

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 der Universität Kiel und dem Institut für Meeresforschung, Bremerhaven

Die Schichtungsverhältnisse im Pelagial des Bornholmbeckens

Über den Jahresgang einiger biotischer Faktoren¹⁾²⁾

VON STEFAN WELLERSHAUS

Zusammenfassung: In den Jahren 1959 bis 1961 wurden die Wasserschichten im Bornholmbecken hydrographisch und biologisch untersucht. Folgende typische Schichtung wird im Sommer beobachtet: eine „salzarme Oberschicht“ (0–50 m; 7–8 ‰ Salzgehalt) ist unterteilt in die „warme Deckschicht“ (bis 17°C) und in die kalte „Winterwasserschicht“ (4–6°C), darunter liegen salzreiche „Tiefenschichten“ (bis über 20‰ S.). Im Winter ist die salzarme Oberschicht homotherm, doch scheint es in ihr keine winterliche Vollzirkulation zu geben.

Zusammenfassend kann über die Jahresgänge biologisch wirksamer Elemente im Bornholmbecken das folgende Bild entworfen werden: Die erste Planktonblüte reicht im März noch bis in etwa 50 m Tiefe, sie ist also auf die ganze salzarme Oberschicht ausgedehnt. Im April beschränkt sie sich auf die oberen 20 m. Die zweite Blüte ist in der Winterwasserschicht nicht nachweisbar, sondern nur noch in der warmen Deckschicht. Eine Zeit geringen Gesamtphosphorgehaltes findet sich im Sommer nach der ersten Phytoplanktonblüte. Dann ist ein großer Teil des Phosphors gebunden und sedimentiert. Aus dem Nordosten werden weiter frische Phosphorvorräte herangeführt. Im August können während der Ausbreitung der warmen Deckschicht nach unten Nährsalzvorräte aus der Winterwasserschicht wieder nach oben gelangen, die hier kurzfristig akkumuliert waren. Im Juli enthält die warme Deckschicht 7 µg/l Gesamtphosphor, die Winterwasserschicht jedoch mehr als 10 µg/l. Im August steigt der Gesamtphosphor-Gehalt auf über 10 µg/l in der warmen Deckschicht und fällt auf unter 10 µg/l in der Winterwasserschicht. Auf diesen beiden Arten der Nährstoffzufuhr beruht sicher die zweite Phytoplanktonblüte. Im Winter findet man Phosphormaxima, jedoch dann sind Temperatur und Licht Minimumfaktoren, so daß sich keine Planktonblüte entwickeln kann.

So entsteht aus den hier gegebenen Diagrammen und den Kurven der Vertikalverteilung (WELLERSHAUS 1964) die folgende Vorstellung über die räumlich-zeitliche Verteilung des Gesamtphosphors: Im Winter ist er in der salzarmen Oberschicht ohne erkannte Regel verteilt; wahrscheinlich besteht eine Abhängigkeit von advektiven Veränderungen. Im Frühjahr verbraucht eine starke Phytoplanktonblüte den Phosphor und läßt ihn gebunden sedimentieren. Von Januar bis Juni sinkt der Gesamtphosphorgehalt

in der warmen Deckschicht	von 13 auf 7 µg/l,
in der Winterwasserschicht	von 13 auf 5 µg/l,
in den Tiefenschichten	von 30 auf 13 µg/l,
in Bodennähe	von 35 auf 25 µg/l.

Im Juni oder Juli findet sich ein Minimum in allen Wasserschichten. Nach den Phytoplanktonblüten wird der Phosphor in den vom Zooplankton bewohnten Schichten akkumuliert. Wenn die Zooplankter im Hochsommer abgestorben sind, tritt im Juli und August eine andere Verteilung des Gesamtphosphors auf: Maxima kennzeichnen die Sprungschicht und Minima die Winterwasserschicht. Denn nun wird die Phosphorverteilung beeinflußt von der vertikalen Dichteverteilung, die ihrerseits auf die Verteilung absinkender Partikel einwirkt (s. WELLERSHAUS 1964).

Im Frühjahr wird die erste Blüte verursacht durch hohen Nährsalzgehalt des Wassers und zunehmende Belichtung. Diese Blüte wird durch einen durchschnittlichen Chlorophyllgehalt von 1 µg/l dargestellt. Die zweite Blüte ist im Juli und im August nicht so ausgeprägt mit Werten um 0,6 µg/l. In der Zwischenzeit reichen die Chlorophyll-Durchschnittswerte von 0,0 bis 0,5 µg/l. Das Abflauen der Blüte ist eine Folge von Nährstoffmangel.

Jede der drei untersuchten Phytoplanktongruppen (die Blaualge *Aphanizomenon flos aquae*, Gymnodinien, nackte Flagellaten) hat einen eigenen Rhythmus, dieser ist immer mit einem Minimum im Juni und einem im Winter verbunden. Das trifft in erster Linie für die warme Deckschicht zu. Nur

¹⁾ Teil II der 1963 der naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian Albrechts-Universität zu Kiel vorgelegten Dissertation (verändert). Für Anregung und Förderung dieser Arbeit danke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. J. KREY, Kiel.

²⁾ Diese Arbeit widme ich dem Andenken von FRIEDRICH KÖRTE († 27. 6. 62).

die nackten Flagellaten sind in ihrer Gesamtheit unabhängig von der hydrographischen Schichtung. Die anderen Nanoplankter (wahrscheinlich auch Diatomeen) sind an die Oberfläche gebunden.

Das noch verhältnismäßig neue Arbeitsgebiet über den Detritus soll hier noch erwähnt werden: Die Jahreskurven in der warmen Deckschicht ähneln den analogen Kurven der heterotrophen organischen Substanz. Wahrscheinlich besteht dieser Detritus aus Faeces und Zerfallsprodukten der Zooplankter. In der Winterwasserschicht und darunter werden die Verhältnisse komplizierter.

Aus der Art des Jahresganges des Zooplanktons (heterotrophe o. S.) wird über die Winterwasserschicht folgendes ausgesagt (s. auch WELLSHAUS 1964): Diese Schicht kann nicht als ein selbständiger Biotop gegen die Nachbarschichten abgegrenzt werden, sondern man kann sie eher als ein Pejus-Gebiet des Biotops salzarme Oberschicht ansehen; gegen die Tiefenschichten jedoch ist eine Abgrenzung wohl möglich.

The Pelagic Stratification in the Bornholm Basin (Summary): (About the annual variations of some biotic factors). In the years 1959 till 1961 the water layers of Bornholm Basin (Baltic Sea) were investigated hydrographically and biologically. During the summer the following typical layers exist (figure 1): A "low salinity upper layer" ("salzarme Oberschicht"; 0—50 m; 7—8‰ salinity) is divided in the "warm cover layer" ("warme Deckschicht"; up to 17°C) and the cold "winter water layer" („Winterwasserschicht“; 4—6°C), below which the high salinity "deep layers" („Tiefenschichten“; up to more than 20‰ s.) are situated. During winter the upper layer is homotherm, but there seems to be not any total winter circulation.

