ATKINS, W. R. G. & POOLE, H. H. (1929): Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 16, 297
- ATKINS, W. R. G. & POOLE, H. H. (1930): The photochemical and photoelectrical measurement of submarine illumination. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 16, 509—514
- ATKINS, W. R. G. & POOLE, H. H. (1952): An experimental study of the scattering of light by natural waters. Proc. Roy. Soc. London, B, 140, 321—338
- ATKINS, W. R. G. & POOLE, H. H. (1954): The angular distribution of blue, green and red light by seawater. Sci. Proc. Roy. Soc. Dublin, 26 (18), 313
- ATKINS, W. R. G., JENKINS, P. G. & WARREN, J. F. (1954): The suspended matter in sea water and its seasonal changes as affecting the visual range of the Secchi disc. J. Mar. Biol. Ass. U. K., 33, 497—509

- BIRGE, E. A. & JUDAY, C. (1929): Penetration of solar radiation into lakes as measured by the thermopile. *Bull. U. S. Nat. Res. Council*, **68**, 61
- CLARKE, G. L. (1933): Observations on the penetration of daylight into Mid-Atlantic and coastal waters. *Biol. Bull.* **65**, 2, 317—336
- CLARKE, G. L. (1936b): Light penetration in the Western North Atlantic and its application to biological problems. *Rapp. Proc. Verb.*, **101** (2), 3—14
- CLARKE, G. L. (1938): Seasonal changes in the intensity of submarine illumination off Woods Hole. *Ecology*, **19**, 89
- CLARKE, G. L. (1941): Observations on the transparency in the southwestern section of the North Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.*, **4**, 221—230
- CLARKE, G. L. & JAMES, H. R. (1939): Laboratory analysis of the selective absorption of light by water. *J. Opt. Soc. Amer.*, **29**, 43—55
- CLARKE, G. L. & POWELL, W. M. (1936): The reflection and absorption of daylight at the surface of the ocean. *J. Opt. Soc. Amer.*, **26**, 111—120
- FUKUDA, M. (1960): Transparency measurement in the Baltic Sea. *Meddel. fran Oc. Inst. Göteborg*, **27**, 1—17
- GRAHAM, J. J. (1966): Secchi disk observations and extinction coefficients in the central and eastern North Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, **2** (2), 184—190
- HART, T. J. (1962): Notes on the relation between transparency and plankton content of the surface waters of the southern ocean. *Deep Sea Res.*, **9**, 109—114
- HULBURT, E. O. (1945): Optics of distilled and natural waters. *J. Opt. Soc. Amer.*, **35**, 698—705
- JERLOV, N. G. (1950): Optische Bestimmung von Schwebstoffen im Meer. *Naturwissenschaften*, **15**, 359—360
- JERLOV, N. G. (1951): Optical measurement of particle distribution in the sea. *Tellus*, **3**, (3), 122—128
- JERLOV, N. G. (1951): Optical studies of ocean waters. *Rep. Swed. Deep Sea Exped.* **3**, 1—69
- JERLOV, N. G. (1953): Particle distribution in the ocean. *Rep. Swed. Deep Sea Exped.*, **3**, 73—97
- JERLOV, N. G. (1955): Factor influencing the transparency of the Baltic Waters. *Meddel. fran Oc. Inst. Göteborg*, **B, 6** (14), 1—17
- JERLOV, N. G. (1968): *Optical Oceanography*. Amsterdam: Elsevier
- JONES, D. & WILLS, M. S. (1956): The attenuation of light in sea and estuarine waters in relation to the concentration of suspended solid matter. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **35**, 431—444
- JORGENSEN, W. & UTTERBACK, C. L. (1939): Periodic changes in spectral scattering and spectral transmission of daylight in tidal waters. *J. Mar. Res.* **2**, 30—37
- JOSEPH, J. (1946): Über die Extinktion des Lichtes im Meerwasser und ihre Messung. *Dissertation Kiel* 1946
- JOSEPH, J. (1949): Über die Messung des vertikalen Extinktionskoeffizienten. *Dt. Hydrogr. Zeitschr.* **2** (6), 255—267
- KLEIN, N. (1952): Schwebstoffmessungen mit dem lichtelektrischen Trübungsmesser. *Rep. WSA Unter Hunte*, **36**
- KREY, J. (1939): Die Bestimmung des Chlorophylls in Meerwasserschöpfproben. *J. Cons. Expl. Mer*, **14** (2), 201—209
- KREY, J. (1950): Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Planktons. *Kieler Meeresf.* **7** (1), 58—75
- KREY, J. (1951): Quantitative Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuretreaktion. *Kieler Meeresf.* **8** (1), 16—29

- KREY, J. (1952): Die Charakterisierung von Wasserkörpern durch optische Messungen. Arch. f. Hydrob. **46**, 1—14
- KREY, J., BANSE, K. & HAGMEIER, E. (1957): über die Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuretreaktion. Kieler Meeresf. **13** (1), 35—40
- LEGRAND, Y. (1939): La pénétration de la lumière dans la mer. Ann. Inst. Océanogr., **19** (4), 393—436
- LENOBLE, J. (1956): L'absorption du rayonnement ultraviolet par les ions présents dans la mer. Rev. d'Optique, **35** (10), 526
- LENOBLE, J. (1957): Etude de la pénétration du rayonnement ultraviolet naturel dans la mer. Bull. d'Inf. Comité Central d'Océanogr. et d'études des Côtes, **9**, 8
- LUND, J. W. G. et al. (1958): The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimation by counting. Hydrobiologia **11**, 143—170
- NAN'NITI, T. (1953): A theory of the transparency of sea water. Pap. Meteor. Geophys. Jap., **3** (3), 195
- NEIBURGER, M. (1948): The reflection of diffuse radiation by the sea surface. Trans. Am. Geophys. Union, **29** (5), 647
- OTTO, L. (1966): Light attenuation in the North Sea and the Dutch Wadden Sea in relation to Secchi disc visibility and suspended matter. Neth. Journ. Sea Res., **3** (1), 25—51
- POOLE, H. H. (1938): The effect of surface conditions on the intensity and angular distribution of submarine daylight. Rapp. Proc. Verb., **108** (2), 3—6
- POSTMA, H. (1961 a): Transport and accumulation of suspended matter in the Dutch Wadden Sea. Neth. Journ. Sea Res., **1** 148—190
- POSTMA, H. (1961 b): Suspended matter and Secchi disc visibility in coastal waters. Neth. Journ. Sea Res., **1**, 359—390.
- TABATA, S. (1964): Insolation in relation to cloud amount and sun's altitude. Studies on Oceanography, dedicated to Prof. Hidaka 60th birthday, 202—210
- TAKENOUTI, Y. (1940): Angular distribution of submarine solar radiation and the effect of altitude of sun upon the vertical extinction coefficient. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **8**, 213
- UEHLINGER, V. (1964): Etude statistique des méthodes de dénombrement planctonique. Arch. des Sci., Genf, **17**, 121—223
- UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Int. Ver. theor. angew. Limnol., Mitt. **9**, 1—39
- VISSER, M. P. (1970): The Turbidity of the Southern North Sea. Dt. Hydrogr. Zeitschr., **23** (3), 97—117