

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

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

German copyright law applies.

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

Die Trophie küstennaher Meeresgebiete¹⁾

Von Johannes Krey

Die Begriffe der Eutrophie und der Oligotrophie sind in der Limnologie mit allen ihren Abstufungen und Abwandlungen seit langem selbstverständliches Rüstzeug. Durch die offenbaren Unterschiede des freien Wassers im Gehalt an Organismen — Unterschiede, die unmittelbar an demselben Wasserkörper kurz- und langfristig beobachtet werden können, oder durch die Beobachtung von Indikatoren, welche diese Unterschiede anzeigen (besonders O_2 und CO_2) — war man frühzeitig zu einer Klassifikation der Gewässer und besonders der Seen in oligotrophe, mesotrophe und eutrophe gekommen. Im eigentlichen Sinne des Wortes ist damit eine Kennzeichnung des Nahrungsgehaltes gegeben. In neuester Zeit hat OHLE (Manuskript 1955) die limnische Trophie einer eingehenden theoretischen Behandlung unterzogen.

Da der Bestand an Lebewesen durch Zählung mit anschließender Umrechnung in organische Substanz nur sehr mühsam zu erfassen ist, besonders wenn man die Bakterien mit einschließt, hat man sich zur Charakterisierung von Gewässern lange Zeit mit Trophieindikatoren begnügt. Als solche haben ihre Gültigkeit erwiesen: O_2 , CO_2 , Chlorophyll (begrenzt), z. T. PO_4 -P sowie Gesamt-P. Die beiden ersten geben ein Maß für die Tätigkeit aller lebender Organismen, insbesondere für ihren Betriebsstoffwechsel. Das gilt jedoch nur für die Fälle, in denen ein wesentlicher Austausch dieser beiden Indikatoren mit der Luft nicht stattfindet und solange alle Vorgänge aerob erfolgen. Das Chlorophyll hat als Indikator den großen Vorzug, daß man damit die Primärvorgänge erfassen kann, die zur Neubildung organischer Substanz führen, jedoch den großen Nachteil, daß es außerhalb des Organismus lange Zeit, z. B. im Detritus oder im organischen Sediment existieren kann. Es wäre sonst ein guter funktioneller Indikator, der mit einfachen Mitteln eine Abschätzung der autotrophen Leistungsfähigkeit erlauben würde. Andere Indikatoren, wie z. B. der geformte P, sind nicht genügend spezifisch, um auf die tatsächlich lebende Substanz zurückschließen zu können; das gleiche gilt vom geformten Stickstoff. Man könnte weiter als ein Maß — nicht als Indikator — den Gehalt an geformter organischer Substanz heranziehen, z. B. ermittelt als deren Oxydationswert. Dagegen wäre u. U. einzuwenden, daß außer dem verschiedenen O_2 -Gehalt der organischen Substanz diese z. B. als schwer zersetzliche Cellulose durch Flüsse eingebracht und über weite Strecken transportiert werden kann. Hinzu kommt ferner, daß sich außer der geformten organischen Substanz noch ein Vielfaches an gelöster organischer Substanz im Wasser befinden kann. Andererseits könnte man in küstennahen und tiefen Meeresgebieten, in denen mit einer allochthonen Stoffzufuhr nicht zu rechnen ist, den kalorischen Wert der organischen Substanz als ein Maß für die Lebenserfüllung eines Raumes heranziehen. Einem solchen Verfahren stellen sich aber erhebliche methodische Schwierigkeiten entgegen.

Anstelle der außerordentlich zeitraubenden Auszählungen der Organismen in einem bestimmten Wasservolumen mit der anschließenden Berechnung der lebenden Substanz — ein Verfahren, das schon von LOHMANN (1908) eingeführt wurde, jedoch notwendigerweise weitgehend das Nanno- und Ultraplankton vernachlässigt, das gerade im Küstengebiet in großen Mengen, u. a. in Form von Bakterien und Ciliaten, auftreten kann — können wir heute mit einer relativ einfachen biochemischen Methode ein Maß für die

¹⁾ Herrn Prof. Dr. Wüst zum 65. Geburtstag gewidmet.

Lebenserfüllung erlangen. Mit Hilfe der photometrischen Eiweißbestimmung auf der Grundlage der Biuretreaktion lassen sich serienmäßig Eiweißmengen bis herab zu 10γ bestimmen. Dieses Eiweiß repräsentiert annähernd die Menge der biologisch unmittelbar aktiven Substanz, wenn auch dabei die u. U. sehr unterschiedliche Aktivität der Organismen außer acht gelassen werden muß. Erst in jüngster Zeit hat sich durch das Arbeiten mit markierten Elementen, insbesondere mit C-14 (E. STEEMANN NIELSEN, 1952) und durch die Redoxindikator-Methode (ALEEM, 1955) ein Weg geöffnet, der uns in Serienarbeit an Bord eines Schiffes etwas über diese Aktivität ermitteln läßt. Bei beiden Wegen, der unmittelbaren Bestimmung der Menge der biologisch wirkenden Substanz und ihrer Wirksamkeit, gelangen nur relativ kleine Wassermengen zur Analyse, sodaß man dadurch alle größeren Organismen aus der Beobachtung ausschließt. Der dadurch verursachte Fehler kann u. U. sehr groß sein. Eine Abschätzung dieses Fehlers läßt ein Diagramm zu, das HARVEY (1947) auf Grund von Bestimmungen an geformtem P im Ärmelkanal entworfen hat.

Wenn hier der Versuch unternommen werden soll, mit Hilfe der Eiweißbestimmung ein Maß für die Lebenserfüllung eines Meeresgebietes zu geben, so sind die systematischen Grenzen und die methodischen Einschränkungen bereits im Vorhergehenden vorgezeichnet. Gerade für unsere Fragestellung nach der Trophie küstennaher Meeresgebiete ist dieses Maß vielleicht brauchbarer als die anderen hier erwähnten, wenn es auch weit entfernt ist, den Idealforderungen zu genügen. Die gasförmigen Indikatoren, die ein Maß für die Funktion der Organismen abgeben, sind in einem so stark turbulenten Gebiet, wie es unsere Küstengewässer sind, jedenfalls weitgehend unbrauchbar.

Es liegt nun nahe, die aus der Limnologie bekannten Abstufungen der Eu-, Meso- und Oligotrophie mit einer bestimmten Menge der biologisch aktiven Substanz, dem Eiweiß oder der Biomasse im engeren Sinne, parallel zu setzen. Auch in der Limnologie zeigen diese Stufen nur Vergleiche an, wobei man vorwiegend die Vegetationsperioden beachtet und die winterliche Ruheperiode außer acht läßt. Eine zahlenmäßige Klassifikation kann, da sie auf einem größeren Vergleichsmaterial aufbauen muß, in diesem ersten Versuch nur einen sehr provisorischen Charakter besitzen. Es liegen zwar — vorwiegend aus Ost- und Nordsee über 1000 Eiweißbestimmungen aus verschiedenen Gebieten und Zeiten vor, die eine Spanne von 0 bis $10000 \gamma/l$ umfassen. Doch erscheint dieses Material angesichts der außerordentlichen zeitlichen und räumlichen Vielfalt noch nicht für eine definitive Einteilung brauchbar. Es bedarf zu einer solchen nicht nur weiterer regionaler Untersuchungen sowie ständiger Beobachtungen an bestimmten festen Punkten über längere Zeiträume, sondern auch vieler Beobachtungen über die Voraussetzungen sowie die Begleit- und Folgeumstände der Trophie. Ein erster Versuch soll hier jedoch schon trotz aller Bedenken unternommen werden in der Hoffnung, daß sich daraus einmal eine brauchbare Skala der Trophie begrenzter Meeresteile ergeben möge. Eine sehr wesentliche Stütze für diesen Versuch bieten die Untersuchungsreihen sowie die Ausführungen von OHLE (1955), der die verschiedensten Seen und Gewässer z. T. über längere Zeit und vor allem regelmäßig nach diesen Gesichtspunkten untersucht hat und für den limnischen Bereich eine Trophieskala aufstellte.

Die Tabelle 1 geht von Erfahrungen aus, die ausschließlich in Ost- und Nordsee gesammelt wurden.¹⁾ Die Zeit, in der der betreffende Eiweißwert als Mindestgröße beobachtet werden sollte, stellt nur eine Schätzung dar. Jedoch erschien es richtiger, nicht ein ganzjähriges Mittel zu fordern, da einmal über längere Zeiträume starke Stromversetzungen stattfinden und da andererseits eine einzelne extrem hohe Spitze, die

¹⁾ Das Zahlenmaterial, das dieser Arbeit zugrunde liegt, wurde zum Teil mit Mitteln und Geräten der DWK, der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel gewonnen.

nur in einem kurzen Zeitabschnitt beobachtet wurde, den gesamten Mittelwert unverhältnismäßig stark beeinflussen kann, besonders, wenn während der übrigen Zeit nur geringe Werte auftreten.

Tabelle 1
Vorläufige Trophieskala in Albuminäquivalenten

Hypertroph	5 Monate > 800 γ /l Monatsmittel
Eutroph	5 Monate 400—800 γ /l Monatsmittel
Mesotroph	5 Monate 100—400 γ /l Monatsmittel
Oligotroph	ständig unter 100 γ /l Monatsmittel

Bei dieser Einteilung spielt die Frage, woher die Biomasse stammt, — ob aus der Urproduktion innerhalb des untersuchten Gebietes oder aus allochthoner Quelle, die zudem von Urproduzenten frei sein kann — zunächst keine Rolle. Es ist denkbar, daß die gesamte Biomasse oder ihr weitaus überwiegender Teil aus dem Eiweiß von Bakterien besteht, die z.B. von der organischen Substanz eingeleiteter Abwässer leben. Auch ein solches Wasser kann sehr nahrungsreich sein und in seinem Vermischungsgebiet mit dem Meere einer zahlreichen Besiedlung von Filtrierern und Strudlern das Leben ermöglichen. Eine derartige allochthone Biomasse stellt in vieler Hinsicht einen gleichen Wert dar, wie die durch die autochthone Urproduktion hervorgebrachte. Diese steht ja auch zu einem großen Teil den Filtrierern und Strudlern nicht unmittelbar, sondern auf dem Wege über die organischen Stoffwechsel- und Zerfallsprodukte und z.T. auch über deren bakterielle Umformung zur Verfügung.

I. Ursachen erhöhter Trophie

Die Ursachen einer Trophierung von einzelnen Meeresgebieten sind in den letzten 30 Jahren weitgehend erforscht worden. Wir kennen heute neben den energetischen Faktoren zahlreiche Spurenelemente, die von wesentlichem Einfluß auf die autochthone Urproduktion sind (Zusammenfassungen vgl. HARVEY, 1955, KALLE, 1955, SVERDRUP et al. 1946). Insbesondere ist die dominierende Rolle des Phosphors oft behandelt worden, und wir können heute P im Meere als Schlüsselement bezeichnen, wenn auch bisweilen andere Elemente wie Mn, N und Cu als limitierende Stoffe wirken können. Außer diesen Minimumelementen bzw. deren Verbindungen kennen wir heute auch organische Verbindungen, deren wachstumsfördernde oder -hemmende Wirkung art- bzw. gattungsspezifisch ist (JOHNSTON, 1954).

Im offenen Ozean werden die genannten Minimumstoffe im Mechanismus des kleinen Kreislaufes oder durch Vertikalströmungen in Divergenz- bzw. Auftriebsgebieten aus dem großen Reservoir des Bathypelagials sowie durch wind- und strömungsbedingten Austausch ergänzt. Am besten werden diese letzten Vorgänge nach SVERDRUP (1952) als ein Umpflügen des Meeres bezeichnet, das bei geringer Dichteschichtung unmittelbar bis in Tiefen über 200 Meter greifen kann. Ein Beispiel für die eutrophierende Wirkung von Auftriebswasser finden wir im Gebiet vor der südwestafrikanischen Küste, eines für die Wirkung des Umpflügens im Gebiet um Island. FRIEDRICH (1952) hat für den Atlantischen Ozean auf Grund relativer Organismenzahlen eine Karte der Besiedlungsdichte entworfen, die uns einen ersten Begriff von der verschiedenen Trophierung einzelner Gebiete gibt.

Im Küstenwasser müssen wir zwei Extremtypen der Trophierung unterscheiden: ein Küstenwasser ohne wesentliche Süßwasserzufuhr und damit ohne besonders starke haline Schichtung und andererseits ein Küstenwasser mit starker Beimischung von Flußwasser, das u. a. eine starke haline Schichtung zur Folge haben kann. Im ersten Falle erfolgt

eine erhöhte Trophierung entweder von See her durch die Nähr- bzw. Minimumstoffe des Auftriebwassers oder vom nahen Boden her, wo sich nach der Vegetationsperiode ein Teil der organischen Substanz ansammelt und im Jahreszyklus zum großen Teil wieder mineralisiert wird. Es handelt sich in diesem letzten Falle um eine biologische Akkumulation von Minimumstoffen, die besonders in einem strömungsarmen Gebiet zu einer erhöhten Trophie führen kann, wenn 1. die Remineralisation am Boden stark genug ist, wenn ferner 2. der Austauschfaktor genügend groß ist und wenn 3. langfristige Wasserbewegungen nicht zuviel von den angesammelten biologisch wertvollen Minimumstoffen abtransportieren. Beispiele für diesen Typ kann man im ariden Klimagebiet suchen, da dort die eutrophierende Wirkung der Landzuflüsse stark herabgesetzt ist oder dort, wo es durch die Morphologie des Küstengebietes unmöglich gemacht wird, daß größere Flüsse in die betreffenden Meeresteile einmünden. In unserem Bereich bieten die Eckernförder Bucht und das nordfriesische Wattenmeer Beispiele in dieser Richtung im Sinne einer relativ geringeren Trophie. Hinzu kommt, daß in sestonreichen Flachseegebieten, insbesondere aber in Wattengebieten, das Seston an seiner relativ großen Oberfläche gelöste oder kolloidale organische Substanzen aufnehmen kann und dadurch deren Weiterverarbeitung durch Bakterien erleichtert.