Summarizing the following figure can be drawn about the annual variations: In March the first plankton flowering (fig. 2) reaches down to 50 m, it is extended to the whole low salinity layer. But in April it only is confined to the upper 20 m. The second flowering can be shown in the warm cover layer, but not in the winter water layer. In summer after the first plankton blooming one can find a minimum of total phosphorus (fig. 3); then most of the phosphorus is bound and sedimented. From the north-east (Öland Straits) new phosphorus stocks will be brought near the surface. During August when the warm cover layer is extending downward stocks of nutrient salts can be taken up by the cover layer from the winter water layer, in which they had been accumulated during a short time. In July the warm cover layer contains 7 µg/l total phosphorus, the winter water layer > 10 µg/l; later in August the warm cover layer contains > 10, the winter water layer < 10 µg/l. By these two modes of nutrient provisions surely the second phytoplankton flowering is induced. During winter there are phosphorus maxima, but low temperature and light conditions now hinder plankton development.

From this and from the curves of vertical distribution of several factors in the Bornholm Basin given in another paper (WELLSHAUS 1964) one can imagine the following about the space-time distribution of the total phosphorus: During winter it is distributed in the low salinity layer without any perceived rule; probably a dependence on advective motion of water masses exists. In spring a strong phytoplankton flowering consumes the phosphorus, so that it sediments as particulate phosphorus. From January to June the total phosphorus contents decrease

in the warm cover layer	from 13 to 7 µg/l,
in the winter water layer	13 to 5 µg/l,
in the deep layers	30 to 13 µg/l,
near the bottom	35 to 25 µg/l.

The lowest contents are found in June or July, respectively, in all layers. After the first phytoplankton flowering the phosphorus will be found in the upper parts of the discontinuity layer, where it may be accumulated by a zooplankton population. In July and August when most of the zooplankton is dead the total phosphorus is distributed otherwise: Now its distribution is influenced from the density distribution, which influences the distribution of sinking particles. These sink slowly in the discontinuity layer and quickly in the winter water layer. Thus the total phosphorus distribution in summer depends on zooplankton populations and on density changes with the depth (WELLSHAUS 1964). In the discontinuity layer are maxima and in the winter water layer minima.

In spring the first blooming is caused by high nutrient salt contents and increasing light. This blooming has average contents of chlorophyll of 1 µg/l. In July and August the second flowering is weaker with contents of 0.6 µg/l. In the mean time the average contents are 0.0 to 0.5 µg/l. The decreasing of the flowering is caused by nutrient salt depletion.

Three phytoplankton groups (the blue-green alga *Aphanizomenon flos aquae*, *Gymnodiniaceae*, naked flagellates) were examined (fig. 4—6). Each has its own rhythm but all have one minimum in June and one in the winter, especially in the cover layer region. The naked flagellates as a whole are independent on hydrographical layers, the other nanoplankters (probably also the diatoms, which could not have been counted) are bound to the surface.

About the relative new field of detritus (fig. 10) the following may be said: The annual variation curves in the warm cover layer resemble to the analogous curves of heterotrophic organic matter

(fig. 7—9; computed from albumin equivalents according to KREY 1951, KREY 1956 = biomass of zooplankton, colorless flagellates, bacteria). Probably this detritus is composed of faeces and decay products of zooplankton. In the winter water layer the circumstances are more complicated.

The mode of annual variations of zooplankton (heterotr. org. matter) indicates the following about the winter water layer (see also WELLERSHAUS 1964): This layer is not a proper biotop but can be regarded as a pejus region of the biotop *low salinity upper layer*; on the other hand there seems to be a real boarder against the deep layers.

I. Einleitung

In den Jahren 1959—1961 wurden im Pelagial des Bornholmbeckens die physio-graphischen und biologischen Verhältnisse untersucht. Besondere Aufmerksamkeit erfuhr die Schichtung innerhalb der salzarmen Oberschicht. Die Darstellungen der hydro-graphischen Verhältnisse fußen außer auf eigenen Beobachtungen auf Daten aus dem Nautisk Meteorologisk Aarbog (mehrere Jahrgänge), von SCHULZ (1956) und WÜST (1957). Es wurden untersucht: Temperatur (mit Kippthermometer und Bathythermo-graph), Salzgehalt (Eintauchrefraktometer von ZEISS), Seston (nach KREY 1950), Chlorophyll (nach KREY 1939), Eiweiß (nach KREY 1951 und KREY, BANSE und E. HAG-MEIER 1957), Gesamtphosphor (KALLE 1935 und WATTENBERG 1937), Nanoplankter-anzahl, Detritusvolumen; größenordnungsmäßig berechnet wurden die heterotrophe und autotrophe organische Substanz aus den Werten des Eiweiß und des Chlorophylls (nach KREY 1956). Zur Untersuchung der Nanoplankter und des Detritus wurde die folgende Methode angewandt: Die aus 100 ml Probenflüssigkeit (mit LUGOLSCHER Lösung konserviert nach UTERMÖHL 1958) in Zählkammern sedimentierten Plankter und Partikel wurden im umgekehrten Mikroskop gezählt bzw. photographiert. Das Detritus-volumen wurde anhand der Photographien mit dem Teilchengrößenzähler von ZEISS bestimmt. Genauere Angaben hierüber und über die Analysenergebnisse sind aus der Originaldissertation zu ersehen, die sich in den Archiven des Instituts für Meeres-forschung in Bremerhaven und des Instituts für Meereskunde in Kiel befindet.

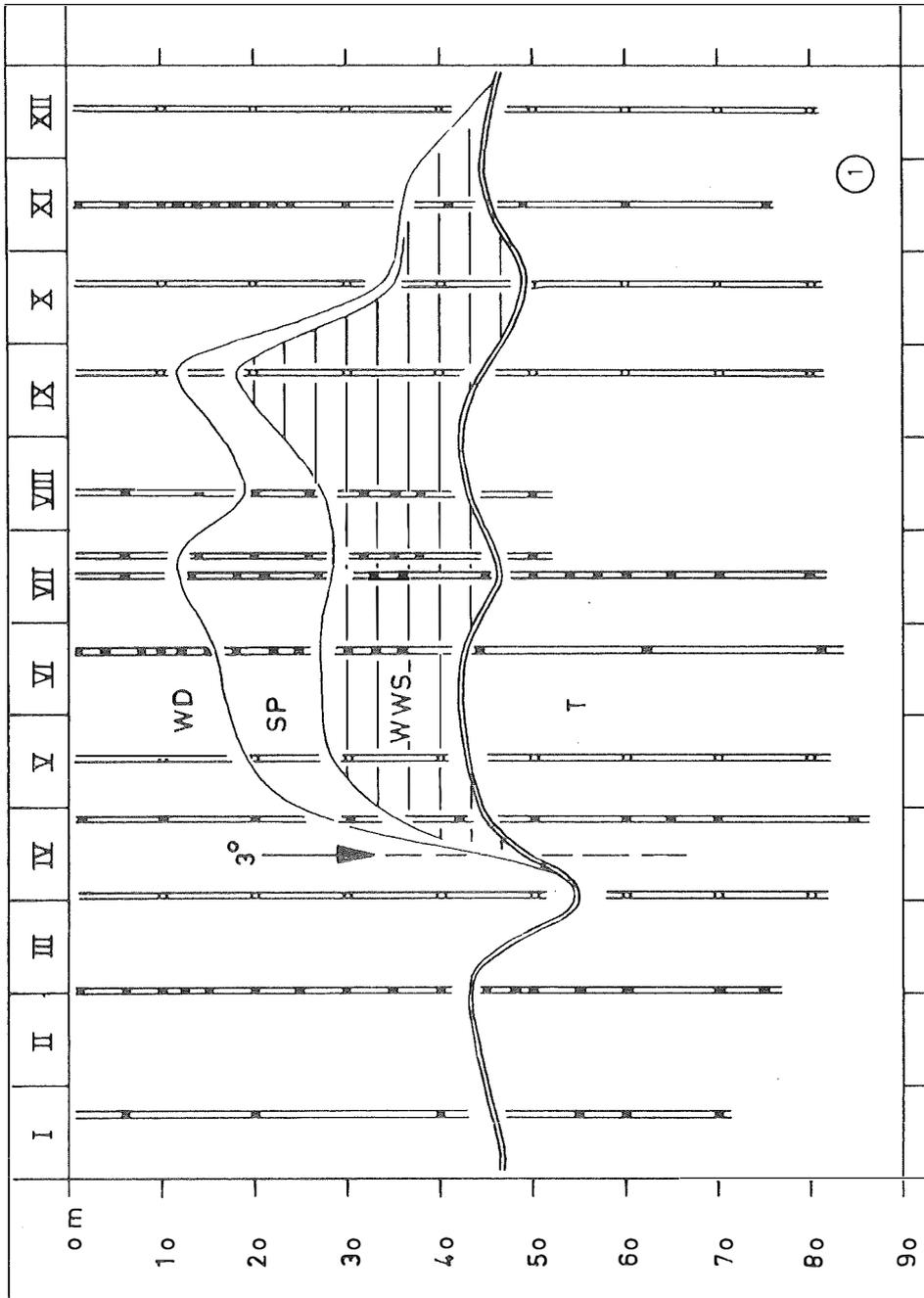
Die Bornholmsee wird hier wie bei WATTENBERG (1949) verstanden, das Bornholm-becken wird wie bei SCHULZ (1956, p. V., Tafel A) von der 60 m-Linie umgrenzt.

