

ABHANDLUNGEN

AUS DEM LANDESMUSEUM DER PROVINZ WESTFALEN

MUSEUM FÜR NATURKUNDE

Unter Mitwirkung des Westfälischen Naturwissenschaftlichen Vereins e.V.

herausgegeben von

Dr. Bernhard Rensch und Dr. Paul Graebner

Direktor Direktorassistent
des Landesmuseums für Naturkunde, Münster (Westf.)

9. JAHRGANG 1938

HEFT 2

PRODUKTIONS BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNG DES
PELAGIALS DES GROSSEN HEILIGEN MEERES

UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
SEINES EISENHAUSHALTES

VON KARL FERDINAND KRIEGSMANN, DORTMUND

Erschienen 3. VI. 1938

Westfälische Vereinsdruckerei A.-G. vormals Coppenrathsche Buchdruckerei, Münster i. W.

Inhalt

	Seite
Einleitung	5
Geomorphologie des Großen Heiligen Meeres * und seiner Umgebung	9
Geographische Verhältnisse	9
Geologische Verhältnisse	9
Morphometrische Werte des Sees	12
Physikalische Verhältnisse	17
Wellen und Strömungen	17
Die Zuflüsse des Gr.H.M.	19
Optische Verhältnisse	23
Temperaturverhältnisse	27
Chemische Verhältnisse	30
Methodik	30
Chemie der Fern- und Nahumgebung des Pelagials des Gr.H.M.	33
Das Litoral	33
Das Profundal	34
Die Zuflüsse des Gr.H.M.	35
Chemie des Pelagials	39
Wasserstoffionenkonzentration	39
Sauerstoff	40
Kohlensäure (freie CO ₂)	41
Eisen (Fe ⁺⁺ und Fe ⁺⁺⁺)	43
Phosphor (lösliches P)	48
Stickstoffverbindungen	54
Kalk (Gesamthärte)	55
Alkalinität	55
Kieselsäure (SiO ₂)	55
KMnO ₄ -Verbrauch	56
Schwefelwasserstoff	57
Die Plankter des Gr.H.M. und die Methodik ihrer quantitativen Erfassung und Darstellung	58
Methodik des Fanges und seiner Verarbeitung	58
Des Nannoplanktons	58
Des Mesoplanktons (Die „Doppelkammer“)	58
Der Crustaceen	65
Die Plankter des Gr.H.M.	66
Produzenten	66
Consumenten	70
Die Auswertung der Zählungen	72

* im Folgenden mit Gr.H.M. abgekürzt.

	Seite
Die Produktionsbiologie des Pelagials	74
Vorbemerkungen	74
P als Minimumstoff	76
Über die Ernährung des Zooplanktons	79
Der jahreszeitliche Ablauf der Produktion an Organismen im Pelagial des Gr.H.M. bei Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Zusammenhänge	83
Das Produktionstief im Winter	84
Der Produktionsanstieg während der Winterstagnationsperioden und während der Frühjahrsteilzirkulation	87
Das Produktionstief der Zeit beginnender Schichtenstabilisierung	89
Das Produktionshoch während der Sommerstagnation	91
Die Produktionsabnahme in der Zeit der Sprungschichtwanderung zur Tiefe	96
Das Produktionstief der herbstlichen Vollzirkulation	97
Versuch der Verallgemeinerung eines Teiles der Ergebnisse und die Einordnung des Gr.H.M. in die Systeme der Seetypenlehre	99
Angeführtes Schrifttum	103

Einleitung

Mit den Vorarbeiten dieser Untersuchungen wurde im Herbst 1934 begonnen. Aber erst von September 1935 ab waren an der neu eingerichteten biologischen Station im Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ die Apparate vorhanden, die ich für die quantitative Erfassung der Plankter benötigte.

Die Angliederung der chemischen Methoden zur Bestimmung von 14 verschiedenen Stoffen konnte bis zum März 1936 durchgeführt werden. Die Verhältnisse an der Station waren während meiner Anwesenheit noch recht primitiv. Bis auf den letzten Monat meiner Arbeit besaß ich z. B. als einzige stärkere Lichtquelle nur eine Petroleum-Drucklampe. Der schlechte Anschluß an das Bahnnetz zwang mich auch dazu, alle Instrumente, Chemikalien usw. auf dem Motorrad zur Station zu schaffen. 7000 bis 8000 km mußte ich zu dem Zweck mit schwerem Gepäck und zu allen Jahreszeiten auf den Fahrten zwischen der Station, Münster und Dortmund zurücklegen. Die einsame Lage des Gr.H.M. hatte dazu noch den Nachteil, daß alle Arbeit auf dem See von mir allein durchgeführt werden mußte, was besonders die Ausführung der sofort im Boot anzufertigenden Analysen (CO_2 , pH ...) erschwerte. Mitte Dezember 1936 konnte ich die Untersuchungen am Gr.H.M. abschließen. Die Beobachtungen umfassen also einen Zeitraum von fast 16 Monaten. Nebenbei sei noch erwähnt, daß gleichzeitig von mir der „Erdbruch“ mit der gleichen Sorgfalt untersucht wurde wie das Gr.H.M., während über die anderen Gewässer des Naturschutzgebietes und über das „Kleine Heilige Meer“ nur wenige Daten vorliegen. Wegen der großen Menge des zu verarbeitenden Materials, und besonders wegen des großen Umfanges, den diese Arbeit bei Einbeziehung der erwähnten Untersuchungen erhalten würde, habe ich eine ausführliche Darstellung des Erdbruches und einen Vergleich mit dem Gr.H.M. und dem Kleinen Heiligen Meer einer späteren Veröffentlichung zugedacht.