Sobald aber küstennahe Meeresgebiete von Land her stärker beeinflußt werden (beispielsweise mit über 10% des Ausgangswassers im Salzgehalt, im Gehalt an organischen Substanzen oder an Gesamtphosphor), ergibt sich ein wesentlich anderes Bild in der horizontalen und vertikalen Verteilung der lebenden Substanz als auch in deren Qualität. Zunächst erfolgt eine — je nach Art des Flusses wechselnde — zusätzliche Versorgung mit Minimumstoffen, die vorwiegend der Oberschicht zugute kommt. Sobald die etwa mitgeführte Flußtrübe absinkt und damit in unseren Breiten vom Frühjahr bis zum Herbst ein ausreichendes Lichtangebot gewährleistet ist, kann sich eine reiche Phytoplanktonblüte entwickeln. Dieser Vorgang allein führt schon zu einer erheblich erhöhten Produktion. Wenn man noch die Folgeorganismen hinzuzieht, wie sie sich in den verschiedenen Konsumentenschichten sowie in den Bakterien zeigen, wird sich z.B. ein hoher Eiweißwert ergeben, der im Grunde allein auf dieser Zufuhr von Minimumstoffen beruht. Dieser hohe Eiweißwert kann noch vermehrt werden durch jene lebenden Organismen, die mit dem Flußwasser in dieses Gebiet eingetragen werden, dort aber wegen der stark veränderten Lebensbedingungen sehr schnell absterben. Ihre organische Substanz dient euröken sowie endemischen Organismen zur Nahrung und ihre Mineralisationsprodukte zur Hebung der Urproduktion des autochthonen Planktons in diesem Gebiet. Eine weitere u.U. sehr wesentliche Quelle erhöhter Trophie stellen die im Flußwasser enthaltenen echt bzw. kolloidal gelösten organischen Substanzen dar. Diese können sich dem anorganischen und besonders dem organischen Detritus adsorptiv anlagern und derart eine Konzentration bilden, die von Bakterien ausgenutzt werden kann. Man kann sich sehr wohl vorstellen, wie dieser mit organischer Substanz angereicherte Detritus einen guten Nährboden für einen reichen Bakterienrasen darstellt (vgl. ZOBELL, 1946). Diese Bakterien bieten eine weitere u.U. sehr bedeutsame Bereicherung der Biomasse. So wurde von ZOBELL eine Menge von max. 4×10^6 Bakterien/ml angegeben. Diese entsprechen etwa 360γ Eiweiß. Leider verfügen wir nicht über entsprechende Bakterienzählungen aus den hier interessierenden Gebieten. Es dürfte aber aus rein theoretischen Überlegungen recht wahrscheinlich sein, daß gerade Flußmündungen, und vor allem solche, die reich an Tripton sind, ständig einen erhöhten Gehalt an Biomasse aufweisen, also eine erhöhte Trophie zeigen. Grundsätzlich können die verschiedenen Quellen der Trophie in unterschiedlichem Maße beitragen: die Primärtrophie, wie die durch Minimumstoffe bedingte bezeichnet werden kann, kann gegenüber der Paratrophie — ein limnologischer Terminus, der die eingeschwemmte organische Substanz bezeichnet — gering sein und umgekehrt.

II. Auswirkungen erhöhter Trophie

Die Auswirkungen erhöhter Trophie werden dort am nachhaltigsten sein, wo die Urproduktion und die allochthone Zufuhr an Nahrung am stärksten sind und wo der Abtransport des eutrophierten Wassers am geringsten ist. Solange die physikalischen und morphologischen Verhältnisse eine ausreichende Durchlüftung bewirken, wird eine reiche Bodenfauna im engeren und im weiteren Wirkungsgebiet entstehen. Leider fehlen bislang Untersuchungen über die Biomasse aller Bodenorganismen in dem hier gebrauchten Sinne und zwar sämtlicher von den Bakterien bis zu den großen Muscheln und Krebsen. Andererseits sind durch die Auszählungen und Wägungen der als Fischnahrung brauchbaren größeren Bodenorganismen (vg. HAGMEIER, 1951) einige Anhaltspunkte in dieser Richtung gegeben. Die Bodenbonitierung, die unter vorwiegend fischereilichen Gesichtspunkten betrieben wurde, kann also auch hier gute Dienste leisten und könnte für unsere Fragestellung noch bessere Erfolge bringen durch die Anwendung solcher quantitativer Methoden, durch die auch die Biomasse der kleinsten Organismen erfaßt wird.

Die erhöhte Trophierung wird besonders augenfällig in einer Vermehrung der Anzahl der schwimmenden, z.T. dem Großplankton, z.T. dem Nekton angehörenden Organismen. Auch deren quantitative Erfassung als Biomasse bereitet heute noch große Schwierigkeiten. Wir kennen lediglich aus Fängen mit Standardnetzen, die bei bestimmter Schleppgeschwindigkeit und -dauer fischen, Relativzahlen und auch diese nur für bestimmte Größenordnungen von Organismen. Man darf erwarten, daß zunächst die Strudler und die Filtrierer, die Plankton und Detritus als Nahrung aufnehmen, infolge besonders guter Ernährungsbedingungen hohe Volkszahlen erreichen. So beobachten wir z.B. in den Wattenmeeren der Nordsee starke Vorkommen von Crangon. Zur gleichen Zeit dürfte das an Biomasse so reiche Seston gute Ernährungsbedingungen für zahlreiche Jungfische abgeben, die noch auf das Filtrieren oder auf das Schnappen kleiner Zooplankter angewiesen sind. Auch hier fehlen noch weitere Untersuchungen. Die in reicher Zahl vorkommenden Filtrierer und Strudler dienen ihrerseits als Ernährungsbasis für größere Organismen, wobei der Verlust an Biomasse von wechselnder Größe sein kann je nach dem Angebot an nichteiweißhaltiger Nahrung.

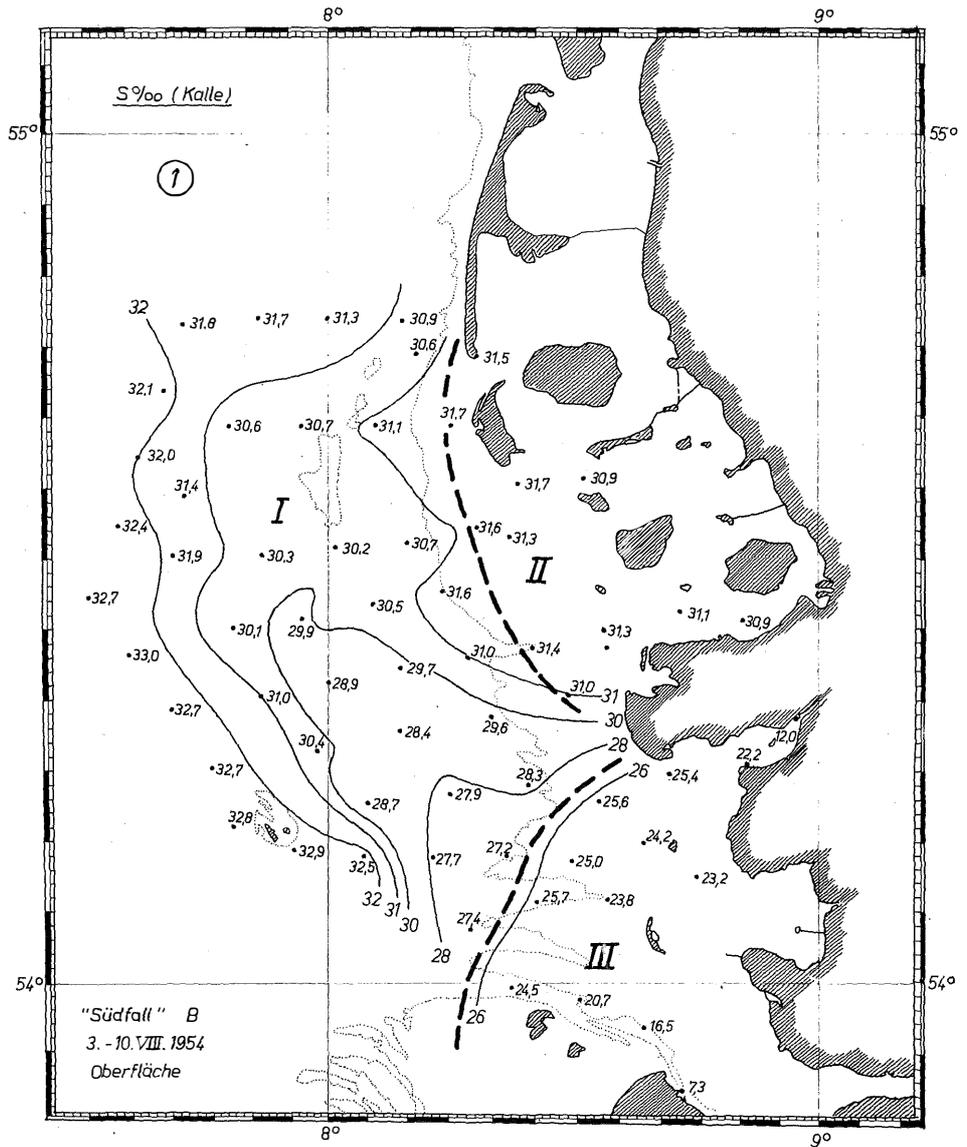
III. Beispiele für die Trophierung

1. Untersuchungen in der südlichen Nordsee.

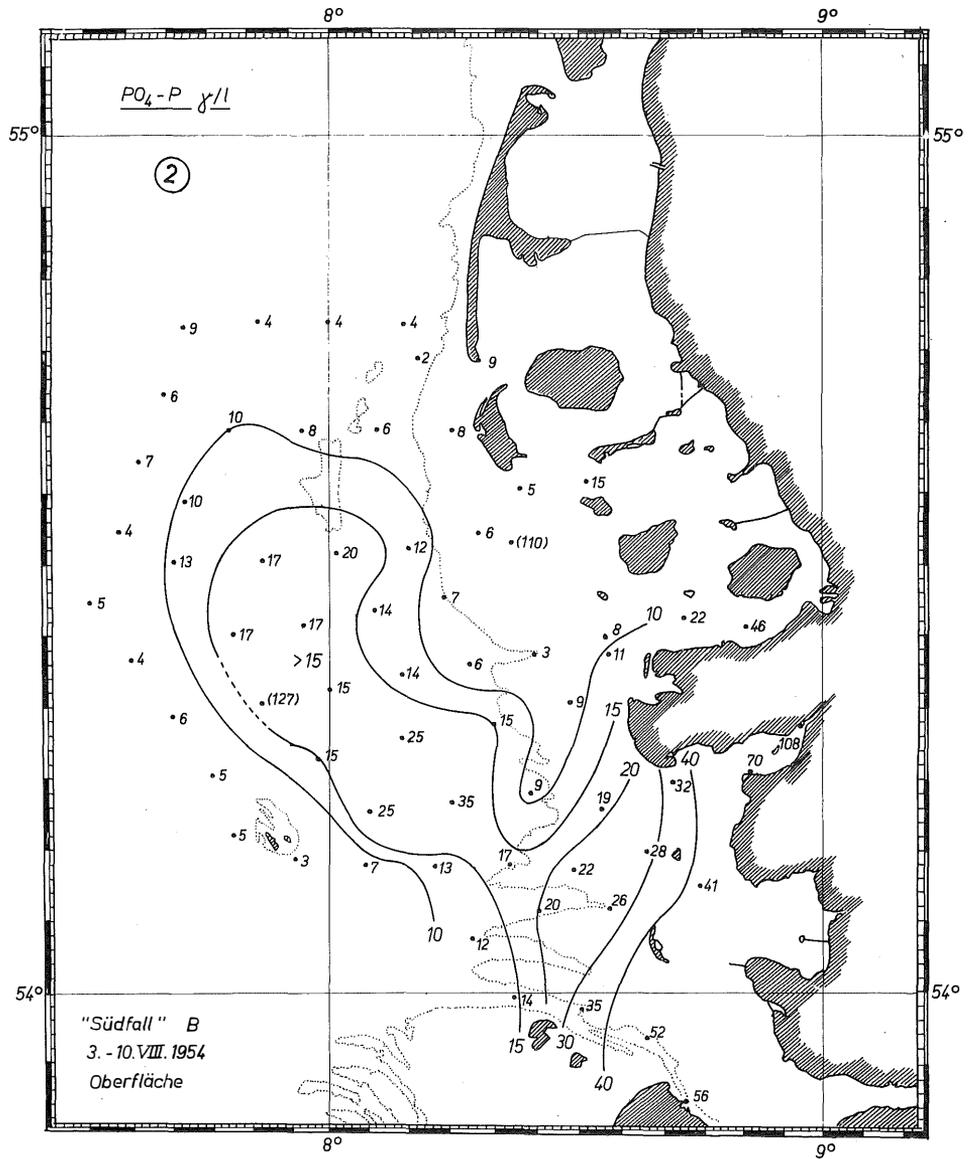
An einigen Beispielen soll gezeigt werden, wie in besonderem Maße die unmittelbare Bestimmung der Biomasse als Albuminäquivalent zu einem Bilde über die unterschiedliche Trophierung von Küstengewässern führen kann. Während einer Fahrt in die südliche Nordsee bis zum englischen Kanal konnte im März/April 1952 eine zweimalige Aufnahme des Gebietes mit Oberflächenproben durchgeführt werden (KREY, 1953). Die Ergebnisse dieser Fahrt sollen hier als Ausgangspunkt für weiterführende Untersuchungen in Nord- und Ostsee dienen. Unmittelbar vor der englischen Südküste ist ein Wasserkörper mit relativ hohem Gehalt an Eiweiß zu beobachten, während das Kanalwasser ($> 35 \text{ ‰ S}$) trotz seines relativ guten Bestandes an Phytoplankton im Vergleich zum englischen Küstenwasser arm an Biomasse ist. Tabelle 2 drückt diese Verhältnisse in Mittelwerten für hydrographisch abgegrenzte Gebiete aus:

Legende zu der nebenstehenden Tafel 10

Abb. 1: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. $S \text{ ‰}$ nach den Titrationen von KALLE.