II. Hydrographie

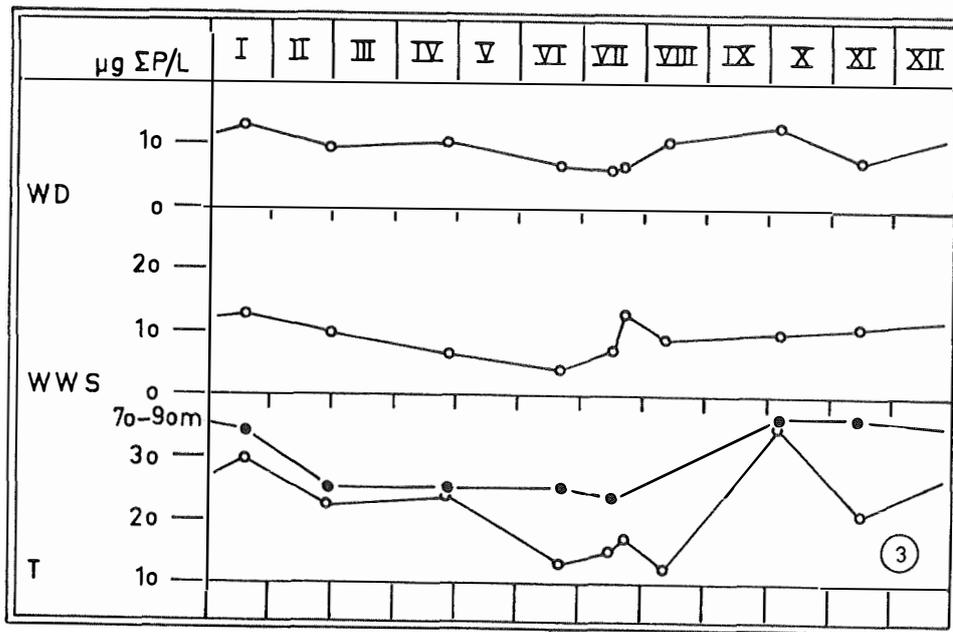
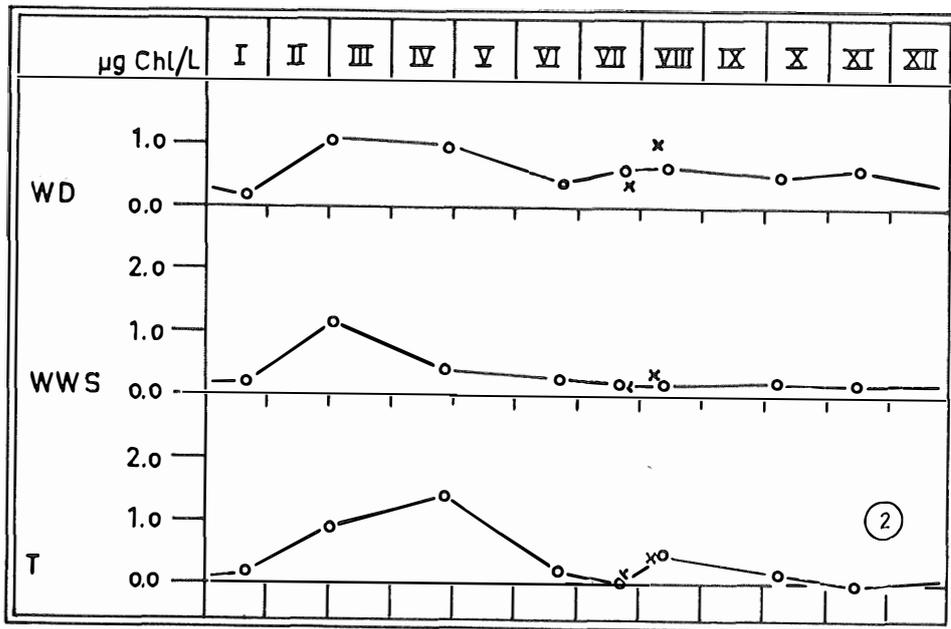
Durch die weitgehend abgeschlossene Lage erinnert die zentrale Ostsee an einen Süßwassersee. Doch besitzt die Ostsee unter der „salzarmen Oberschicht“ ($7-8\text{‰}$ Salzgehalt; 0—50 m) eine Reihe salzreicher „Tiefenschichten“ (bis über 20‰ S.). Durch den starken Dichtesprung sind beide Schichten weitgehend voneinander isoliert. Die salzarme Oberschicht unterliegt jahreszeitlichen Veränderungen (Abb. 1), die den Vorgängen im Süßwassersee gemäßigten Klimas sehr ähneln: Im Frühjahr erwärmt sich eine Oberflächenschicht („warme Deckschicht“) stärker als das tiefer gelegene Wasser, dieses konserviert die winterlichen Temperaturen (sommerliche „Winterwasser-schicht“). Die Schichten trennen sich, wenn die Oberflächentemperatur etwa 3°C beträgt (zwischen Mitte März und Ende April). Die Winterwasserschicht erwärmt sich bis zum Jahresende auf etwa $4-6^{\circ}\text{C}$, die warme Deckschicht bis Anfang September

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

Abb. 1: Auf- und Abbau der hydrographischen Schichtung im Laufe eines Jahres (1960), etwas schematisiert. Ausgefüllte Punkte: eigene Probennahmen; offene Punkte: ergänzende Daten aus Naut. Met. Aarbog; 3° : Zeitpunkt, an dem sich die Oberfläche auf 3°C erwärmt hat; doppelte Linie: ungefähre Verlauf der oberen Grenze der Salzsprungschicht; WD: warme Deckschicht; SP: Sprungschicht; WS: Winterwasserschicht; T: Tiefenschichten.