Die vorliegende Arbeit versucht, durch die Aufdeckung der im Gr.H.M. den jahreszeitlichen Lebensablauf bestimmenden Faktoren ein einigermaßen abgerundetes Bild von der „produktionsbiologischen Reaktion“ des Gr.H.M. zu geben. Die in der Praxis der Untersuchungen zu verwirklichenden Ziele konnten durch die Nutzung neuzeitlicher und schneller Methoden erreicht werden.

Die Kompliziertheit der in Frage stehenden Vorgänge bewirkt, daß ihre Darstellung von vornherein auf die Erörterung der allgemein wichtigen

Zusammenhänge beschränkt werden muß. Die Erwähnung vieler Einzelheiten würde bei der Notwendigkeit, physikalische, chemische, geographische, geologische, botanische und zoologische Ergebnisse in Beziehung zu einander zu bringen, die Anschaulichkeit nur beeinträchtigt haben.

Das Ziel war, eine möglichst in sich geschlossene und abgerundete Darstellung des quantitativen Geschehens im Pelagial eines Sees zu geben, das bisher nur aus meist heterogenen Ergebnissen verschiedener Forscher an verschiedenen Seen und aus verschiedenen Jahren erschlossen werden kann.

Den deskriptiven Teilen der Arbeit mußte besondere Sorgfalt zugewandt werden, da z. B. über die morphologischen, physikalischen und chemischen Verhältnisse des Gr.H.M. bisher nichts bekannt geworden war.

Das zusammengetragene Material ist recht umfangreich. Etwa 500 Zählungen und ein Vielfaches davon an chemischen Bestimmungen und physikalischen Messungen konnten verwertet werden.

Vor meinen Ausführungen möchte ich allen denen, die mir bei meiner Arbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben, meinen herzlichen Dank sagen. Dieser Dank gebührt an erster Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. H. J. FEUERBORN-Berlin, für seine stets rege Anteilnahme an dieser Arbeit. Herrn Dr. EINSELE-Langenargen, verdanke ich durch Vermittlung meines Freundes Dr. NÜMANN eine Reihe wertvoller Hinweise betreffs der Ausführung der chemischen Analysen. Herr Zahnarzt Dr. PÄLTZ, der seit 20 Jahren am Heiligen Meer die Fischerei ausübt, konnte mir manche wichtige Mitteilung aus seinen bisherigen Erfahrungen machen. Für die Hilfe beider Herren meinen Dank auch an dieser Stelle. Zu besonderem Dank bin ich der Provinzialverwaltung und der Leitung des Provinzialmuseums für Naturkunde in Münster verpflichtet für die Überlassung eines Arbeitsplatzes an der Station am Heiligen Meer. Das Zoologische Institut der Universität Münster stellte mir einen Teil der benötigten Apparate und Chemikalien und eine Zeit lang auch einen Arbeitsplatz zur Verfügung, wofür ich hier ebenfalls meinen Dank abstatte. Dem Entgegenkommen von Herrn Professor SEIDEL, Direktor des Zoologischen Institutes der Universität Berlin, verdanke ich nach der Versetzung von Herrn Professor FEUERBORN einen Arbeitsplatz im Zoologischen Institut Berlin. Hier konnte ich die Auswertung meiner Untersuchungen vornehmen, wobei mir die Bibliothek des Institutes und die des Museums für Naturkunde, die ich mit der gütigen Erlaubnis des Direktors des Museums, Herrn Professor ZIMMER, benutzen durfte, eine wertvolle Hilfe waren. Beiden Herren bin ich dadurch zu großem Dank verpflichtet.

Die Bestimmung einiger in ihrer Stellung schwieriger Planktonorganismen übernahmen dankenswerterweise die Herren Dr. DORFF (Eisenbakterien), KIEFER (Copepoden) und MENTHE (Rotatorien).

Meiner Braut, Fräulein ANNELIESE BRENKEN, verdanke ich die Schreibmaschinenarbeiten zur ersten Niederschrift und zur Reinschrift der Arbeit, die logarithmische Nachrechnung sehr vieler Analysenresultate, sowie die endgültige Ausführung eines Teiles der Zeichnungen.