Tafel 10



Tafel 11

Tabelle 2

Südliche Nordsee März 1952 1. Aufnahme (Alle Angaben in γ/l)

	Kanalwasser	engl. Küstenwasser
Seston	580	4950
Eiweiß	82	152
Lebende organische Substanz	205	380
Phytoplankton (Diatomeen)	104	8
Lebende organische Substanz (Phytopl.)	52	4
Lebende organische Substanz (Hetero- trophe)	153	376
Biomasse autotroph	21	2
Biomasse heterotroph	61	150

Bei dieser Zusammenstellung erhebt sich die Frage, wie zu dieser Zeit im englischen Küstenwasser, in dem wegen der starken Trübung und dem jahreszeitlich bedingten relativ geringen Lichtangebot noch keine wesentliche Neubildung organischer Substanz auf Grund autochthoner Prozesse stattgefunden haben kann, ein derart hoher Bestand an Biomasse möglich ist. Es handelt sich hier um einen Wasserkörper, der im Stromschatten ein hydrographisch gesehen relativ ruhiges Leben führt und von der Themse her laufend Zuschüsse an P sowie an organischer Substanz erhält. KALLE (1953) hat berechnet, daß sich der P-Zuschuß im Jahr auf etwa $4 \gamma/l$ P beläuft. Die im Jahre 1935 von ihm in diesem Gebiet durchgeführten Gesamt-P-Bestimmungen zeigen eine deutliche Erhöhung des Ges. P gegenüber den angrenzenden Gebieten, die sich auf etwa $10 \gamma/l$ P beläuft (KALLE 1937). Es wäre dabei zu beachten, daß in einem solchen Gebiet, das im Vergleich zu den angrenzenden strömungsschwach ist, trotz der gezeitenbedingten Turbulenz und des Transportes eine Phosphorakkumulation stattfindet.

Dieser relativ hohe Gesamtphosphorgehalt bildet für unsere Betrachtungen einen Hinweis für die erhöhte Trophie. Der Gesamtphosphor liegt zu etwa $1/2$ bis $1/3$ als geformter P vor, obgleich zu dieser Zeit (Januar 1935) noch keine Planktonblüte herrschte, während man im Gebiet des atlantischen Kanalwassers nur etwa $1/5$ bis $1/20$ als geformten P vorfindet. Auch dieser Vergleich spricht für die getroffene Folgerung, daß der Zustrom des Themsewassers eine Erhöhung des Bestandes an lebender Substanz bewirkt. Diese erfolgt einmal als primäre Trophierung durch den ständigen Zuschuß des Schlüssелеlementes P, weiter durch Akkumulation von P mit anschließender Mineralisation am Boden sowie durch eine Paratrophierung durch Zufuhr von lebender oder toter organischer Substanz, die man späterhin vor allem in Form von Bakterien und deren Zehrern als Biomasse bestimmen kann. Dieser Bestand an Biomasse kann sich u. U. auch ohne die Urproduktion des endemischen Phytoplanktons halten, wenn auch nicht in voller Höhe. Eine Bestätigung der auf der Fahrt von 1952 gefundenen Werte erfolgte 1953, als in diesem Gebiet in derselben Jahreszeit gleich hohe Mengen an Biomasse im englischen Küstenwasser gefunden wurden. Wenn in der südlichen Nordsee der Rhein keine entsprechende Trophierung eines Wasserkörpers bewirkt, so liegt das an den besonderen ozeanographischen Bedingungen, die im Regelfalle das Rheinwasser dicht an der holländischen Küste schnell nach Norden abführen.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 11

Abb. 2: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Anorganischer Phosphor in γ/l .

2. Die Waddenzee von Den Helder

Ein weiteres Beispiel für die weitgehende Trophierung finden wir in der Waddenzee von Den Helder. POSTMA (1954) hat hier regelmäßig über lange Zeit (1949—52) unter anderem Beobachtungen über den Gesamtphosphorgehalt und seine Komponenten angestellt sowie in einer besonderen Untersuchung auch über den Stickstoffgehalt des Sestons. Auf dem Wege von Den Helder nach Den Oever fand er an 11 Oberflächenproben im Mittel von November bis Februar einen Stickstoffwert, der äquivalent 1750 γ Eiweiß/l ist. Das bedeutet etwa das Zehnfache vom Eiweißgehalt des englischen Küstenwassers im März. Leider liegen keine mikroskopischen Analysen vor; wir dürfen jedoch annehmen, daß im Winter wenig Phytoplankton an diesem Wert beteiligt ist, daß also um diese Zeit die heterotrophen Organismen von dem Vorrat an organischer Substanz leben, der während des Sommers vorwiegend von Diatomeen und Dinoflagellaten aufgebaut wurde.

An denselben Proben wurden Elementaranalysen auf C und P durchgeführt. Wenn man aus diesen die organische Substanz berechnet (Faktor 2,3 für C, 100 für P, 15,6 für N), dann kommt man auf die folgenden Vergleichszahlen¹⁾:

$$4\ 300\ \text{mg}\ \text{OS}_N - 3\ 400\ \text{OS}_C - 4\ 000\ \text{OS}_P$$

bei einem mittleren Sestongehalt von 30 000 γ /l. Wir gehen dabei von der Annahme aus, daß die gesamte so errechnete OS als lebend betrachtet wird. Danach wäre also die aus dem geformten P errechnete OS nur um 8% geringer als die aus N berechnete. Dieser Wert ist von Nutzen für den Vergleich von Mittelwerten, die POSTMA für die Nordsee, d.h. das Gebiet vor dem Marsdiep, und die Waddenzee für seine gesamten Beobachtungen gibt.

Tabelle 3
Mittelwerte aus den Untersuchungen von POSTMA 1949—52 in γ /l

	ges. P	gef. P	OSP	OS _{GI}	OS _{Chl}	Seston	% OS _{GI} i. Seston
Nordsee	29	7,7	770	1500	—	6000	25
Waddenzee	50	18,5	1850	2500	325	18000	7
Ijsselmeer	62	21,7	2170	—	—	—	—

Wenn man die oben gefundene Parallelität zwischen der OS, die aus P, C und N bestimmt wurde, zu Grunde legt, dann würden sich aus diesen Untersuchungen von POSTMA die folgenden Mittelwerte für die Biomasse in Albuminäquivalenten ergeben:

Nordsee 190 γ /l, Waddenzee 460 γ /l und Ijsselmeer 540 γ /l.

¹⁾ Im folgenden werden einige Abkürzungen gebraucht:

OS_N = organische Substanz aus N in geformter Substanz errechnet

OSP = organische Substanz aus P in geformter Substanz errechnet

OS_C = organische Substanz aus C in geformter Substanz errechnet

OS_{GI} = organische Substanz aus dem Glühverlust errechnet

OS_{Ew} = organische Substanz aus dem Eiweißgehalt errechnet

OS_{Chl} = organische Substanz aus dem Chlorophyllgehalt errechnet

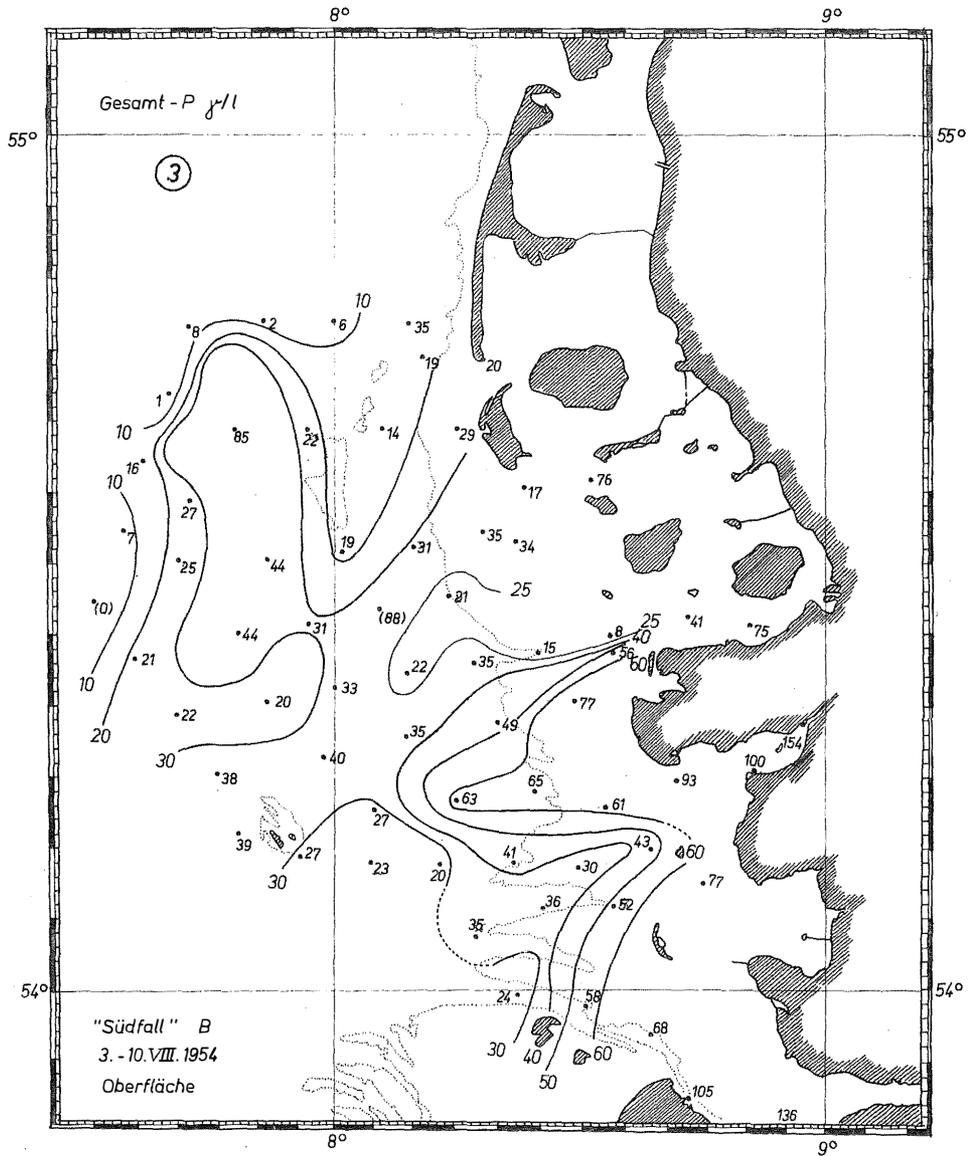
Methoden vgl. POSTMA (1954), KREY (1939, 1952). Für die Umrechnungen wurden die folgenden mittleren Beziehungen angenommen:

$$100\ \text{mg}\ \text{OS} = 40\ \text{mg}\ \text{Ew} = 1\ \text{mg}\ \text{P} = 4\ \text{mg}\ \text{Chl}$$