Tafel 1 (zu St. Wellershaus)



Tafel 2 (zu St. Wellershaus)

um etwa 17° gegenüber der Wintertemperatur. Im Hochsommer nimmt die warme Deckschicht nur noch die obersten 15—20 m ein, ab Juli/August breitet sie sich auf Kosten der Winterwasserschicht wieder nach unten aus, so daß nun Wasser aus der Winterwasserschicht in die warme Deckschicht gelangen kann.

Wie aus den Salzgehaltswerten ersichtlich ist (Nautisk Meteorologisk Aarbog; eigene Daten), scheint es nur selten zu einer Totalzirkulation in der salzarmen Oberschicht zu kommen; nur die oberen 30 m werden im Winter regelmäßig durchmischt.

Wie bereits an anderer Stelle gezeigt (WELLERSHAUS 1964), scheint die Hauptnährsalzzufuhr in die Bornholmsee mit Oberflächenströmungen aus der Richtung der Ölandstraße zu kommen. Doch werden sicher auch von der ab Juli nach unten vordringenden warmen Deckschicht Nährsalze aus der Winterwasserschicht übernommen, die dort vorübergehend akkumuliert waren. Vermutlich wird die Winterwasserschicht an den Rändern des Bornholmbeckens gelegentlich mit Nährsalzen aus den Tiefenschichten versorgt, es lassen sich nämlich Schichtungsunruhen aus den Daten von SCHULZ (1956) ableiten (s. Originaldiss.).

III. Jahresgang einiger physiographischer und biologischer Erscheinungen

Aus dem Süßwasser sind in den gemäßigten Breiten zwei Phytoplanktonblüten bekannt — eine im Frühjahr und eine im Spätsommer. Die erste Blüte wird durch die Zunahme von Licht und Temperatur, Nachlassen der Durchmischung und ein gutes Angebot von Nährsalzen veranlaßt. Für die zweite Blüte ist allein eine neuerliche Nährsalzzufuhr aus der Tiefe die Ursache, die aus der Absenkung der Sprungschicht bzw. einer warmen Deckschicht resultiert. Im Bornholmbecken jedoch kann kein nährsalzreiches Tiefenwasser nach oben kommen, da die Schichtung mit Ausnahme der oberen 50 m das ganze Jahr über stabil bleibt. Möglich sind im Sommer kleinräumige, turbulenzbedingte Austauschvorgänge innerhalb der salzarmen Oberschicht und advective Nährstoffzufuhr in Oberflächennähe.

1. Chlorophyll: Der Nachweis der Phytoplanktonblüten ist anhand der Chlorophyllanalysen möglich (Abb. 2): Die erste Blüte wird im März und im April festgestellt — sie beginnt schon im Februar und klingt im Mai aus. Die zweite Blüte ist im Juli und August nicht so ausgeprägt, sie wird durch eine nur geringe Erhöhung des Chlorophyllgehaltes sichtbar.

Im Januar und März ist die salzarme Oberschicht noch nicht in Winterwasserschicht und warme Deckschicht geschieden (die in die Kurve eingetragenen Werte sind deshalb ein Mittel aller Messungen der gesamten Oberschicht). Die Phytoplanktonblüte reicht im März bis in die Tiefenlage der späteren Winterwasserschicht hinab. So findet man in der salzarmen Oberschicht durchschnittlich 1,0 µg/l Chlorophyll, als Höchstwerte 1,5 µg/l. Wie aus einem hier nicht dargestellten Diagramm hervorgeht (WELLERSHAUS 1964, Abb. 8), liegen in der ganzen untersuchten Wassersäule (bis 70 m) die Chlorophyllwerte kaum unter 0,6 µg/l.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 2: Jahresgang des Chlorophylls im Bornholmbecken (Mittelwerte). Zeichen wie bei Abb. 1; x: Werte von 1956 (BANSE 1957).

Abb. 3: Jahresgang des Gesamtphosphors (Mittelwerte). Die Werte für die Bodenschicht (70—90 m) sind gesondert eingetragen.

Im April ist das Phytoplanktonvorkommen fast ganz auf die oberen 20 m beschränkt. Mit einem Chlorophyllgehalt von 1,2 bis über 2 $\mu\text{g/l}$ in den Maximalwerten und zwischen 0,0 und 0,6 in den Minimalwerten zeigt sich deutlich eine Schichtung (WELLERSHAUS, Abb. 8). Diese ist jedoch nicht abhängig von der eben erst eintretenden hydrographischen Schichtung sondern von den Lichtverhältnissen: Die Planktonbevölkerung ist inzwischen so stark geworden, daß sie die tieferen Schichten verdunkelt, und daß die Kompensationstiefe nach oben rückt (s. unten). Diese Ansicht wird von den hohen Sestonwerten gestützt (Abb. 11).

Im Juni ist die Phytoplanktonblüte beendet, in der warmen Deckschicht liegen die Chlorophyllwerte zwischen 0,2 und 0,8 $\mu\text{g/l}$, in der Winterwasserschicht zwischen 0,0 und 0,2 $\mu\text{g/l}$. Auch hier wird Nährsalzmangel die Ursache für das Ende der Blüte sein. Im Juli und August findet sich die zweite Phytoplanktonblüte. In der Winterwasserschicht wird diese Blüte nicht nachgewiesen. Auch die Sestonwerte sind nun in der warmen Deckschicht hoch (0,6 mg/l) und in der Winterwasserschicht niedrig (0,3 mg/l , Abb. 11).