Ende Juli 1937 wurde die Arbeit als Manuskript abgeschlossen. Die vorliegende Arbeit wurde als Dissertation von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin angenommen.

Geomorphologie des Großen Heiligen Meeres und seiner Umgebung

Geographische Verhältnisse.

Das Große Heilige Meer ($7^{\circ} 38'$ östlicher Länge von Greenwich, $52^{\circ} 21'$ nördlicher Breite) liegt im Norden Westfalens, im Kreise Tecklenburg, kurz vor dem nördlichen Abfall des Teutoburger Waldes, an der Straße Ibbenbüren—Hopsten, etwa 4 km südlich von Hopsten. Seine Höhe über dem Meere beträgt 43 m. Das Klima seiner Umgebung ist das feucht-milde atlantische Klima Nordwesteuropas. Es leben hier nach GRAEBNER (1930) noch typisch atlantische Pflanzenvereine in seltener Ursprünglichkeit, die weiter südlich immer mehr verschwinden.

Die geringe Eisbedeckung des Gr.H.M. im Winter, seine ausgeprägte Temperaturschichtung im Sommer, seine ziemlich gleichmäßige Wasserführung (s. Pegelbeobachtungen S. 22 und Abb. 8) im Verlauf des Jahres und sein mäßig gutes Lichtklima, alles das ist von dem erwähnten feuchtmilden Witterungscharakter abhängig. Gleich wichtigen Einfluß erhält das Klima noch durch das Einzugsgebiet auf den See. Dort untersteht ihm besonders durch seinen Niederschlagsreichtum die Wasserführung der Zuflüsse des Gr.H.M. und die Ausbildung der Grundwasserverhältnisse des Gebietes. Die Feuchtigkeit des Bodens hängt außerdem mit der Moor-, Ortstein-, Raseneisenerz- und Eisenockerbildung in der Umgebung des Gr.H.M., und dadurch, wie wir später sehen werden, mit den wichtigsten Vorgängen im Leben des Sees überhaupt zusammen.

Die Landschaftsformen der näheren Umgebung des Sees, insbesondere seines Einzugsgebietes, zeigen nur noch innerhalb des Naturschutzgebietes ihre natürliche Beschaffenheit. Kärgliche Heide, anmoorige Stellen, Hochmooranflüge, große und kleine Wasserflächen beherrschen das abwechslungsreiche Bild.

Geologische Verhältnisse.

Die Abhängigkeit der landschaftlichen Eigenheiten des Gebietes vom geologischen Aufbau seines Untergrundes hat besonders für die Entstehung und die Morphologie der Gewässer des Naturschutzgebietes eine große Bedeutung. Nach TIETZE (1913) bedecken den Raum zwischen Hopsten und dem Ibbenbürener Plateau (genannt das „Heilige Feld“) mächtige Talsande, die am Ende des Diluviums beim Rückzug des abschmelzenden Eises in dem hier gelegenen Urstromtal abgelagert wurden. Diese diluvialen Sande sind

außerordentlich nahrungsarm, vor allem fehlen Ca, N und P, womit die Grundlage für die Ausbildung der oben angedeuteten Vegetationsverhältnisse gegeben ist. Die oberen Schichten des Bodens sind zudem noch stark ausgelaugt, und unter den Bleichsanden der Heide ist eine mehr oder weniger starke Ortsteinbildung zu erkennen. Der Eisengehalt der Sande, der in diesen Bildungen sich bemerkbar macht, und der an den feuchten Stellen oft Eisenerz und Raseneisenerz entstehen läßt, ist Ursache vieler noch später zu besprechender Erscheinungen im Gr.H.M., und in seinen Zuflüssen.

Die Talsande des Heiligen Feldes haben nach TIETZE (1913) und WEGNER (1913) eine solche Mächtigkeit, daß die Seen des Gebietes mit ihren Tiefen bis zu 12 m kaum andere Schichten anschnneiden dürften. Die Entstehung der vielen auf engem Raum zusammengedrängten Tümpel, Wei-