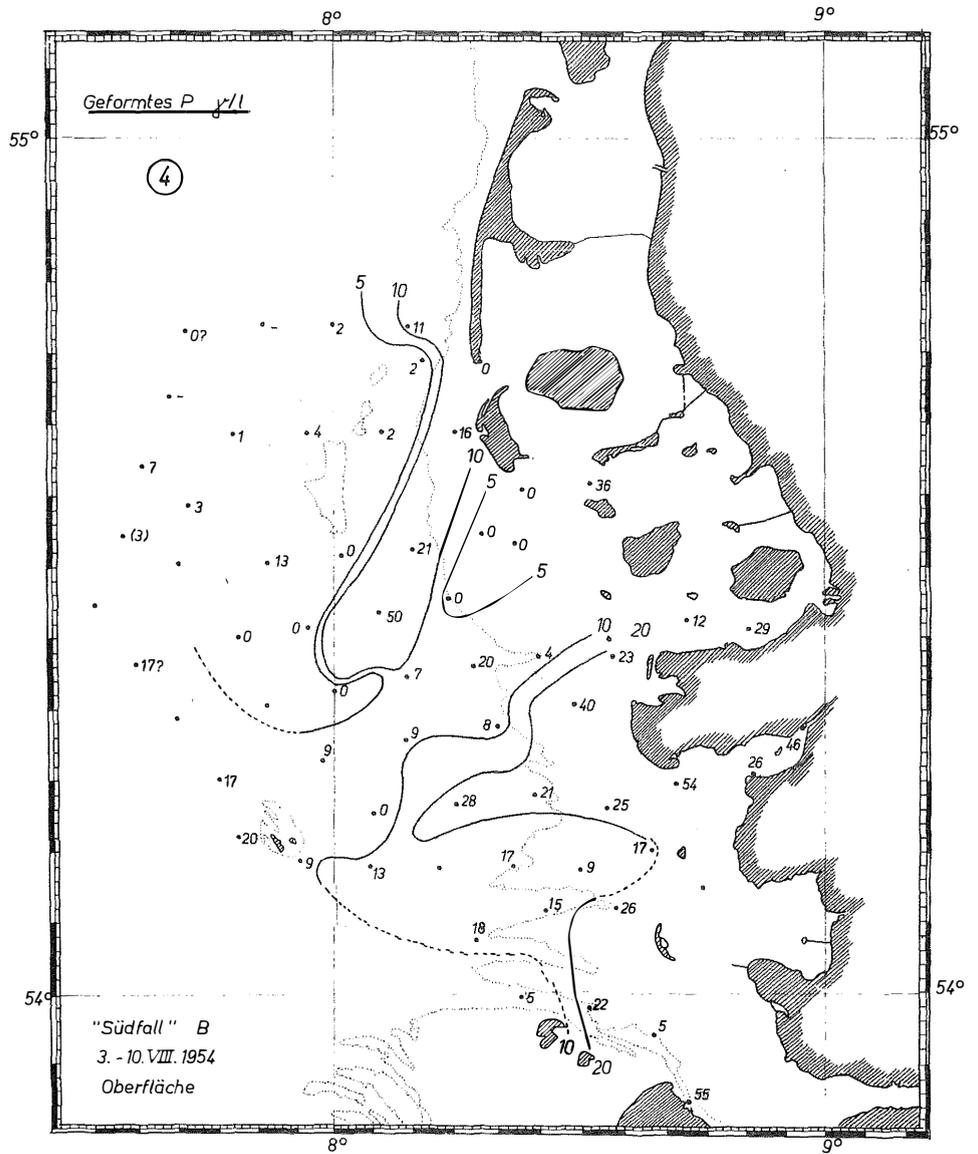
Diese Relation stellt eine provisorische Annahme dar, die nur zur Ermittlung der Größenordnung dienen kann. Im Einzelfall müßten erneute Analysen durchgeführt werden.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 12

Abb. 3: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Gesamt-Phosphor in γ /l.



Tafel 12



Tafel 13

Diese Rechnung zeigt, daß die Waddenzee gegenüber dem benachbarten Teil der Nordsee stark eutrophiert ist, selbst wenn der geformte P nicht ausschließlich im lebenden Organismus vorkommt. Zudem ist in Betrachtung zu ziehen, daß es sich hier um Mittelwerte handelt, deren Grundlagen sowohl während der Hauptvegetationsperioden als auch der Ruheperioden der autotrophen Organismen bestimmt wurden.

Im März/April 1954 konnten von der Zoologischen Station in Den Helder aus zusammen mit POSTMA einige Ergänzungen zu diesen Untersuchungen durchgeführt werden. Vorwiegend auf zwei Dauerstationen im Malzwin wurden an 57 Wasserproben gleichzeitig Seston, Chlorophyll, Gesamt-P, geformter P, Organische Substanz, Chlorophyll (alle Bestimmungen von POSTMA), Eiweiß und mikroskopische Analysen (KREY) durchgeführt. In Tabelle 4 sind die daraus errechneten Mittelwerte zusammengestellt:

Tabelle 4
Mittelwerte aus dem Malzwin März/April 1954 in γ/l

	Ew	Chl	gef. P	ges. P	OS _{Gl}	Seston
Gemessen	733	42	70	101	7950	39600
Berechnete OS	1830	1050	7000	10100		

Gesamte OS im Seston = 20%, lebende OS im Seston = 4,6%.

Diese Aufstellung zeigt zunächst, daß hier der größere Teil der gesamten Biomasse als Phytoplankton vorliegt, wenn wir annehmen, daß zu dieser Zeit alles Chlorophyll an lebendes Phytoplankton gebunden ist: von 733 γ Ew entfallen 420 γ auf Phytoplankton und nur 313 γ auf heterotrophe Organismen. Dieses Verhältnis wird durch den mikroskopischen Befund gestützt, der das Bild einer ausgesprochenen Frühjahrsblüte, vor allem von Biddulphia-Arten bietet. Besonders auffällig ist in der Tabelle 4 der große Unterschied zwischen der auf verschiedenen Wegen berechneten OS: OS_{Gl}=7950 γ/l , OS_P=7000 γ/l und OS_{Ew}=1830 γ/l . Wenn wir die OS_{Ew} als repräsentativ annehmen für die lebende OS, dann lägen also ca. 6100 γ/l als tote geformte OS vor, also als organischer Detritus; das bedeutet 3,3 mal so viel wie lebende organische Substanz. Auf dieser Berechnungsgrundlage würde auch der geformte P nur zu einem kleinen Teil an die lebende Substanz gebunden sein und zum weitaus größeren in der toten organischen bzw. in der anorganischen vorliegen. Es ist weiterhin bemerkenswert, daß auch in dieser Tabelle die OS, die aus dem Glühverlust und jene, welche aus dem geformten P berechnet wurde, relativ gut miteinander übereinstimmen. Die mikroskopische Analyse hat weiterhin gezeigt, daß gerade in diesem Gebiet relativ viel grobe organische Detrituspartikel im Wasser schwimmen.

Eine starke Eutrophierung der Waddenzee ist offensichtlich. Als Quelle für den hohen Bestand an Biomasse kommt hier ganz vorwiegend die autotrophe Leistung in der Waddenzee selbst in Betracht. Nach den Berechnungen von POSTMA erhält die Waddenzee bei einem Volumen von 2700×10^6 m³ Wasser in einer Tide aus dem Ijsselmeer $10,3 \times 10^6$ m³ Wasser, während in dieser Zeit 930×10^6 m³ aus der Nordsee ein- bzw. ausströmen. Selbst wenn mit dem Ein- bzw. Ausstrom ein völlig P-freies Wasser einen Teil des „Stammwassers“ ersetzen würde, käme es in jedem Falle zu einer erheblichen Eutrophierung, da der Zustrom vom Ijsselmeer nach den Berechnungen POSTMAS

Legende zu der nebenstehenden Tafel 13

Abb. 4: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Geformter Phosphor in γ/l .

nur zu $\frac{1}{13}$ während jeder Tide in die Nordsee abgeführt wird. Es kann also ein großer Teil dieses Zustromes im flachen Wattenmeer verarbeitet werden, und zwar sowohl durch die autotrophen Organismen als auch durch die Filtrierer und Strudler. Die Eutrophierung wird hier durch die besonderen Bodeneigenschaften (Morphologie und Bodenmaterial der Waddensee) stark begünstigt.

3. Das Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste

Im Sommer desselben Jahres fand eine zweimalige Untersuchung des Gebietes vor der schleswig-holsteinischen Westküste durch FK „Südfall“ im Rahmen einer gemeinschaftlichen Arbeit von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel, dem Deutschen Hydrographischen Institut Hamburg und dem Institut für Meereskunde Kiel statt. Bei diesen Fahrten war es möglich, außer dem Material für die hydrographische Fragestellung nach der Spur des Elbwassers Beobachtungen zu sammeln über Art, Menge und Veränderungen der durch die Elbe bzw. die Eider mitgeführten gelösten und geformten Substanzen. Hier soll nur über einige Ergebnisse der Fahrt im August 1954 berichtet werden, die zu unserem Problem Wesentliches beitragen können. Aus der Anzahl früherer hydrographischer bzw. biologischer Untersuchungen sollen nur die von KALLE im Februar 1936 auf „Poseidon“ durchgeführten erwähnt werden, die uns unmittelbar vor der Westküste hohe Gesamt-P-Werte mit über 30 γ/l P zeigen und damit eine Eutrophierung dieses Gebietes andeuten (s. KALLE 1937).

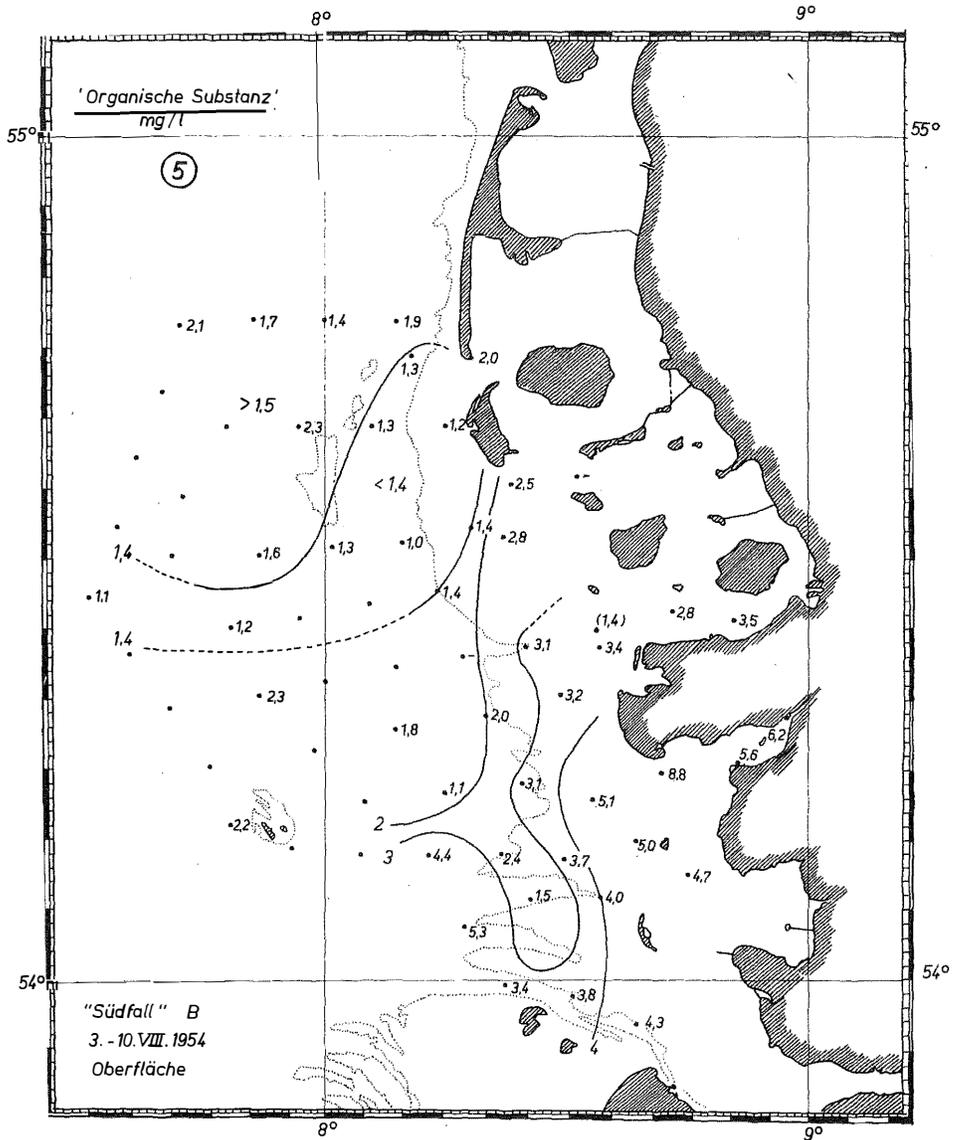
Während der hier ausgewählten Fahrt reichte der Einfluß des Elbwassers mit etwa 10% an der Oberfläche bis SW von Amrumbank (vgl. Abb. 1). Im Gebiet des Nordfriesischen Wattenmeeres lag ein Wasserkörper mit 31‰ an der Oberfläche, der von der offenen Nordsee durch einen Keil von Elbwasser getrennt ist. Dieser relativ hohe Salzgehalt ist auf die starke Gezeiten- und windbedingte Turbulenz in diesem flachen Gebiet zurückzuführen. Hinzu kommt, daß die Süßwasserzuflüsse in dieses Randgebiet trotz der in diesem Jahre außerordentlich hohen Regenfälle wenig ins Gewicht fallen. Entsprechend der Reichweite des hohen Elbwasseranteils von ~ 10% können wir mit starker Eutrophierung rechnen, wenn nur Elb- und Eiderwasser genügende Mengen von Nährstoffen in mineralisierter oder organischer Form heranzuführen. Während der Untersuchungszeit führten Elbe und Eider im Mittel folgende Mengen an den hier interessierenden Substanzen mit:

	Eiweiß	Chlorophyll	Ges.-P	gef. P	OS _{GI}
	1026	20	161	75	7800 γ/l
Mittel aus	7	6	7	6	7 Proben