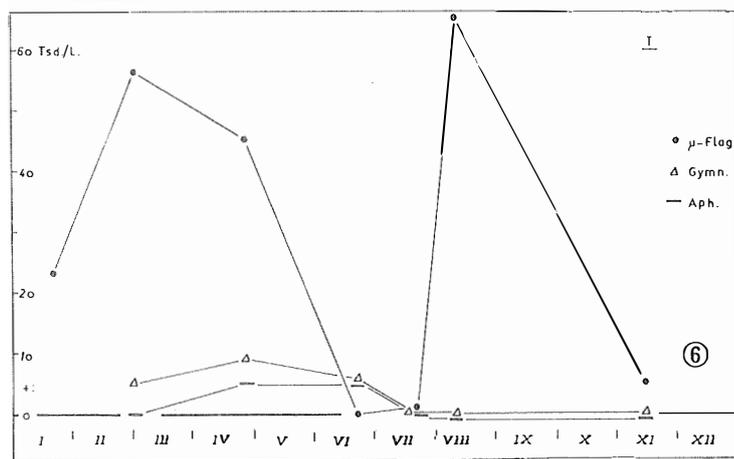
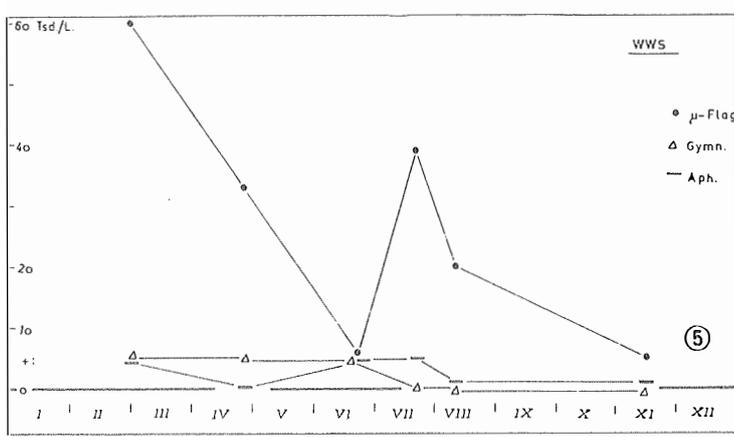
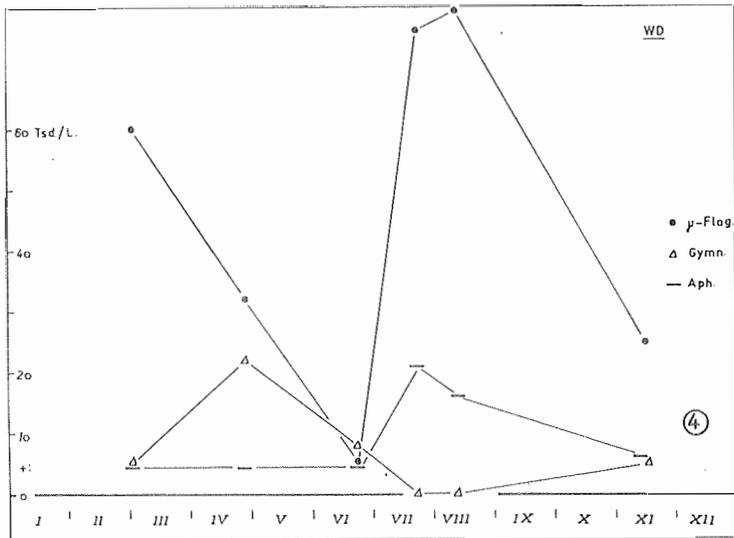
In den Tiefenschichten findet sich im April viel Chlorophyll. Wahrscheinlich werden hier Folgeprodukte der Frühjahrsblüte angetroffen. Fraglich bleibt, woher dieses Chlorophyll stammt, ob es von oben abgesunken oder mit seitwärts — aus dem Arkonabecken — eingeschobenem Detritus mitgeführt wird (s. auch WELLERSHAUS 1964). Gegenüber den starken Schwankungen in der warmen Deckschicht sind in der Winterwasserschicht die Kurven ausgeglichener. Dieser stärkere Wechsel in der Oberflächennähe kann auf die Lebensvorgänge zurückgeführt werden, die sich hier abspielen und die selbst starkem Wechsel unterworfen sind. Auch in den Tiefenschichten schwanken die Werte mehr; das hängt dort wahrscheinlich mit der Verschiedenheit und dem Wechsel der Wasserkörper zusammen.

Die Kompensationstiefe ist zwar nicht untersucht worden, doch sei hier eine Bemerkung über ihre zeitlichen Veränderungen gestattet: Wenn im Zuge der Frühjahrsplanktonblüte die Wasserschichten unter der warmen Deckschicht vom Plankton verdunkelt werden, muß zwangsläufig die Kompensationstiefe nach oben rücken. Dem wirkt die wachsende Sonnenhöhe entgegen, die die Kompensationstiefe nach unten verschieben könnte, da das Wasser nun länger und in größere Tiefen hinein beleuchtet werden kann als beispielsweise im Winter. Doch ist die Wirkung der Beschattung durch das Plankton stärker, denn die Phytoplanktonblüte drängt sich im April in den oberen 15—20 m zusammen (WELLERSHAUS 1964, Abb. 8). So müßte man einen Jahresgang der Kompensationstiefe feststellen können, der sowohl vom Sonnenstand wie von der Durchlässigkeit des Wassers abhängt.

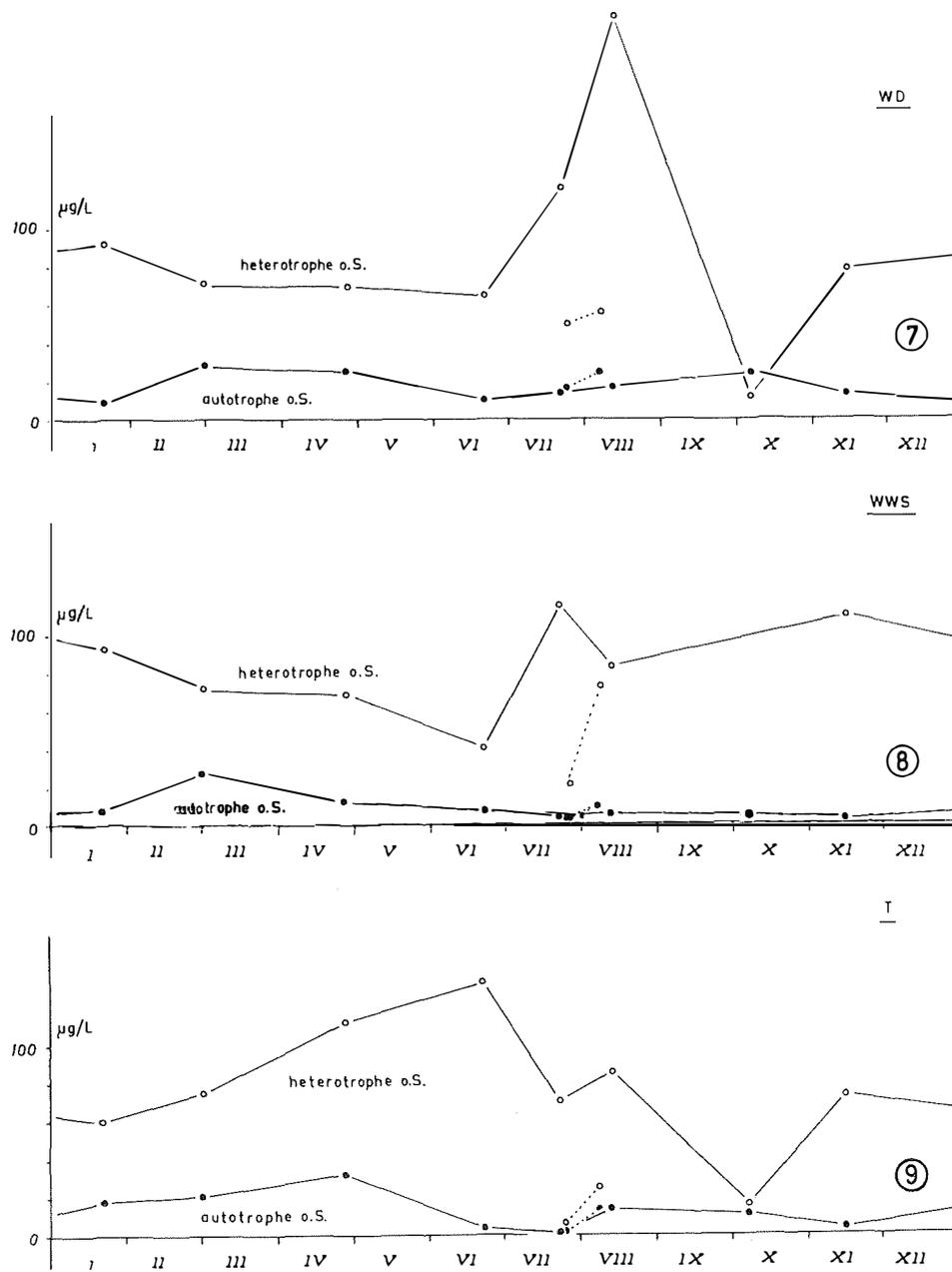
2. Gesamtphosphor (Abb. 3): Jede Schicht ist ausgezeichnet durch ein Sommerminimum im Juni oder Juli und ein Herbst- oder Wintermaximum. Der Grund für diesen typischen Jahresgang ist wahrscheinlich folgender: In Oberflächennähe werden dauernd relativ nährsalzreiche Wasserkörper in die Bornholmsee geführt. Während der großen, ersten Planktonblüte werden dem Wasser mehr Nährsalze entnommen als zu anderen Zeiten, diese werden gebunden und sedimentiert, gehen den oberen Schichten verloren. Am Ende dieser Blüte findet man die Gesamtphosphorminima, selbst über dem Grund in 70—90 m Tiefe. Die zweite Blüte im Hochsommer ist von geringerer