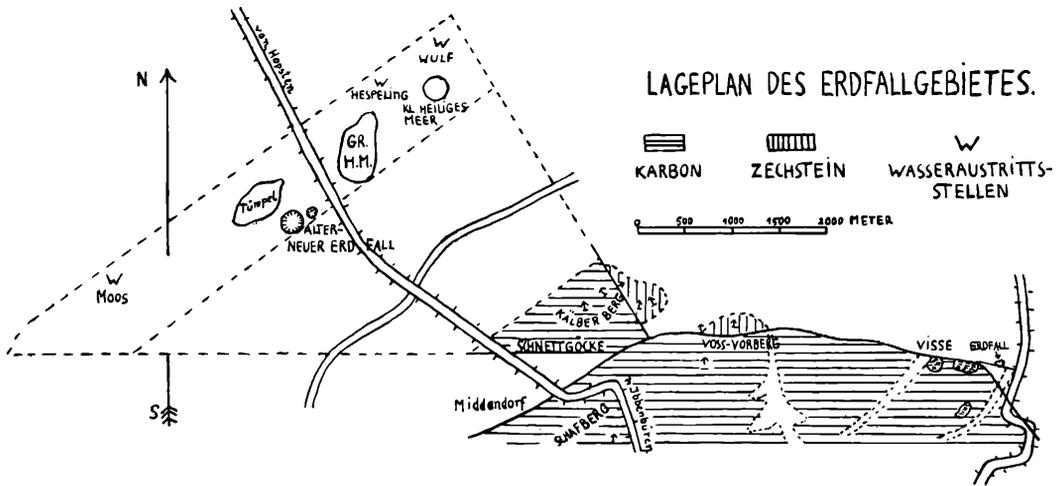
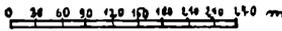
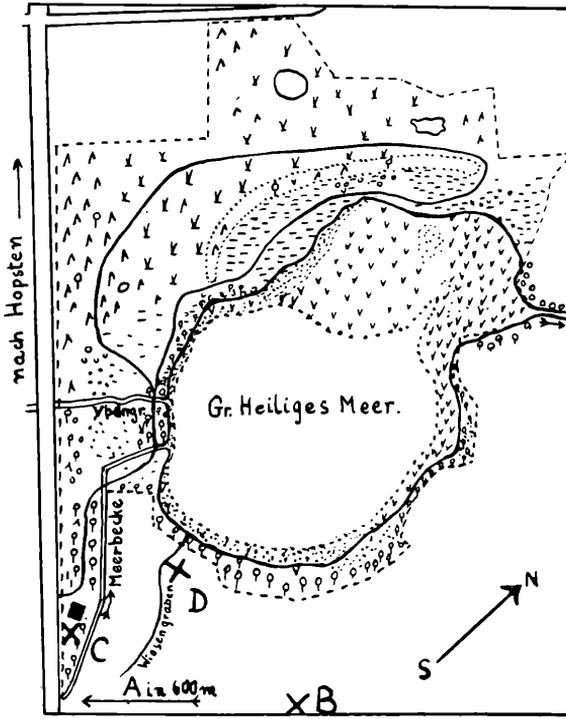


Abb. 1. Nach O. Tietze (1913) und H. Poelmann (1934).

her und Seen hängt auf das Engste mit der Beschaffenheit der unter den Sanden liegenden Gesteinsschichten zusammen. Das Kärtchen nach TIETZE (Abb. 1) mag das näher erläutern. Die Abbildung läßt erkennen, daß der Streifen, in dem das Heilige Meer gelegen ist, einen Horst, ähnlich dem Kälberberg, darstellt. Dieser Horst wird an seinen Schmalseiten im Nordosten und Südwesten von den Verwerfungen begrenzt, die auch die Form des Kälberberges bestimmen. „In diesem Horst liegen die Zechsteinschichten relativ hoch und die Gipslager unterliegen allmählicher Auslaugung. Da bei unmittelbarer Überlagerung des Zechsteins durch die Diluvialsande ein allmähliches Nachsinken des Sandes während des Auslaugungsprozesses erfolgen würde, so muß man annehmen, daß der Zechstein mit seinen Gipsen und Salzen noch von einer festen Decke Buntsandstein überdeckt ist“ (POELMANN 1934). Die Gewässer dieser Gegend entstanden nämlich, wie TIETZE, POELMANN und WEGNER annehmen, und wie es durch das plötzliche Einbrechen des „Erdfallsees“ am 14. 4. 1913 bewiesen wurde,

durch Einsturz der, die jüngeren Schichten tragenden, Buntsandsteindecken über schon lange bestehenden Hohlräumen. Die teller- oder napfartige, stets kreisrunde Form aller dieser Erdfälle ist eine Folge ihrer besonderen Entstehung.



Zeichenerklärung.

- | | |
|--|---|
| = Scirpeto-Phragmitetum | = Kiefernwald |
| = Anders zusammengesetzte Litoralflora (Equisetum, Carex, Sparganium...sp) | = Heide (Calluna, Erica und Krüppelkiefern) |
| = Am Seeufer Erlenbruch sonst Laubbäume | = Kulturland |
| = Anmoorige Stellen (mit ausgedehnten Beständen von Myrica gale) | = Grenze des Naturschutzgebietes. |

Abb. 2. Das Große Heilige Meer und seine Umgebung.

In diesem Zusammenhang sollen die morphologischen Verhältnisse des Gr.H.M. näher erörtert werden. Abbildung 2 zeigt seine ovale, in der Längsachse nord-südlich gerichtete Form. Das eigentliche, tiefe Seebecken liegt kreisförmig im Süden des Ovals. Die bewachsene Uferbank bricht rund um das Becken herum plötzlich und mit einer kleinen, senkrechten Stufe in einem steilen Böschungswinkel ab. Nur der zum Ausfluß der Meerbecke hin gelegene Zipfel des tiefen Teiles läuft sanft nach unten und oben aus.