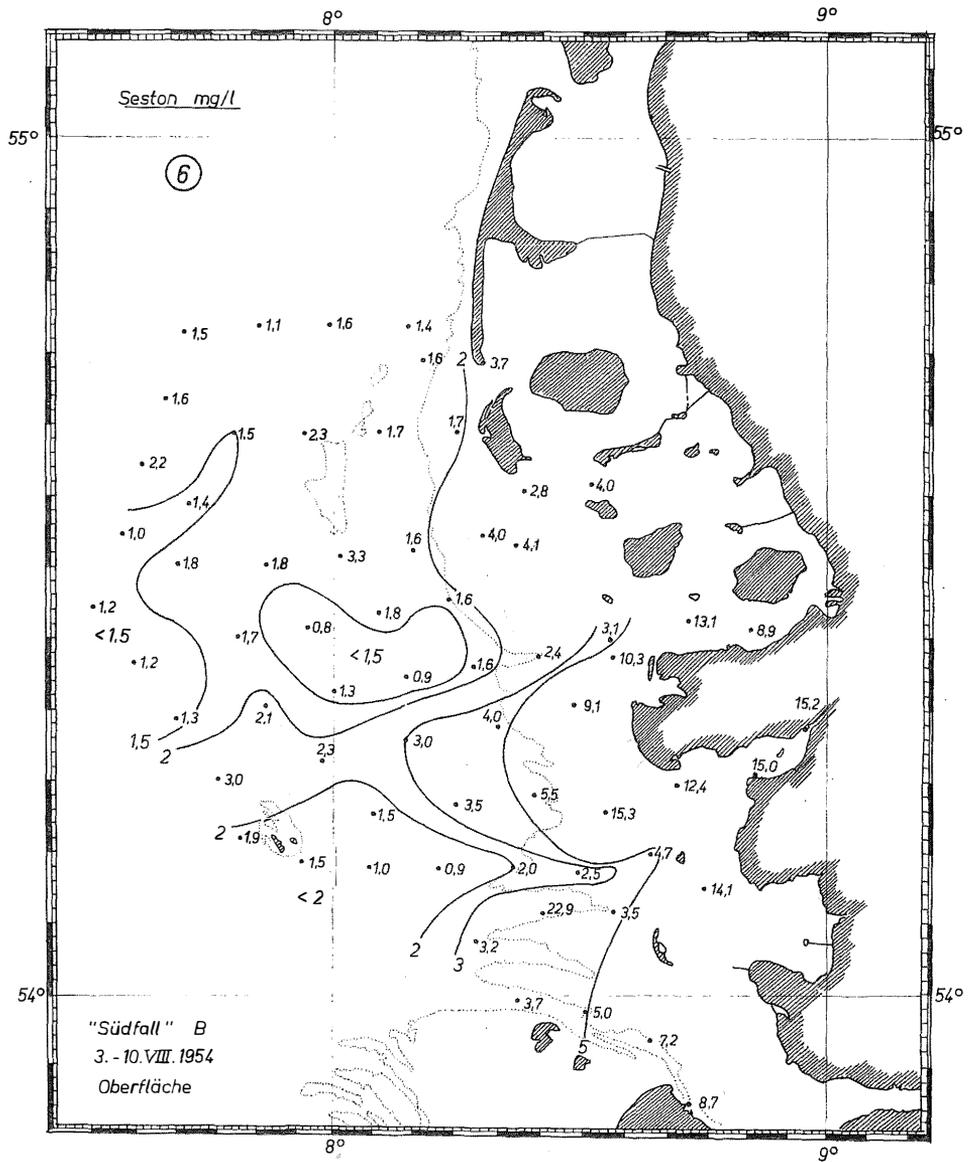
Dieses Flußwasser erfährt auf seinem Wege nach WNW (vgl. Abb. 1) eine starke Verdünnung durch gealtertes Mischwasser der Nordsee, das wir bei einem Salzgehalt von 33‰ mit einem Gesamt-P-Gehalt von 10 γ/l , von gelöstem anorganischem P von 5 γ/l , von Eiweiß mit 100 γ/l und von Chlorophyll mit 7 γ/l annehmen. Entsprechend dieser Verdünnung und der besonderen Stellung des nordfriesischen Wattenmeeres ist es zweckmäßig, eine Dreiteilung des Gebietes durchzuführen. Als Grundlage dafür dienen sowohl der Verlauf der 25‰- bzw. der östlichen 31‰-Isohalinen als auch die 10 m-Tiefenlinie, die sich weitgehend miteinander decken. Eine klare Abgrenzung findet das Haupteinflußgebiet des Elbwassers durch die 26‰-Isohaline, die etwa gleichbedeutend ist mit einem 20‰-igen Gehalt an

Legende zu der nebenstehenden Tafel 14

Abb. 5: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Organische Substanz in mg/l.



Tafel 14



Tafel 15

Elbwasser und sich nach O zu weitgehend mit der hier freilich sehr durch den Verlauf der großen Prielsysteme bestimmten 10 m-Linie deckt (Region III). Das nordfriesische Wattenmeer (Region II) wird nach W zu im wesentlichen durch die 31⁰/₀₀-Isohaline begrenzt und nur wenig durch die 10 m-Linie eingeschränkt. Alles, was westlich von diesen Grenzen liegt, wird trotz der deutlich zu beobachtenden direkten und mittelbaren Einwirkung des Elbwassers als Region I (offenes Meer) bezeichnet. Die Regionen II und III sollen nur die Extremverhältnisse des Einflußgebietes der Elbe bzw. Eider und die des Wattenmeeres begrenzen.

Die Verteilung des anorganischen P ist der des Salzgehalts sehr ähnlich (Abb. 2). Auch hier erstreckt sich eine Zunge mit hohem P-Gehalt ($> 15 \gamma/l$) bis südlich Amrumbank. Bemerkenswerterweise steht in der Region II mit Ausnahme der Hever nur wenig anorganischer P zur sofortigen Assimilation für das Phytoplankton zur Verfügung im Gegensatz zur Region III. Hier dürften die Assimilationsvorgänge die Mineralisationsvorgänge überwiegen und die Zufuhr von Land her im Vergleich zum Elbmündungsgebiet minimal sein. Allein schon aus diesem Verteilungsbild ergibt sich die Erwartung, daß Region III sehr viel stärker eutrophiert ist als Region II und beide stärker als I.

In geringerem Maße zeigen die Darstellungen des Gehalts an Gesamt-P und an geformtem P (Abb. 3 und 4) den Verlauf des Elbwassers unmittelbar an. Aus diesen Verteilungsbildern ist zu ersehen, daß bei beiden außer den reinen Vermischungsvorgängen auch andere Umsetzungen eine Rolle spielen als beim anorganischen P. Bei beiden wirken sich die Sedimentationsvorgänge des im Seston festgelegten P sowie wahrscheinlich der Verbrauch durch sessile Organismen (Filtrierer und Strudler) aus. Jedenfalls ist für Gesamt-P und geformten P eine erhebliche Anreicherung in Region II und III gegenüber der Außenregion I festzustellen. Einzelwerte des geformten P können auch in Region I sehr hoch sein mit $50 \gamma/l$, sind aber auf starke lokale Ansammlungen von Zooplanktern (*Noctiluca*) zurückzuführen. Auch aus der Darstellung des geformten P kann man erwarten, daß sich in den Gebieten II und III eine erheblich größere Biomasse findet als in I.

Auch die Verteilung der organischen Substanz zeigt nur wenig Ähnlichkeit mit der des Salzgehaltes (vgl. Abb. 5). Hier wird ebenso wie beim Seston (s. Abb. 6) eine Drehung der Isolinien um 90° gegenüber den Isohalinen angedeutet, was Rückschlüsse auf Sedimentations- und Zehrungsvorgänge zusätzlich zur Verdünnung nahelegt. Der Gehalt an OS ist in Region III mit $4\ 000 \gamma/l$ wesentlich höher als in II. Im NW von Region I steigt der Gehalt an OS wieder infolge einer autochthonen Neubildung durch Phytoplankton. Diese Tendenz zur Neubildung neben der Zehrung, Sedimentation und Remineralisation ist noch ausgeprägter im Verteilungsbild des Chlorophylls (s. Abb. 7). Während im unmittelbaren Mündungsgebiet der Elbe die Chlorophyllwerte verhältnismäßig niedrig bleiben, wachsen sie im Bereich von $20\text{--}26\text{0}/_{00}$ -Salzgehalt bis zu einem Maximalwert von $48 \gamma/l$ an. Dieses Anwachsen ist auf die Neubildung von Phytoplankton zurückzuführen, was durch mikroskopische Analysen bestätigt wird (vgl. Abb. 8 a und b). Weiter nach NW erfährt dieser Bestand durch Zehrung und Sedimentation eine starke Minderung bis zu einer Minimalzone, in der weniger als $7 \gamma/l$ Chlorophyll (mit Minimalwerten bis zu $1 \gamma/l$) beobachtet werden. In einer Zone mit fast denselben Abgrenzungen wie denen der chlorophyllarmen ist auch ein Minimum an OS mit Werten $< 1\ 400 \gamma/l$ zu beobachten (vgl. Abb. 5). Im Verlauf der Ausbreitungsrichtung des Elbwassers wächst der Chlorophyllgehalt infolge sehr hoher Volkszahlen von Uroglena-Kolonien stark an und bildet ein geschlossenes Gebiet mit

Legende zu der nebenstehenden Tafel 15

Abb. 6: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Seston in mg/l.

>10 bis max. 23 Chlorophyll/l, wiederum in einer Lage von 90° zur Ausbreitungsrichtung des Elbwassers. Trotz dieser starken Neubildung zeigen wiederum die Regionen II und III höhere Mittelwerte an.

Der Gehalt an Biomasse wird gleichfalls durch die Wechselwirkungen der eben genannten vier Faktoren bestimmt, mit dem Unterschied, daß die Biomasse im Verlaufe des Zehrungsprozesses wahrscheinlich beständiger ist als das Chlorophyll, da Eiweiß von einem Konsumenten zum andern übertragen wird, wenn auch nach einem art-spezifischen Umbau und einer im Einzelfall sehr unterschiedlichen Ausbeute. Diese wird sich im wesentlichen nach dem Angebot an anderweitiger organischer Nahrung richten. Das Chlorophyll andererseits wird von allen Konsumenten weitgehend abgebaut, soweit es überhaupt verdaut wird. Die Darstellung der Eiweißwerte (s. Abb. 9) zeigt die gleichen Grundzüge wie die der Chlorophyllwerte: einer Region mit Höchstwerten im unmittelbaren Einflußgebiet der Elbe mit Beträgen $> 700 \gamma$ Eiweiß/l folgt nach mehr oder minder langsamem Abfall eine Zone minimalen Gehalts $< 150 \gamma/l$, die sich weitgehend mit der entsprechenden Minimalzone des Chlorophylls deckt. Nach NW zu erfolgt darauf wieder ein Anstieg bis zu einem Maximalwert von $310 \gamma/l$ infolge der oben erwähnten autotrophen Vorgänge.

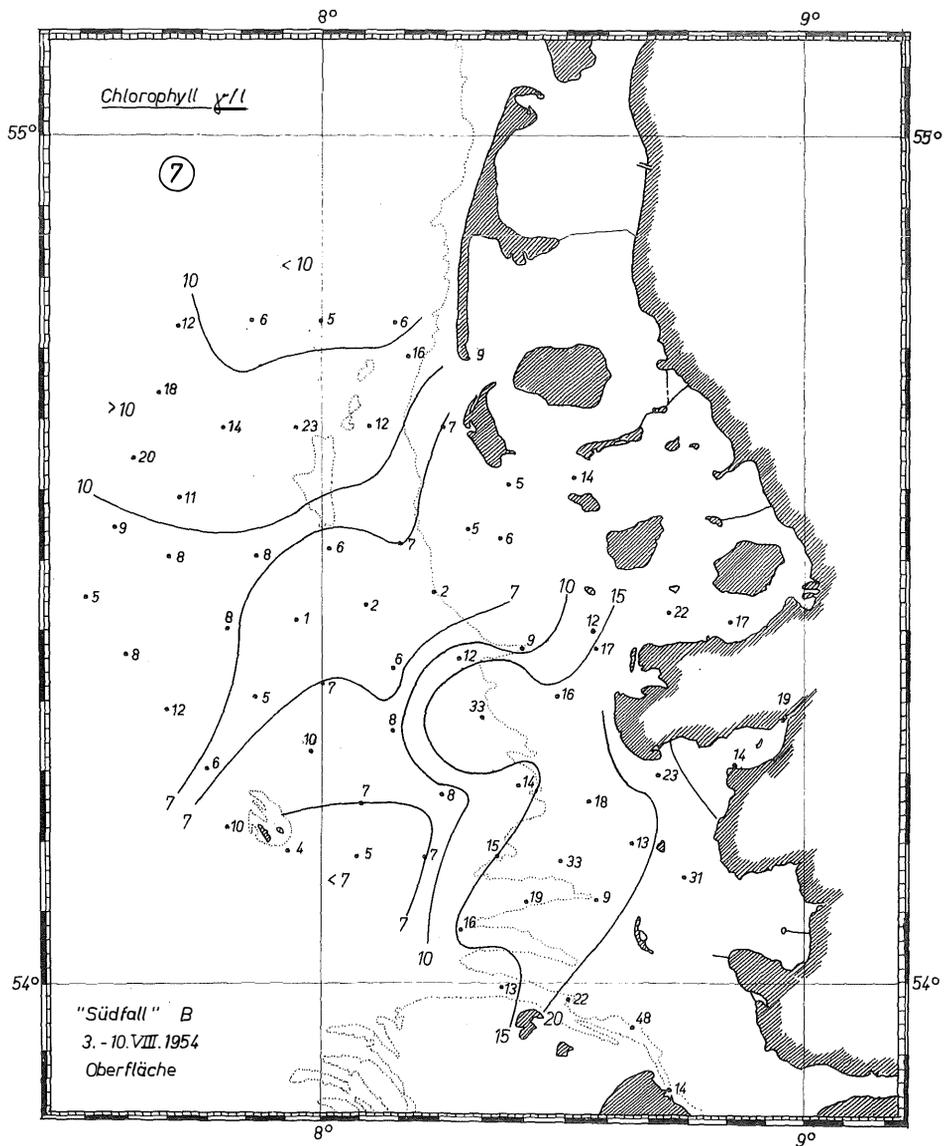
Mit dieser Darstellung wird die vorher entwickelte Vermutung bestätigt, daß unter dem Einfluß der Elbe eine starke Anreicherung an lebender Substanz erfolgt. Diese Ansammlung setzt sich zusammen, wie aus einem Vergleich mit den übrigen Darstellungen dieser Fahrt ersichtlich wird, 1. aus einer unmittelbaren Zufuhr der Elbe an lebender Substanz; 2. aus der autochthonen Neubildung von Lebendem, die auf einer Wirkung der vom Elbwasser mitgeführten Stoffe beruht. Wir haben Grund zu der Annahme, daß die Elbe und in geringerem Maße die Eider außer einem hohen Gehalt an Spurenelementen bzw. deren Verbindungen viel organische Substanz mit sich führen, entweder im lebenden Organismus oder in Form von festen und gelösten Zerfallsprodukten. Diese OS ist wahrscheinlich im Mündungsgebiet von Elbe und Eider die Grundlage einer reichen Bakterienentwicklung, wobei man sich vorstellen kann, daß die Bakterien nicht nur unmittelbar die großen organischen Partikel ausnutzen, sondern daß daneben von dem mehr oder minder stabilen Detritus die kolloidale bzw. echt gelöste OS adsorbiert wird und daß sich die Bakterien die derart angebotene Anreicherung zu Nutze machen.