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 4—6: Anzahl der Nanoplankter im Jahresgang (Mittelwerte). μ -Flag.: nackte Flagellaten; Gymn.: Gymnodiniaceen; Aph.: *Aphanizomenon flos aquae*; +: es wurden nur wenige Exemplare festgestellt; weitere Zeichen wie bei Abb. 1.



Tafel 3 (zu St. Wellershaus)



Tafel 4 (zu St. Wellershaus)

Kraft. Sie wird wahrscheinlich möglich durch neue Nährsalzzufuhren (s. Phosphorzunahme). Im Winter ist die Nährsalzzehrung überall gering, die nach dem Westen vordringenden Wasserkörper sind nährsalzreicher, und der Phosphorgehalt erhöht sich.

In der warmen Deckschicht hat der Gesamtphosphor im Juli erst sein Minimum, obwohl die erste Blüte bereits im Juni ausgeklungen ist, wie die Chlorophyllkurve zeigt. Zwei Ursachen sind möglich: Einmal können noch Reste partikulär gebundenen Phosphors vorhanden sein, die im Juni noch zu den relativ hohen Werten führen, obwohl kein freies Phosphat mehr für die Pflanzen erhältlich ist. Zum anderen sind die aus dem Nordosten (s. oben) in die Bornholmsee einströmenden Wasserkörper im Juni ebenso nährstoffarm, wie in der Bornholmsee selbst und erst später können nährstoffreichere Wasserkörper herankommen, die dann die zweite Blüte auslösen. Diese Ansichten sind noch nicht belegt; ein Profil durch die Ölandstraße im Juli könnte die nötigen Unterlagen bringen. Die Kurve der Winterwasserschicht ist ähnlich der der warmen Deckschicht, nur ausgeglichener, abgesehen von einem Extremwert im Juli. Dieser Wert deutet auf eine Akkumulation von Phosphor in der Winterwasserschicht, dieser Phosphor kann zum Teil beim hochsommerlichen Tieferdringen der warmen Deckschicht wieder an diese abgegeben werden.

Die Phosphorzunahme im Hochsommer beruht also wahrscheinlich auf zwei Mechanismen: einmal auf der oberflächennahen Zufuhr aus dem Nordosten, und zum anderen damit verbunden auf der Zufuhr aus der Sprungschicht aufgrund tiefer reichender Turbulenz (s. o.).

Während in Oberflächennähe das Phosphorminimum im Juli auftritt, steigt zu dieser Zeit der Phosphorgehalt in der Winterwasserschicht und in der Tiefe schon wieder an. Wie die Kurve der 70—90 m Tiefen zeigt, schwanken hier die Phosphorwerte vergleichsweise wenig, mit einer Amplitude von etwa 12 $\mu\text{g/l}$ innerhalb eines Jahres. Durch den hohen Phosphorgehalt kann diese Schicht ausgleichend auf eben darüber liegende Wasserkörper wirken. Sie kann Phosphor aufnehmen und wieder abgeben, wie ein „Schwamm“ wirken, wie KREYER 1957 in einem Vergleich beschreibt.

3. Nanoplankton (Abb. 4—6): Drei wichtige Gruppen der Nano- und Mikroplankter werden auf ihre Periodizität untersucht: die Blaualge *Aphanizomenon flos aquae* RALFS, die Gymnodinien (GYMNODINIACEAE) und alle nackten Flagellaten. *Aphanizomenon* wird in Oberflächennähe in der Bornholmsee oft angetroffen. Die Alge kommt nach LAKOWITZ (1929) vom Bottnischen Meerbusen bis zum Öresund und Großen Belt vor. Nach BRANDES (1939) wird eine Massenproduktion erst östlich der Darsser Schwelle gefunden. Eine Wasserblüte, wie sie in Teichen gelegentlich vorkommt (FORT 1959), scheint in der Ostsee noch nicht beobachtet zu sein. Danach scheint *Aphanizomenon flos aquae* eine sehr anpassungsfähige, breit euryhaline Art zu sein, die ihr Optimum im Süßwasser hat. In den hier verarbeiteten Proben werden kleine Flocken mit höchstens zwei Dutzend Trichomen nur sehr selten beobachtet, meistens sind es einzelne, im Durchschnitt 100 μ lange Fäden.

Unter den Gymnodinien werden hier alle erkannten Vertreter dieser Familie zusammengefaßt. Die zum Teil erheblichen Größenunterschiede — *Gymnodinium lohmanni* ist etwa 100 μ lang — bleiben hier unberücksichtigt, denn die großen Arten sind selten und spielen bei der Angabe der Anzahl keine Rolle. Die Zählmethode gestattet nicht, die Mikro- und Nanoplankter einzeln nach der Art zu bestimmen; auch sind viele unkennt-

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 7—9: Jahresgang des Gehaltes an organischer Substanz (Mittelwerte der Trockensubstanz). Gestrichelt: Werte von 1956 (BANSE 1957); Zeichen wie bei Abb. 1.

lich geworden. — Außer den membrantragenden Gymnodinien werden die nackten Flagellaten gezählt; sie können mehreren systematischen Gruppen angehören. Sie sind monadoide Formen oder Entwicklungsstadien (z. B. Sporen von Braunalgen). Nach der äußeren Gestalt scheinen sie zum größten Teil *Heterochloridales* (*Xanthophyceae* = *Heterocontae*) zu sein (FORT 1959, p. 126). Die Diatomeen (*Bacillariophyceae*) können hier nicht behandelt werden, da nur wenige Exemplare gefunden wurden. Die von HENTSCHEL (1951) untersuchten Proben, in denen er zum Teil viele Diatomeen fand, stammen aus anderen Jahreszeiten als die hier bearbeiteten.

In den Abbildungen 4—6 ist als erstes ein Minimum im Juni auffällig. Dieses Minimum wird auch weiter festgestellt in den Kurven der warmen Deckschicht für die heterotrophe organische Substanz, die autotrophe o. S. und den Gesamtphosphor (Abb. 7—9 und 3). Das andere Minimum im Winter ist allgemein und bedarf keiner Erklärung. Maxima werden anhand der Planktondiagramme von Februar bis April und von Juli bis August gezeigt — so, wie sie sich ähnlich in den Chlorophyllkurven finden (Abb. 2).