Morphometrische Werte des Sees.

Länge und Breite des Sees sind in der Zeichnung nach dem Meßtischblatt bestimmt. Seine Breite wurde außerdem von mir auf dem See nachgemessen. Als Grundlage zu Abbildung 3 diente Abbildung 2, die wiederum unter Beachtung der amtlichen Flurkarte angefertigt wurde.

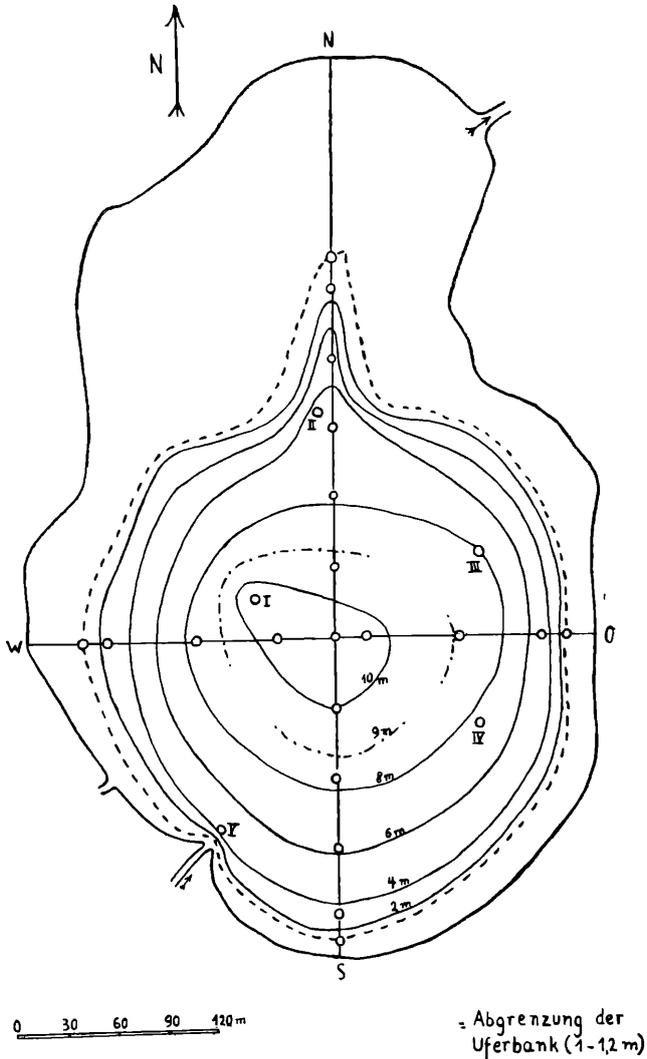


Abb. 3. Tiefenkarte des „Großen Heiligen Meeres“.

Die Auslotung des Gr.H.M. mußte leider von mir allein vorgenommen werden. Es reichte daher nur zu 2 Profilen, zu einer Lotung rings um den See in ungefähr 5 m Abstand von der Uferbank (Schilfrand) und zur Lotung an einigen leicht festzulegenden Punkten. Ein windstiller Sommertag (2. 6. 35) ermöglichte das einwandfreie Festlegen des Bootes bei den ein-

zelenen Messungen. Insgesamt 53 Lotungen sind die Grundlage zu dem Entwurf der Tiefenkarte (Abb. 3). Trotz der nicht sehr großen Zahl der Lotungen glaube ich für die hier zu verfolgenden Zwecke eine hinreichende Genauigkeit verbürgen zu können; und das umso mehr, als die Form des Beckens schon nach den Gründen seiner Entstehung eine ganz regelmäßige sein mußte, was sich besonders durch die Auslotung der beiden senkrecht auf-