Diese Vorstellungen machen es uns erklärlich, daß wir in der unmittelbaren Elb- und Eidermündung bei einem Minimum an mikroskopisch sichtbarem Phyto- und Zooplankton sehr hohen Eiweißwerten begegnen. Dieses Eiweiß wird sehr wahrscheinlich von den Bakterien geliefert, die den Detritus als Pseudoplankton bewohnen. Wenn ZoBELL Werte bis 4 Millionen Bakterien/ml im Gezeitenstrom der Mission-Bay nachgewiesen hat, dann dürfte diese Anzahl hier bei dem großen Reichtum an organischem wie anorganischem Detritus sowie bei der wahrscheinlich sehr hohen Zufuhr an OS noch weit übertroffen werden. Das Chlorophyll dürfte im engsten Gebiet der Flußmündung ebenso wie der geformte P zum überwiegenden Teil an abgestorbene organische Substanz gebunden sein.

In Tabelle 5 werden die als Mittelwerte für die Regionen I—III vorliegenden Beobachtungen zusammengefaßt. Es ist besonders bei dieser Zusammenfassung zu bedenken, daß die Grenzen der Region II und III verhältnismäßig weit nach Westen vorgeschoben wurden, daß andererseits die Spur des Elbwassers schräg durch die Region I läuft, d.h. also, daß diese Zusammenfassung nicht die extremen Verhältnisse wiedergeben kann.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 16

Abb. 7: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Chlorophyll in γ/l .



Tafel 16



Tafel 17

Tabelle 5
Regionale Mittelwerte der Fahrt Westküste B in γ/l

a) Gemessene Werte:		Eiweiß	Chlorophyll	gef. P	OS _{G1}	Ges.-P
Region I		203	10	10	2000	32
Region II		256	12	15	2500	40
Region III		722	22	26	5000	72

b) Berechnete Werte für OS aus	Ew	Chl	gef. P	OS _{Ew} -OS _{chl} (Heterotrophe OS)	Ges.-P	im Seston % OS _{G1}	im Seston lebende Substanz in %
Region I	508	250	1000	258	3200	100	19
Region II	640	300	1500	340	4000	37	6
Region III	1805	540	2600	1265	7200	68	17

Aus der Tabelle 5 a ist ohne weiteres der außerordentlich hohe mittlere Gehalt der Region III an Biomasse ersichtlich, der mit 722 γ/l mehr als das Dreifache dessen beträgt, was als Mittelwert im sogen. freien Wasserraum der Region I berechnet worden ist. Die starke Fremdtrophierung dieses Gebietes ist augenfällig, besonders auch im Vergleich mit der Region II, die wohl um 50% mehr geformten P zeigt als I, aber nur rund 20% mehr Biomasse und nur 25% mehr organische Substanz. Das nordfriesische Wattenmeer erweist sich in dieser Zusammenstellung trotz annähernd gleicher Sestonwerte (rd. 6700 gegen 7300) erheblich ärmer an Biomasse als das Gebiet von Elbe- und Eidermündung. Selbst für den Fall, daß die Mineralisation nach der Frühjahrsblüte in diesem Gebiet überraschend schnell erfolgt sein sollte, man also aus diesem Grunde nur wenig Eiweiß, Chlorophyll, OS und gef. P finden könnte, so müßte man doch höhere Gesamt-P-Werte antreffen, vorausgesetzt freilich, daß der schnell mineralisierende P sich nicht als schwere und unlösliche Verbindung niederschlägt, die auch nicht durch Gezeitenturbulenz vom Boden aufgewühlt wird. Diese Möglichkeit erscheint uns aber unwahrscheinlich. So kommen wir zu dem Schluß, daß die Region III sehr stark gegenüber den Regionen I und II eutrophiert ist.

In Tabelle 5 b wird eine Berechnung der organischen Substanz zusammengestellt, wie sie sich aus den analytischen Bestimmungen der Tabelle 5 a ergibt. Dabei zeigt sich, daß die OS_P etwa 2 bis 3 mal größer ist als die OS_{Ew}, aber immer kleiner als die OS_{G1} (bis zu 50%). Wir dürfen daraus schließen, daß längst nicht aller geformter P an lebende Substanz gebunden ist, daß andererseits viel organischer Detritus P-arm ist. Weiter ist ersichtlich, daß die aus dem Chlorophyll errechnete autotrophe OS in sehr unterschiedlichem Verhältnis zur heterotrophen OS steht, wenn man den gleichen Chlorophyllgehalt und den gleichen Anteil an chlorophyllhaltigem Detritus annimmt. So sind in den Regionen I und II beide annähernd gleich, während in der Elbe- und in der Eidermündung trotz der lokal beobachteten hohen Phytoplanktonzahlen die heterotrophe OS rund 2,6 mal so groß ist wie die autotrophe. Auch diese Rechnung gibt einen Hinweis darauf, daß die Region III eine abhängige Eutrophierung, eine Paratrophierung erfahren hat. Dieses Bild würde noch extremer, wenn wir ein zuverlässigeres Maß für das Phytoplankton hätten als das chemisch doch verhältnismäßig beständige Chlorophyll.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 17

Abb. 8a: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Die bestandbildenden Phytoplankter: *Uroglena*-Kolonien, *Lauderia borealis*.

Selbstverständlich bietet sich auch die andere Erklärung, daß der hohe Bestand an lebender, heterotropher OS sich aus einem Vorrat ernährt, den das Phytoplankton an Ort und Stelle zu anderen Zeiten angelegt hat. Dagegen spricht der starke seewärts gerichtete Strom, der solchen Vorrat wohl in kurzer Zeit ausgeräumt hätte. Ferner steht solcher Erklärung entgegen, daß das Wasser dieses Gebietes einen außerordentlich hohen Extinktionskoeffizienten zeigt, der an den Flußmündungen bei 750 m μ stets > 3 beträgt, daß demnach also nur eine sehr geringe, stets wechselnde Schicht von phytoplanktonhaltigem Wasser eine positive Assimilationsbilanz hat.

Zwischen den in der Höhe der Eutrophierung vergleichbaren Gebieten der Waddensee vor Den Helder und der Region III bestehen kennzeichnende Unterschiede: Die Biomasse der Waddensee dürfte ganz überwiegend autochthon sein, wozu eine starke Zufuhr von P-reichem Wasser aus dem Ijsselmeer wesentlich beiträgt. Die Elbe- bzw. Eidermündung bezieht wahrscheinlich den überwiegenden Teil ihrer Biomasse aus der organischen Substanz der Flüsse, wozu erheblich eine Neubildung im Aufbauggebiet beider beitragen kann. Der Grund für diese Unterschiede liegt in der Morphologie der beiden Gebiete: die Waddensee ist verhältnismäßig stark abgeschlossen, das Elbmündungsgebiet weit offen und deshalb einem stärkeren Wasserwechsel unterworfen. Selbstverständlich spielt der Zustrom des Elbwassers mit seinem hohen Gehalt an OS und an Nährstoffen eine wichtige Rolle. Am engsten vergleichbar ist die Elbmündung dem Seegebiet vor der Themse, dessen Außenbezirk als englisches Küstenwasser mit einer erhöhten Trophie beschrieben wurde. Gerade aber in solchen hydrographisch unruhigen Gebieten wäre eine häufigere Beobachtung der hier diskutierten Komponenten dringend erforderlich.

4. Förden der Kieler Bucht

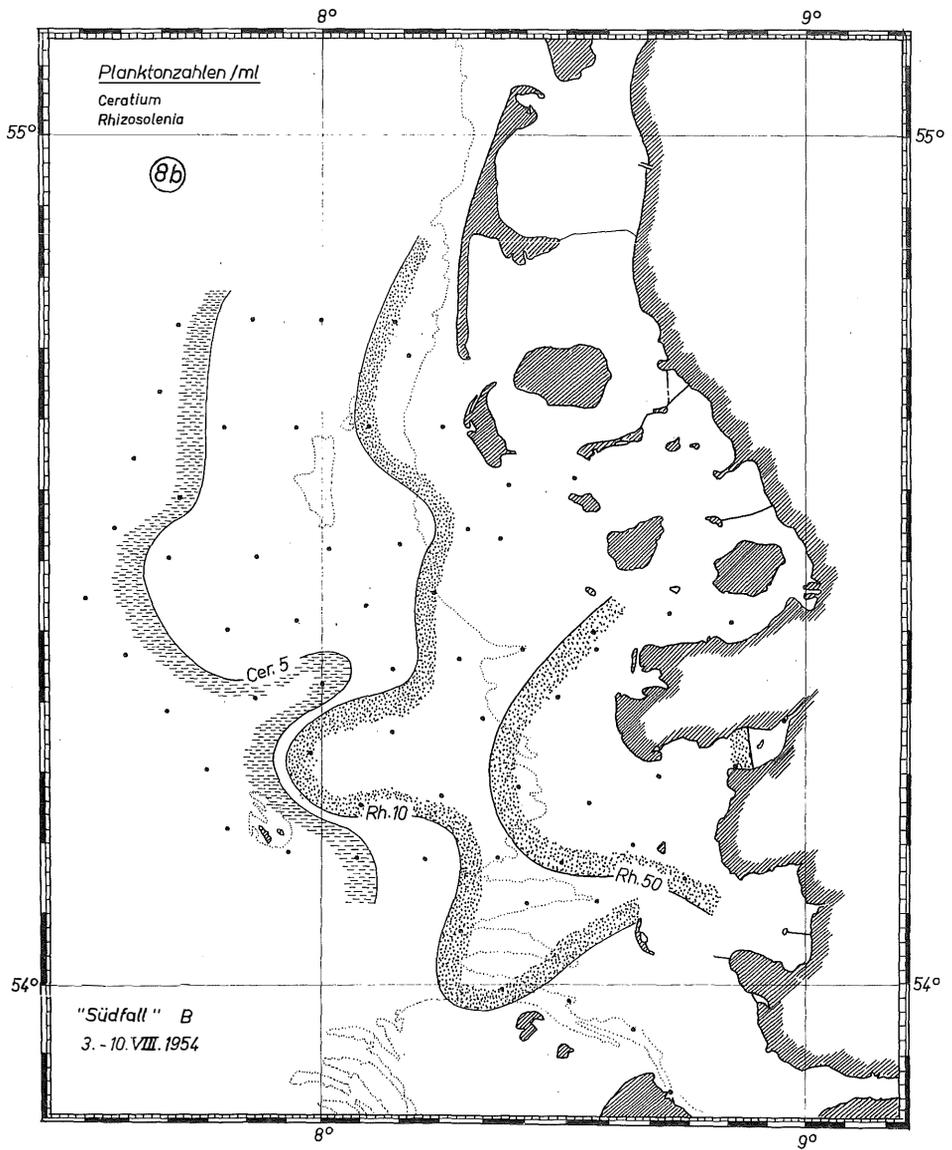
Mit weitaus beständigeren hydrographischen Verhältnissen haben wir es in den beiden nächsten Beispielen zu tun, die einmalige Untersuchungen der Schlei und der Flensburger Förde bringen. Beiden ist ein erniedrigter Salzgehalt und eine verhältnismäßig lange Küstenlinie mit starkem Ufereinfluß gemeinsam. Die Unterschiede zwischen beiden liegen vor allem in der Tiefe, die in der Schlei im wesentlichen eine beständige haline Schichtung nicht zuläßt und den allergrößten Teil des Wassers an der windbedingten Turbulenz teilhaben läßt. Andererseits werden beide Förden an ihren Enden von den Abwässern größerer Städte gedüngt. Eingehende hydrographische Untersuchungen zusammen mit chemischen und biologischen Bestimmungen wurden in der Schlei in jüngster Zeit von KÄNDLER (1953) und BOCK (Manuskript 1955) durchgeführt.