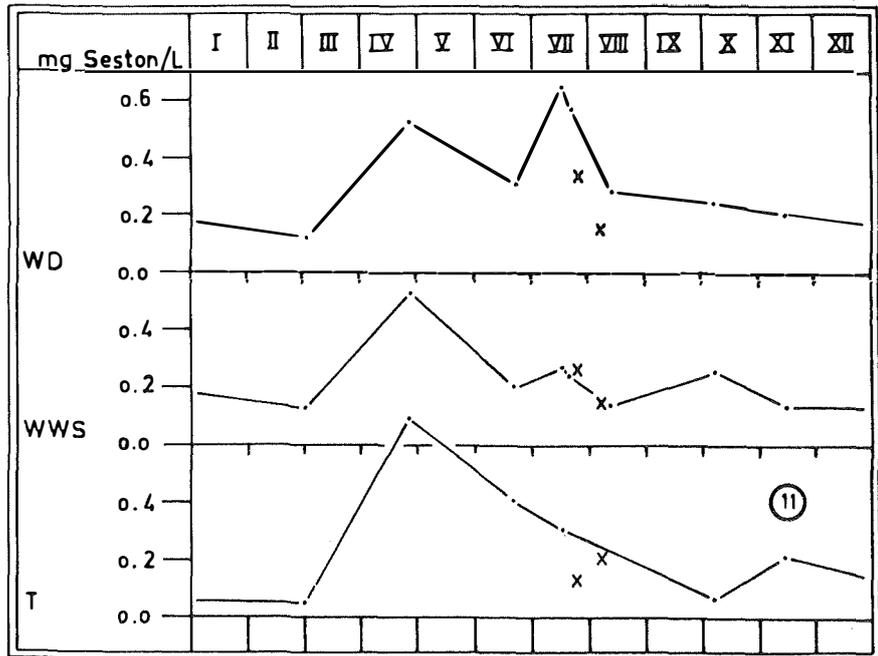
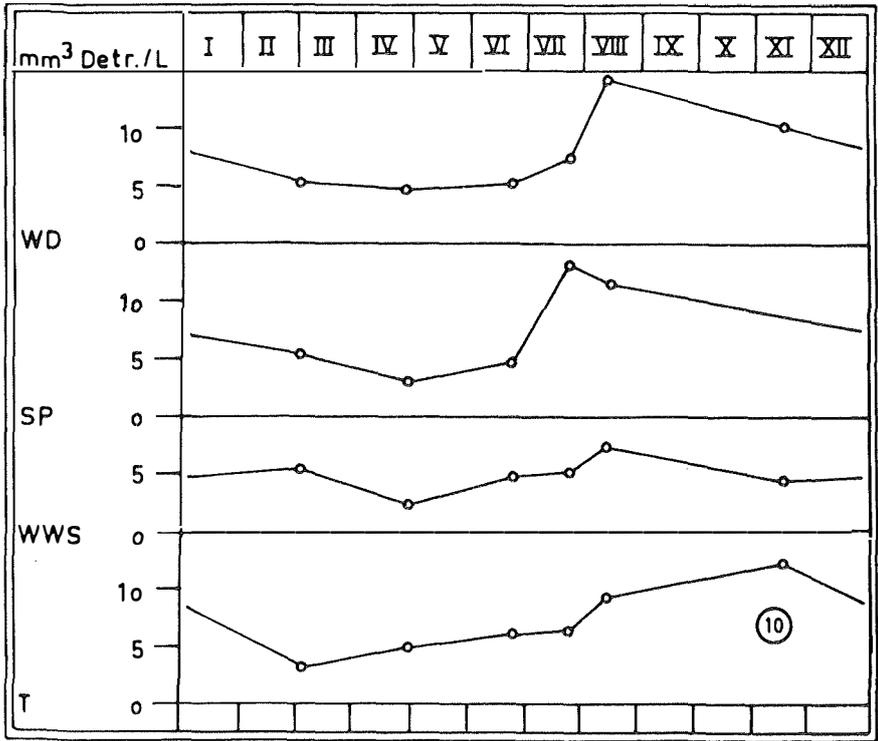
Aphanizomenon flos aquae wird in der warmen Deckschicht immer gefunden, jedoch nur im Juli und August in größeren Mengen. In der Winterwasserschicht sieht man diese Alge selten und in geringerer Konzentration. Sie scheint nicht dahin zu gehören, sondern nur eingeschwemmt oder abgesunken zu sein. Auch in den tieferen Schichten wird sie selten und in geringer Menge beobachtet. — Die meisten Gymnodinien werden im April gefunden. Auch sie leben hauptsächlich in der warmen Deckschicht und weniger in der Winterwasserschicht und der Tiefe, wohin sie wahrscheinlich verschlagen werden. — In völlig anderer Weise sind die nackten Flagellaten verteilt: Die geringe Zahl im Juni ist schon erwähnt worden. Auf den Stationen von März bis Juni gleichen sich alle Schichten untereinander. Jedoch ab Juli — wenn wahrscheinlich die einzelnen Schichten mehr isoliert sind als im Frühjahr — finden sich größere Unterschiede: Während die stärkste Blüte in der warmen Deckschicht beginnt, ist in den Tiefen noch nichts zu bemerken, die Winterwasserschicht nimmt eine Mittelstellung ein. Im August ist in der warmen Deckschicht die Blüte noch nicht abgeklungen, und nun wird sie auch in den Tiefenschichten bemerkbar; die Winterwasserschicht enthält jetzt aber relativ wenige nackte Flagellaten. — Im November sind nur noch in der warmen Deckschicht größere Mengen von Flagellaten, in der inzwischen sehr eingeschrumpften Winterwasserschicht und in der Tiefe sind nur noch wenige. Die Kurve der warmen Deckschicht ist von ihrer Spitze im Hochsommer stark abgefallen, doch sind immer noch mehr nackte Flagellaten als im Juni zu finden. — Aufgrund einer Probe vom 21. Januar 1960 aus 63 m Tiefe können auch aus dieser Tiefe nackte Flagellaten angegeben werden.

4. Heterotrophe organische Substanz: Die Menge (Biomasse) des Zooplanktons und der chlorophyllfreien Flagellaten sowie der Bakterien wird ungefähr repräsentiert von der „heterotrophen organischen Substanz“, die sich aus den mittels der Biuret-Methode bestimmten Eiweißäquivalenten errechnet (KREY 1951 und KREY, BANSE und E. HAGMEIER 1957). In den Abbildungen 7—9 wird der Jahresgang des Gehaltes (Trockensubstanz) an heterotropher o. S. (offene Kreise) und an autotropher o. S. (aus der Chlorophyllmenge nach KREY 1956 berechnet) in den drei wichtigen Schichten dargestellt. Die Menge an heterotropher o. S. ist fast immer größer als die der autotrophen o. S. Das sagt jedoch noch nichts über die Produktionsgrößen, denn das Phytoplankton hat eine viel schnellere Generationsfolge als das Zooplankton.

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

Abb. 10: Jahresgang des Detritus (Mittelwerte). Zeichen wie bei Abb. 1.

Abb. 11: Jahresgang des Sestons (Mittelwerte). x: Werte von 1956 (BANSE 1957); weitere Zeichen wie bei Abb. 1.