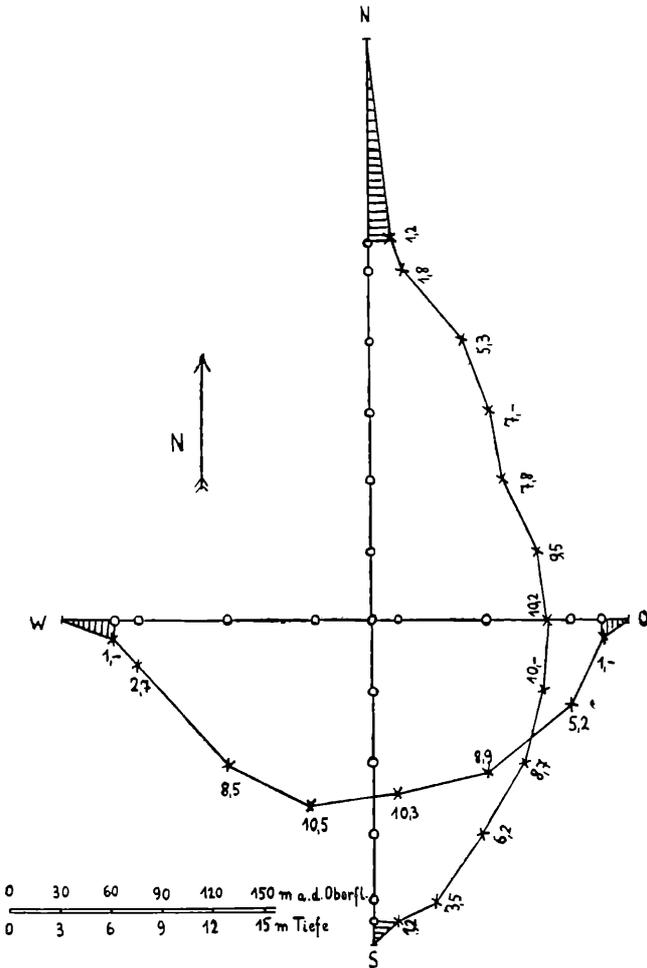


Abb. 4. Aufriß der Lotungsprofile von Abb. 3.

einander stehenden Profile bestätigt hat (Abb. 4). Die erwähnte Lotungsreihe rings um den See diente zur näheren Festlegung der 2 m Isobathe. Die angegebenen Einzelmessungen entsprechen folgenden Tiefen: I = 10,5 m; II = 7,— m; III = 8,— m; IV = 7,— m; V = 4,5 m.

Durch Auflegen eines Stückes durchsichtigen Millimeterpapiers auf die Zeichnung (Abb. 3) und durch das Auszählen seiner Quadrate für die von

den Isobathen eingeschlossenen Flächen erhielt ich die Grundlage zur Errechnung der folgenden Daten:

Gesamtoberfläche des Gr.H.M.:	12,6 ha
Oberfläche des Gr.H.M. ohne die bewachsene Uferbank (Tiefer Teil des Beckens):	7,3
Fläche innerhalb der 2 m Isobathe:	6,8
4	5,7
6	4,2
8	2,5
9	1,3
„ „ 10 „	0,4

Das auf Grund dieser Daten berechnete

Volumen des Gr.H.M. = 493 000 cbm

Das Volumen des Pelagials (= Volumen des Gr.H.M. abzüglich des Volumens der Uferbank): = 466 500 cbm

Lage der Sprungschicht um 3 m (Frühjahr)

Volumen des Epilimnions des Pelagials = 208 300 cbm

Volumen des Hypolimnions des Pelagials = 258 200 cbm

Quotient $\frac{E(0-3\text{ m})}{H(3-10,5\text{ m})} = 0,807$

Lage der Sprungschicht um 5 m (Sommer)

Volumen des Epilimnions des Pelagials = 321 900 cbm

Volumen des Hypolimnions des Pelagials = 144 600 cbm

Quotient $\frac{E(0-5\text{ m})}{H(5-10,5\text{ m})} = 2,226$

Lage der Sprungschicht um 7 m (Herbst)

Das Volumen des Epilimnions des Pelagials = 456 900 cbm

Das Volumen des Hypolimnions des Pelagials = 60 000 cbm

Quotient $\frac{E(0-7\text{ m})}{H(7-10,5\text{ m})} = 6,772$

Lage der Sprungschicht um 9 m (Anfang Oktober)

Das Volumen des Epilimnions des Pelagials = 456 000 cbm

Das Volumen des Hypolimnions des Pelagials = 9 600 cbm

Quotient $\frac{E(0-9\text{ m})}{H(9-10,5\text{ m})} = 47,47$

Der Quotient Volumen zu Oberfläche (in m²!) gibt uns die mittlere Tiefe an. Diese beträgt

a) für den ganzen See = 3,9 m,

b) für das Pelagial = 6,4 m.

Zur weiteren Charakterisierung des Sees folgen noch einige andere Zahlen:

Größte Länge:

- a) des Sees auf dem eingezeichneten Profil gemessen
(in Richtung N—S): = 530 m
- b) des Pelagials: = 400 m

Größte Breite (in Richtung W—O):

- a) des Sees = 330 m
- b) des Pelagials = 280 m

Umfang:

- a) des Sees (= U_1) = 1460 m
- b) des Sees ohne Uferbank, des Pelagials (= U_2) = 1110 m

Küstenentwicklung, nach ULE (1925): „Das Verhältnis der wirklichen Umrißlinie (U) zur kleinstmöglichen, d. i. der Umfang eines flächengleichen Kreises“:

- a) des Sees (Kreisumfang = 1258 m) = 1,160
- b) des Pelagials (Kreisumfang = 957 m) = 1,156

Von diesen Daten sind die mittlere Tiefe (3,9 bzw. 6,4 m) und die Küstenentwicklung (1,160 bzw. 1,156) für die biologische Charakteristik des Sees am aufschlußreichsten. Die mittlere Tiefe mit ihrem relativ großen Wert, wie der geringe Wert der Küstenentwicklung berechtigen vor allem dazu, das Pelagial des Gr.H.M., trotz seiner Kleinheit, als einen gut in sich abgeschlossenen Lebensraum zu betrachten.