In Abb. 10 wird ein Diagramm wiedergegeben, das die weitgehend parallele Zunahme von Eiweiß, geformtem P, Chlorophyll und der dort zu dieser Zeit fast in Monokultur vorhandenen *Chromulina minima* darstellt.¹⁾ Die Werte für die Biomasse steigen von Schleimünde bis Schleswig (Stat. 14) zu der bislang noch nicht beobachteten Höhe von 100000 γ /l an. Gleichzeitig werden hohe Werte für geformten P mit max. 199 γ /l bei 213 γ Gesamt-P/l erreicht. Der Gehalt an gelöstem P ist in der Schlei während dieser Untersuchung stets niedrig mit ca. 10% des Gesamt-P infolge der sehr schnellen Assimilation durch die zu dieser Zeit mit Zahlen bis zu $8,8 \times 10^9$ Zellen/l vorkommenden *Chromulina*. Der P-Bedarf ist wahrscheinlich im inneren Gebiet der Schlei (Stationen 11

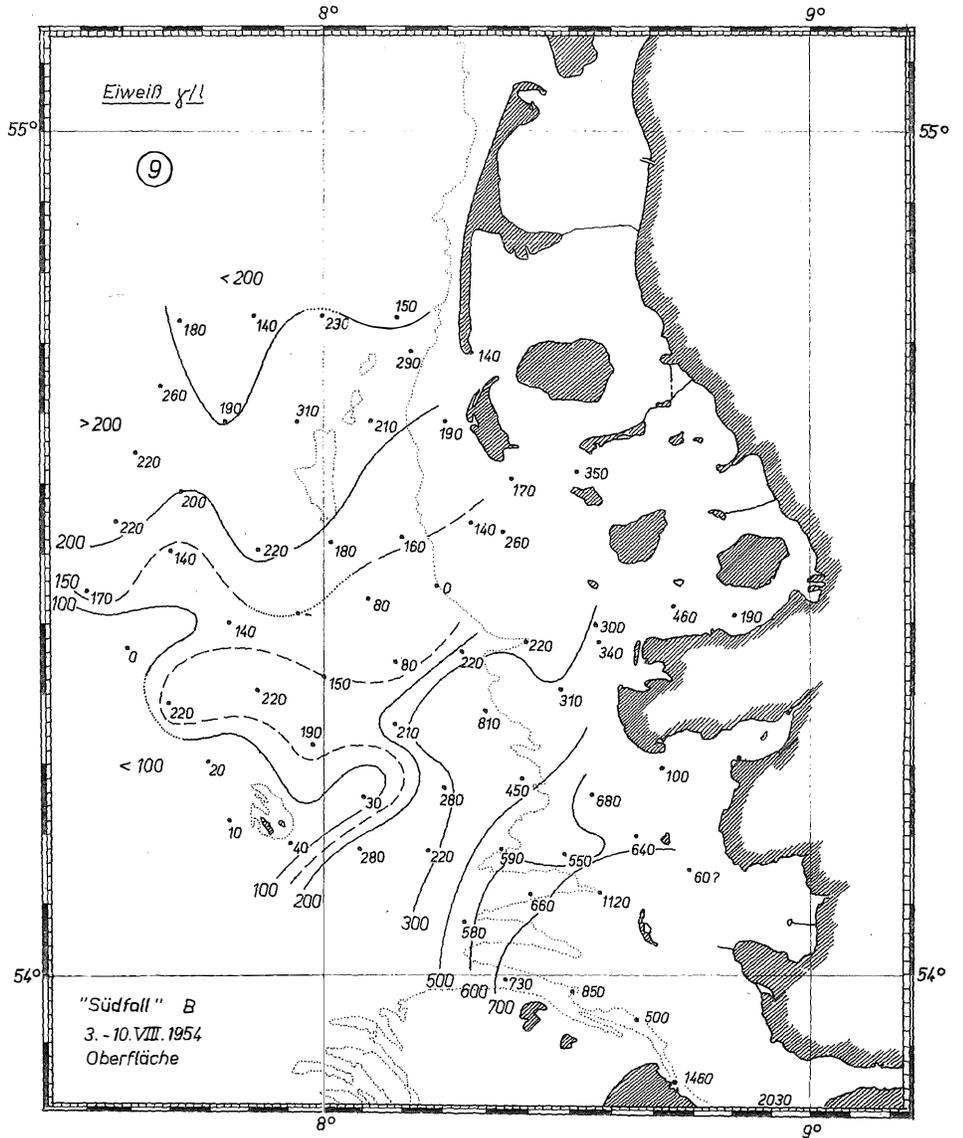
¹⁾ Die Bestimmungen des geformten P und des Chlorophylls wurden von ПОСТМА durchgeführt.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 18

Abb. 8b: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Die bestandbildenden Phytoplankter: *Ceratium tripos* und *Rhizosolenia spec.*



Tafel 18



Tafel 19

bis 14) zu dieser Zeit derart groß, daß er nicht voll gedeckt werden kann. Das ergibt sich auch aus einer Berechnung der OS mit Hilfe der bislang angenommenen Faktoren, die in einigen Beispielen hier angeführt sei:

Tabelle 6
Organische Substanz, berechnet aus Eiweiß, Phosphor und Chlorophyll in γ/l

Station	7	8	9	10	11	12	13	14
OS _{Ew.}	7100	8800	10500	10900	17000	22900	25000	24700
OS _P	8500	10000	10600	12200	12000	15000	17300	20000
OS _{Chl.}	—	5600	5400	6600	7200	7400	6900	8800
OS _{heterotroph}	—	3200	5100	4300	10200	15500	18100	15900
OS _P —OS _{Ew.}	+1400	+1200	+100	+1300	—5000	—7900	—7700	—4700

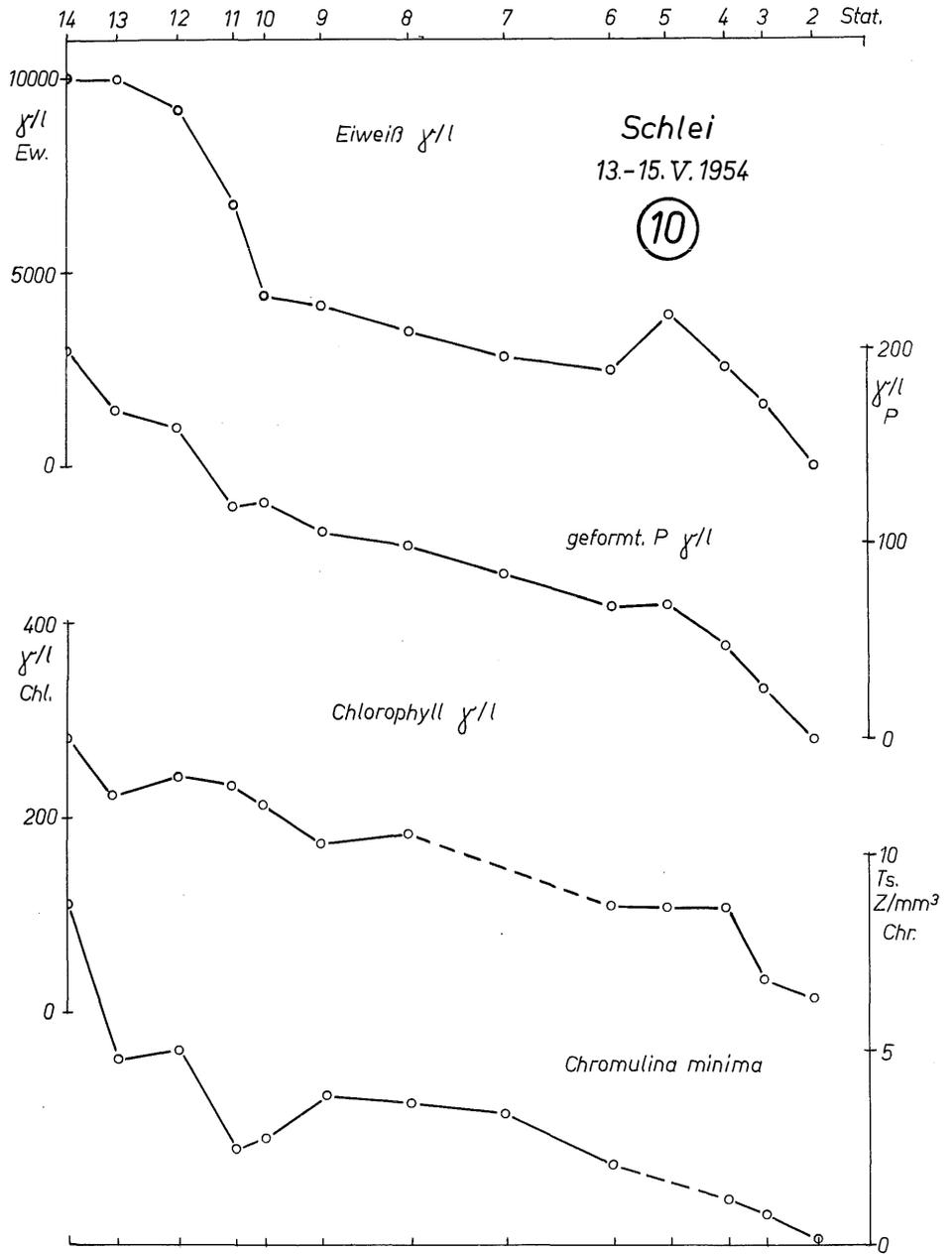
Wenn auch analytische Fehler in der P-Bestimmung bei diesen großen Mengen bis $\pm 5\%$ möglich sind, so können diese nicht zur Erklärung des wechselnden Über- bzw. Unterschusses an OS_P ausreichen. Außerdem ist das einheitliche Verhalten der Werte von Stat. 7 — 10 einerseits und der Stat. 11 — 14 andererseits derart, daß ein systematischer Unterschied sehr wahrscheinlich ist. Entsprechend den hohen Zahlen an Phytoplankton, das zudem keine wesentliche Skelettsubstanz aufweist, ist der mittlere Gehalt an lebender OS im Seston mit 38% sehr hoch, zumal durch die Boden- und Ufernähe eine erhebliche Einschwemmung von Anorganischem und Organischem zu erwarten ist. An der schleswig-holsteinischen Westküste konnte in Region I ein entsprechendes Mittel von 19% berechnet werden, wobei hier die Wassertiefen stets mehr als 10 m betragen. Für die Dauerstationen in der holländischen Waddensee wurde ein Mittelwert von nur 4,6% errechnet.

Der Anteil der heterotrophen OS an der gesamten lebenden Substanz ist mit 66% im Mittel relativ hoch. Die mikroskopische Analyse ergab keine besonders hohen Zahlen für Zooplankton, so daß auch hier angenommen werden muß, daß die heterotrophen Bakterien sehr zahlreich sind. Leider liegen auch für diese Fahrt keine bakteriologischen Untersuchungen vor. Es bleibt gerade bei dieser Berechnung auch fraglich, ob man den Chlorophyllgehalt bei diesen, zeitweilig sehr starkem Licht ausgesetzten Phytoflagellaten mit 4% ansetzen darf, wie bei den vorhergehenden Rechnungen. Deshalb haben gerade diese Kalkulationen einen nur sehr provisorischen Charakter und fordern dringend eingehende Analysen der einzelnen Komponenten.

Insgesamt darf man die Schlei als ein für ein Meeresrandgebiet außerordentlich stark eutrophiertes Gewässer bezeichnen. Daß hier keine größeren sauerstofffreien Wasserkörper auftreten, ist nur der Morphologie dieses Gebietes zuzuschreiben, die eine ständige Umwälzung des Wassers zuläßt. Der hier gefundene hohe Trophiegrad ist zum großen Teil die Folge einer in längeren Zeiten erfolgten Ansammlung von Minimumstoffen, die wegen der geringen Wassertiefe, der häufigen starken Winde und der damit verbundenen starken Strömungen und Wasserstandsänderungen verhältnismäßig schnell mineralisiert und leicht vom Boden in den freien Wasserraum überführt werden kann. Man kann die außerordentlich hohe Trophie wegen der gerade im Schleiinnern (Große Breite) auftretenden Faulschlammabildung als Hypertrophie bezeichnen.

Legende zu der nebenstehenden Tafel 19

Abb. 9: Oberflächenbeobachtungen im Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste im August 1954. Eiweiß in γ/l .



Tafel 20

OS_P ist in jedem Falle größer als die aus dem Eiweiß errechnete, wenn man von den außerordentlich niedrigen Werten der Station V absieht, die durch Fehlanalysen bedingt sein dürften. Allgemein beträgt die OS_{Ew} nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{10}$ der OS_P, gegenüber den z. T. > 1 gelegenen Werten der Schlei. Wir dürfen daraus den Schluß ziehen, daß in der Flensburger Förde ein großer Teil des geförmten P nicht an die lebende organische Substanz gebunden ist, sondern sich in sonstiger organischer bzw. anorganischer Form in Suspension hält. Die entsprechenden Vergleiche der Beobachtungen an der Westküste zeigen das Verhältnis $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{4}$.