Tafel 5 (zu St. Wellershaus)

Der Jahresgang der autotrophen o. S. ist in dem Kapitel über das Chlorophyll besprochen worden. Die Kurven der heterotrophen o. S. zeigen ganz andere Verhältnisse: Im August fallen besonders hohe Werte in der warmen Deckschicht auf, die jedoch nicht genügend belegt sind (zwei extrem hohe Werte!). Dennoch ist im Hochsommer dieses Maximum erkennbar, das einem fröhsommerlichen Minimalwert der gesamten salzarmen Oberschicht folgt. Die längere Lebensdauer der Zooplankter scheint einen Jahresgang nicht so sinnfällig zu machen wie die kurze der Phytoplankter. Auch hat es hier den Anschein, als ob das Zooplankton nicht so sehr an die hydrographische Schichtung gebunden sei wie das Phytoplankton. Denn die zeitlichen Verteilungstypen sind in der warmen Deckschicht und in der Winterwasserschicht ähnlich, doch liegen in dieser die Werte etwas niedriger. Dann entspräche die Winterwasserschicht mehr einem Teil-Gebiet des Biotops „salzarme Oberschicht“, diesem ständen die Tiefenschichten als weiteres oder weitere Biotope gegenüber. Die Unterschiede zwischen warmer Deckschicht und Winterwasserschicht wären mehr quantitativer als qualitativer Art, die Winterwasserschicht wäre ein Pejus-Gebiet der gesamten Oberschicht. — Hier wie auch bei den anderen Jahresgang-Kurven fällt auf: In der warmen Deckschicht schwanken die Werte zeitlich viel stärker als in der Winterwasserschicht. Das beruht auf der vergleichsweise geringen Lebenstätigkeit in der letzteren. Aus den Abbildungen 7—9 werden die folgenden Durchschnittswerte geschätzt:

	gesamte o. S. µg/l	autotr. o. S. µg/l	heterotr. o. S. µg/l
warme Deckschicht . . .	ca. 100	15—20	80
Winterwasserschicht . .	90	10	80
Tiefenschichten	90	10	80

5. Detritus: In der Abbildung 10 ist der Jahresgang des Detritus-Volumens in der warmen Deckschicht, der Sprungschicht, der Winterwasserschicht und den Tiefenschichten dargestellt. Die Kurve der warmen Deckschicht ähnelt sehr der entsprechenden Kurve der heterotrophen o. S. (Abb. 7); es scheint also eine Verbindung zwischen dem Zooplankton und dem Detritus zu bestehen: Nach der Größenordnung der in diesen Untersuchungen gemessenen Detrituspartikel (10—105 µ) kann es sich bei ihnen um Faeces und Zerfallsprodukte von Zooplanktern gehandelt haben. — Doch ist noch eine andere Deutung möglich: Die gemessene heterotrophe o. S. kann zum großen Teil zu Bakterien gehören. Diese leben in erster Linie auf Detrituspartikeln (s. auch SVERDRUP et al. 1957). Einer großen Menge Detritus kann eine große Menge von Bakterien entsprechen und folglich auch eine große Menge heterotropher o. S. — In der Winterwasserschicht und in den Tiefenschichten besteht keine Ähnlichkeit zwischen den Detrituskurven und denen der heterotrophen o. S. Das hat seinen Grund in folgendem: Der Detritus der warmen Deckschicht ist in erster Linie autochthon — auf die einzelnen Schichten bezogen. In der Winterwasserschicht hingegen kommt zu dem autochthonen Detritus der absinkende aus der warmen Deckschicht. Die Wirkungen beider Schichten überlagern sich, und die Beziehungen zwischen Detritus und heterotropher o. S. müssen hier sehr viel komplizierter sein als in den oberen Schichten.

Die Detrituskurve der warmen Deckschicht ist schon mit der Kurve der heterotrophen o. S. erklärt: Aus einem Zooplanktonmaximum im August ergibt sich etwa zu derselben Zeit ein Detritusmaximum. — Die Kurve der Winterwasserschicht ist wieder ein Beispiel für die geringen Schwankungen in dieser Schicht. Wie schon an anderer Stelle gezeigt, ist das eine Folge von vergleichsweise geringer biotischer Tätigkeit in der Winterwasserschicht, und daraus folgert wiederum: Der Detritus hängt in hohem Maße von den Lebensvorgängen ab.

6. Seston (Abb. 11): Hier fällt in allen Schichten das Maximum im April auf, das mit der ersten Phytoplanktonblüte zusammenzuhängen scheint. In den Tiefenschichten spiegeln sich beide Planktonblüten wider, ebenso in der Winterwasserschicht.

Literaturverzeichnis

- BRANDES, C.-H. (1939): Räumliche und zeitliche Unterschiede in der Zusammensetzung des Ostseeplanktons. Mitt. Hamb. Zool. Mus. u. Inst. 48. — FOTT, B. (1959): Algenkunde, Jena, 482 pp. — HENTSCHEL, E. (1952): Untersuchungen über das Plankton des Bornholmbeckens, Berichte der DWK, Meeresforschung N. F. XII, p. 216—315. — KALLE, K. (1935): Meereskundliche chemische Untersuchungen mit Hilfe des Zeisschen Pulfrich-Photometers. V. Die Bestimmung des Gesamtphosphorgehaltes und Trübungsmessungen. Ann. Hydrogr. 63, p. 195—204. — KREY, J. (1939): Bestimmung des Chlorophylls in Meerwasserschöpfproben, J. du Cons. Perm. intern Explor. Mer, 14, p. 201—209. — KREY, J. (1950): Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung des Planktons, Kieler Meeresf. VII, p. 58—75. — KREY, J. (1951): Quantitative Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuret-Reaktion, Kieler Meeresf. VIII, p. 16—29. — KREY, J. (1956): Trophie küstennaher Meeresgebiete, Kieler Meeresf. XII, p. 46—64. — KREY, J., BANSE, K. und HAGMEIER, E. (1957): Über die Bestimmung von Eiweiß im Plankton mittels der Biuret-Reaktion, Kieler Meeresf. XIII, p. 35—40. — LAKOWITZ, K., (1929): Die Algenflora der gesamten Ostsee, Danzig. — Nautisk-Meteorologisk Aarbog, Nautical Meteorological Yearbook, Kopenhagen. — SCHULZ, B. (1956): Hydrographische Untersuchungen in der Ostsee 1925—1938, Dt. Hydr. Ztschr. Erg. Heft B/1. — SVERDRUP, H., JOHNSON, M., FLEMING, R. (1957): The Oceans, Englewood Cliffs, N. J., 1087 pp. — UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik, Mitt. int. Ver. Limnol., 9. — WATTENBERG, H. (1937): Critical Review of the Methods Used for Determining Nutrient Salts and Related Constituents in Salt Water, Rapp. Proc.-Verb. Reun. CIII, 1. Methoden zur Bestimmung von Phosphat usw. im Seewasser, 33 pp. — WATTENBERG, H. (1949): Entwurf einer natürlichen Einteilung der Ostsee, Kieler Meeresf. VI, p. 10—15. — WELLERSHAUS, St., (1964): Die Winterwasserschicht im Bornholmbecken, Veröffentl. Inst. Meeresf. Bremerhaven, IX, Heft 1. — WÜST, G. (1957): Ergebnisse eines hydrographisch-produktionsbiologischen Längsschnittes durch die Ostsee im Sommer 1956, I.: Die Verteilung von Temperatur, Salzgehalt und Dichte, Kieler Meeresf. XIII, p. 163—185.