Nach meinen Tiefenmessungen ist 10,5 m die größte Tiefe des Gr.H.M. Alle früheren Angaben (z. B. GRAEBNER 1930 und KEMPER 1930) mit 15 oder 15,4 m müssen auf einem Irrtum beruhen. Diese Behauptung findet eine starke Stütze in der bisher unveröffentlichten Feststellung des Fischereiberechtigten, Herrn Dr. PÄLTZ, der ebenfalls 10,5 m als die größte Tiefe des Gr.H.M. angibt, und zwar auf Grund von 20 im tiefen Teil des Sees im Winter 1926/27 vom Eis aus vorgenommenen Messungen.

Die oben erwähnte Entstehung des Sees durch einen plötzlichen Einsturz der betreffenden Stelle, und die von altersher überlieferte Sage von einem im Gr.H.M. versunkenen Kloster veranlassen die Frage, ob für den See ein genaues Alter angegeben werden kann. Wie Herr W. PRUSS mir aus Hopsten mitteilte, stammt die älteste ihm bekannte Urkunde, in der das Gr.H.M. erwähnt ist, aus dem Jahre 965. Eine pollenanalytische Untersuchung der Seesedimente könnte vielleicht entscheiden, ob der Einbruch kurz vor dieser Zeit, oder wesentlich früher stattgefunden hat. (Nachweis des Grenzhorizontes noch möglich?)

Wegen der starken Ähnlichkeit der Ausprägung verschiedener Eigenheiten im Gr.H.M. und in dem von YOSHIMURA (1930, 1930/31, 1931/32, 1932 und 1932/34) bearbeiteten Takasuka-Teich in Japan, der noch häufiger

erwähnt werden wird, seien auch von diesem einige Daten zum Vergleich angeführt. Ein Teil der Angaben stammt aus einer Arbeit von HALBFASS (1932), während die Küstenentwicklung von mir aus den gegebenen Daten errechnet wurde.

Daten vom Takasuka,

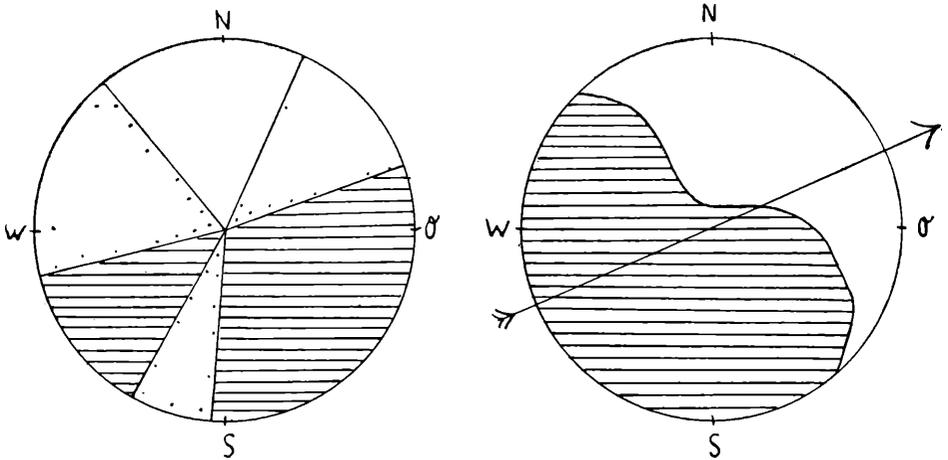
Entstehung:	Erosionssee; ausgewaschen bei einem Dambruch des Shima-Flusses i. J. 1786.
Lage:	10,5 m über dem Meere; 40 km nördlich von Tokio zwischen Reis und Maulbeerfeldern.
Areal:	3,26 ha.
Größte Tiefe:	6 m.
Mittlere Tiefe:	3,1 m (der Quotient Volumen/Areal = nur 2,76 m).
Volumen:	90 000 cbm (bei Halbfaß wohl irrtümlich: 900 000 cbm).
Umfang:	1000 m.
Küstenentwicklung:	1,56.
Auslotung:	1925; Karte im Maßstab 1 : 3000.

Die obigen Werte, besonders die mittlere Tiefe, die Küstenentwicklung, das Areal und das Volumen ergeben für die biologische Charakteristik des Pelagials des Takasuka ein weitaus ungünstigeres Bild, als beim Gr.H.M., wobei ich darauf hinweise, daß YOSHIMURA den Takasuka im Titel seiner Arbeiten als Weiher („Pond“) bezeichnet.

Physikalische Verhältnisse

Wellen und Strömungen.