5. Das Seegebiet vor der nordamerikanischen Ostküste

Zum Vergleich mit diesen Küstenuntersuchungen sei noch auf eine ältere Untersuchung von TH. von BRAND (1937) hingewiesen. In dieser Arbeit sowie anderen Publikationen wird eine große Anzahl von Bestimmungen des Gehaltes des Meerwassers an suspendiertem festem Stickstoff veröffentlicht. Diese Analysenwerte wurden hier für unsere Betrachtungen auf Eiweiß umgerechnet mit Hilfe des in der physiologischen Chemie üblichen Faktors 6,25. Bei diesem Verfahren ist es völlig klar, daß auch andere feste Verbindungen außer dem Eiweiß erfaßt werden, daß also wahrscheinlich der berechnete Eiweißwert größer ist, als wenn das Eiweiß direkt bestimmt worden wäre. Andererseits dürften durch die Methode der Materialgewinnung mittels eines voluminösen Niederschlages sehr kleine Eiweißpartikel bis herab zur kolloidalen Größenordnung erfaßt worden sein. Somit ist eine strenge Vergleichbarkeit nicht gegeben.

An Oberflächenwasser aus dem Gebiet der George Bank bestimmte v. BRAND im Juli 1936 z. B. 8 Einzelwerte, deren Mittel 175 γ Ew/l äquivalent wäre. Eine Vertikalstation im Gulf of Maine ergab z. B. in den obersten 100m Einzelwerte von 63 bis 213 γ Ew-Äquivalent/l mit einem Mittel von 120 γ /l. Gegenüber den in demselben Monat am Nordrand der Sargassosee gefundenen Werten, die maximal an der Oberfläche 69 γ Ew-Äquivalent/l und im Mittel der oberen 500m nur 26 γ /l betragen, ist das Gebiet der George Bank bzw. des Gulf of Maine doch recht stark eutrophiert. In derselben Untersuchungsreihe gibt v. BRAND auch Werte aus der Tiefsee an, die umgerechnet auf Eiweißäquivalent betragen:

Tiefe	0	401	977	4 980	5 480	5 979	6 477
Eiweißäquiv./l . .	112	25	5	18	13	19	16

Selbst wenn diese Umrechnungswerte aus den erwähnten Gründen nicht voll zutreffen, so zeigen sie doch, daß selbst in einem Gebiet, das allgemein in der biologischen Meereskunde als besonders arm in der Anzahl der Organismen gilt, noch sehr erhebliche Mengen von Biomasse vorkommen, die es uns wahrscheinlich machen, daß auch Filtrierer und Strudler dieser Tiefsee hinreichend Nahrungssubstanz vorfinden.

IV. Vergleichende Betrachtung der Beispiele.

Um die großen Unterschiede des Gehaltes an Biomasse in den hier behandelten Beispielen hervorzuheben, sind die errechneten Werte für die Gesamt-Biomasse, für deren autotrophen und deren heterotrophen Anteil in der Tabelle 8 zusammengefaßt. Da die Berechnungsgrundlagen für diese Werte im Verhältnis zu den vielgestaltigen jährlichen Schwankungen der Biomasse sehr spärlich sind, muß hier nochmals ausdrücklich auf den Stichprobencharakter der einzelnen Untersuchungen hingewiesen werden. Weiterhin ist zu bemerken, daß es sich ausschließlich um die Errechnung von Größenordnungen handeln kann, da ja die Relationszahlen von Fall zu Fall stark wechseln und Grundanalysen der organischen Substanz, von geförmtem P, Chlorophyll und Eiweiß an lebenden Planktern selten durchgeführt wurden.

Die aus der Tab. 8 ersichtlichen Unterschiede an Gesamt-Biomasse sind sehr groß. Sie umfassen annähernd drei Zehnerpotenzen, selbst wenn man das in jeder Hinsicht extreme Gebiet der Schlei ausgliedert. Man ist versucht, aus dieser Tabelle eine mehr oder minder hohe Trophie dieser und jener Gruppe herauszustellen. Dieses aber ist zunächst unzulässig, da außer den Werten von POSTMA alle nur in einer eng begrenzten Zeit beobachtet wurden und damit nicht die eingangs aufgestellte Forderung nach einer Erfassung über eine ganze Vegetationsperiode erfüllen. Ein Vergleich der Gruppen untereinander kann wohl eine provisorische Orientierung abgeben in der Richtung, daß die südliche Nordsee ärmer an Biomasse ist als das Seegebiet vor der schleswig-holsteinischen Westküste, wesentlich reicher jedoch als die Sargassosee.

Tabelle 8
Beispiele von Mittelwerten der Biomasse in γ Eiweiß/l.

Gebiet	Zeit	Biomasse			Bestimmungs- methode	Proben- zahl	Autor
		gesamt	auto- troph	hetero- troph			
Südl. Nordsee Engl. Kanalwasser	III. 52	152 82	2 21	150 61	Ew/Chl	12 10	KREY
Holl. Waddenzee	XI. 50 —II. 51	1750	—	—	N gef. P/ Chl.	11	POSTMA
Nordsee	1949	308 (104)	—	—			POSTMA
Waddenzee Ijsselmeer	—1952	740 (248) 868 (288)	80 —	660 (168) —			
Holl. Waddenzee, Malzwin	III./IV. 1954	733	420	313	Ew/Chl	56	KREY/ POSTMA
Westküste I } II } Oberfläche III }	VIII. 1954	203 256 722	100 120 220	103 136 502	Ew/Chl	60	KREY
Schlei 3 } 14 } Oberfläche	V. 1954	1600 10000	340 3520	1260 6480	Ew/Chl Ew/Chl	1 1	KREY
Flensburger Förde IV } VI } alle Tiefen	V. 1954	85 200	38 58	47 142	Ew/Chl	4 4	KREY
Sargassosee 0—500 m	VII. 36	21 52	— —	— —	N N	7 1	V. BRAND
George Bank 0 m	VII. 36	175	—	—	N	8	
Gulf of Maine 0 m	VIII. 36	143	—	—	N	4	

Eine Vergleichbarkeit wird auch durch die unterschiedlichen analytischen Mittel bzw. Umrechnungsfaktoren zur Bestimmung der Biomasse erschwert. Es soll hier der Versuch unternommen werden, die Werte für die Biomasse, die auf Grund des von POSTMA während mehrerer Jahre bestimmten geformten P berechnet wurden, auf

einen wahrscheinlichen Eiweißäquivalentwert zu reduzieren. Dazu bedienen wir uns des Mittels der Relation OS_P/OS_{Ew} , wie sie bei gleichzeitigen Bestimmungen von gef. P und Ew ermittelt wurde.

Waddenzee 1954 (Malzwin)	Westküste			Schlei		Flensburger Förde	
OS_P/OS_{Ew} 3.8	I	II	III	7	12	I	VI
	2.0	5.9	1.4	1.2	0.9	2.8	2.8

Aus den strenger miteinander vergleichbaren Untersuchungen in der Waddenzee und vor der Westküste läßt sich ein Verhältnis OS_P/OS_{Ew} von 3 abschätzen, d. h. also, daß nur $\frac{1}{3}$ der organischen Substanz, die aus geformtem P berechnet wurde, als lebende Substanz vorliegt. Wenn wir aus der Tab. 3 die Werte für den geformten P entsprechend reduzieren, dann ergibt sich als sogen. lebender P für die Nordsee im Jahresmittel 2.6γ P/l, für die Waddenzee 6.2γ P/l und für das Ijsselmeer von 7.2γ P/l. Das bedeutet, daß im Mittel über 2—3 Jahre an Biomasse in dem von POSTMA untersuchten Gebiet der Nordsee nur $104 \gamma/l$, in der Waddenzee 248γ und im Ijsselmeer 288γ Ew/l vorhanden sind.

Wenn wir diese Berechnung als Basis nehmen, dann liegen die im März/April beobachteten Mittelwerte der Gesamtbiomasse im Malzwin wesentlich über dem Jahresdurchschnitt. Dieser hohe Bestand, der mit 733γ Ew/l gegen 248γ etwa das Dreifache des Durchschnittes beträgt, wird zwanglos aus der lebhaften Frühjahrsblüte des Phytoplanktons erklärt. Gerade dieses Beispiel, das wegen des Fehlens von ständigen gleichzeitigen Bestimmungen von geformtem P und Biomasse vereinzelt bleibt, zeigt, in wie starkem Maße die Augenblicksuntersuchungen, die in Tab. 8 zusammengefaßt sind, von dem jeweiligen produktionsbiologischen Zustand des betreffenden Untersuchungsgebietes abhängig sind.

Aus der Umrechnung von POSTMAS Werten ergibt sich ferner, daß bei einem Mittelwert für die Biomasse von 248γ Ew/l auf Grund der Chlorophyllbestimmungen von dieser Menge 80γ Ew/l autotroph und 168γ Ew/l auf heterotrophe Biomasse entfallen. Auch dieses Verhältnis könnte produktionsbiologisch weiter ausgewertet werden, wenn seine Berechnungsgrundlagen besser gesichert wären.

Unabhängig von diesen starken Einschränkungen bleibt ein Vergleich der Werte der Biomasse und ihrer Komponenten, wenn wir in denselben Gruppen (Seegebieten bzw. Untersuchungsfahrten) bleiben. Hier zeigen sich sehr starke Unterschiede im Bestand an Biomasse, und es erscheint auf Grund der Eiweißbestimmungen zulässig, im Rahmen einer relativen Trophie das eine Teilgebiet als stärker eutrophiert als das benachbarte zu bezeichnen. Selbst wenn wir noch keine Möglichkeit sehen zu beständigen kurzfristigen Untersuchungen über den Gehalt an Biomasse an einem festen Punkt bzw. entlang eines festen Schnittes, so bleiben regionale Untersuchungen doch von erheblichem Wert und müssen als Vorstufe für die Dauerbeobachtungen weiterhin durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

- ALEEM, A. A.: Measurement of Plankton Populations by Triphenyltetrazolium Chloride. Kieler Meeresf. XI, 2, 1955. — VON BRAND, TH.: Observations upon nitrogen of the particulate matter of the sea. Biol. Bull., 72, 1937. — VON BRAND, TH.: Quantitative determination of nitrogen in the particulate matter of the sea. Journ. du Conseil Intern. p. l'Explor. de la Mer, 13, 1938. — FRIEDRICH, H.: Versuch einer Darstellung der relativen Besiedlungsdichte in den Oberflächenschichten des Atlantischen Ozeans. Kieler Meeresf. VII, 1950. — GILLBRICHT, M.: Produktionsbiologische Untersuchungen in der Kieler Bucht. Dissertation Kiel 1951. — HAGMEIER, A. u. KÜNNE, CL.: Die Nahrung der Meerestiere. Handbuch der Seefischerei Nordeuropas, I, 1951. — HARVEY, H. W.: The Chemistry and Fertility of Sea Waters. Cambridge 1955. — HARVEY, H. W.: The estimation of phosphate and total phosphorus in sea waters. J. Mar. Biol. Ass. 27, 1947. — JOHNSTON, R.: Biologically active compounds

in the Sea. Paper read at the meeting of the Hydrogr. Comm. of ICES 1954 at Paris. — KÄNDLER, R.: Hydrographische Untersuchungen zum Abwasserproblem in den Buchten und Förden der Ostseeküste Schleswig-Holsteins. Kieler Meeresforsch., IX, 1953. — KALLE, K.: Nährstoffuntersuchungen als hydrographische Hilfsmittel zur Unterscheidung von Wasserkörpern. Ann. d. Hydrogr., 65, 1953. — KALLE, K.: Der Einfluß des englischen Küstenwassers auf den Chemismus der Wasserkörper in der südlichen Nordsee. Ber. d. DWK., N. F. 13, 1953. — KALLE, K.: Stoffhaushalt des Meeres. In: DIETRICH, HORN, KALLE: Allgemeine Meereskunde. Borntraeger 1956 (im Druck). — KREY, J.: Plankton- und Sestonuntersuchungen in der südwestlichen Nordsee auf der Fahrt der „Gauss“ 1952. Ber. d. DWK, 13, 1953. — LOHMANN, H.: Untersuchungen zur Feststellung d. vollst. Gehaltes des Meeres an Plankton. Wiss. Meeresunters. Kiel, 10, 1968. — OHLE, W.: Beiträge zur Produktionsbiologie der Gewässer. Arch. f. Hydrobiol. Suppl. 22, 1955. — POSTMA, H.: Hydrography of the Dutch Waddensea. Arch. Néerland. de Zoologie, 10, 1954. — RUTTNER, FR.: Grundriß der Limnologie, 1952. — STEEMANN NIELSEN, E.: The Use of Radio-Active Carbon for Measuring Organic Production in the Sea. Journ. du Conseil, 18, 1952. — SVERDRUP, JOHNSON & FLEMING: The Oceans, New York 1946. SVERDRUP, H. U.: Some aspects of productivity of the sea. FAO Fisheries Bull., 5, 1952. — ZOBELL, CL.: Marine Microbiology, 1946.