Die erodierende Kraft der Wellen eines Sees steht in enger Beziehung zu den oben erwähnten Größenangaben für seine freie Wasserfläche. Wichtig sind ferner die Lage des Sees zur vorherrschenden Windrichtung, die durchschnittliche Stärke des Windes und der vorhandene Windschutz. Abb. 5 und 6 geben ein Bild dieser Verhältnisse betreffs des Gr.H.M. In Abb. 5 ist in Form von Kreissektoren die Art des Windschutzes näher bezeichnet. Der Kreis selbst ist das grobe Bild der freien Wasserfläche. Da in der Nähe des Gr.H.M. Bodenerhebungen fehlen, übernimmt der Uferbewuchs mit seinen Bäumen und Sträuchern allein den Windschutz. Unter Berücksichtigung von Abb. 5, und beim Einsetzen der Hauptwindrichtung in WSW, erhält man die Abb. 6 als charakteristisches Schema der Windwirkung auf dem Gr.H.M. Trotz der Lage des Gr.H.M. in der Ebene, und trotz der dort verhältnismäßig stark und andauernd wehenden WSW-Winde, kommt seiner Wasserbewegung durch Wellenschlag keine große Bedeutung zu. Der Windschutz, den die Baum- und Strauchkulissen dem See bieten,



ZEICHENERKLÄRUNG:

-  Ohne Windschutz
-  = Etwas
-  Starker

Abb. 5. Verteilung des Windschutzes auf dem Gr.H.M.

Abb. 6. Desgl. Bei Berücksichtigung der Hauptwindrichtung.

läßt dem Wind nur ungenügende Angriffsflächen. Es ist daher an keiner Stelle des Ufers eine freie Brandungszone ausgebildet.

Über die mit den Windverhältnissen zusammenhängenden Strömungen und stehenden Wellen in den tieferen Wasserschichten konnte ich keine Untersuchungen anstellen. Gelegentliche Beobachtungen im Herbst 1936 über den Verbleib der großen, durch die Meerbecke eingeschwemmten Eisensmengen gaben keine eindeutigen Hinweise. Es scheint aber eine mit der Windrichtung wechselnde Oberflächenströmung längs der Uferbank zu existieren. Am 18., 19. und 20. September 1936, bei leichten Winden um NO, erfüllten die aus der Meerbecke stammenden Eisenschwaden die Bucht westlich der Meerbeckemündung. Am 30. 9. 36, bei leichtem Wind um SW, wurde die gleiche Verteilung beobachtet, während am 1. 10. 36 bei leichtem Wind um N die Bucht ostwärts der Meerbeckemündung durch die Eisen-

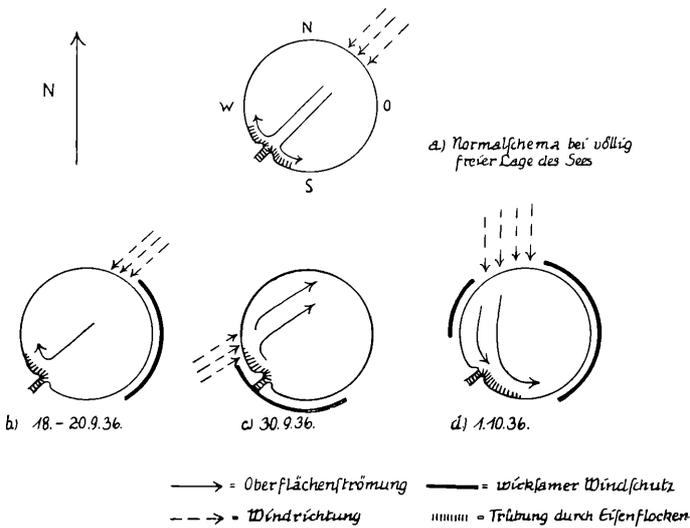


Abb. 7.

flocken stark getrübt wurde. Einen Erklärungsversuch veranschaulicht die Abb. 7, wobei besonders darauf hingewiesen wird, daß in allen 3 Fällen der stärkste Windschatten so gelegen ist, daß eine der gezeichneten Hauptströmung entgegengesetzte Teilströmung ausgeschaltet sein kann (s. Normal-schema). Daß den Oberflächenströmungen Rückströmungen in der Sprungschicht und Gegenströmungen unter dieser entsprechen, ist bei der regelmäßigen und steilwandigen Beckenform des Gr.H.M. wohl anzunehmen.

Die in der Abb. 7 festgelegten Erscheinungen lassen eindeutig erkennen, daß auch die schnell und stark einfließende Meerbecke keinen direkten Einfluß auf die Oberflächenströmungen im See hat. Das Beharrungsvermögen des Meerbeckestromes wird vielmehr wenige Meter nach seiner Einmündung in den See von den massenmäßig stärkeren Strömungen des Gr.H.M. auf-

gesogen. Am 30. 9. 36 galt diese Behauptung auch für tiefere Schichten des Sees; denn die Einschichtung der erwähnten Eisenschwaden konnte einwandfrei mit der Sichtscheibe ab 1 m Tiefe ermittelt werden.

Die Zuflüsse des Gr.H.M.

Wegen des Fehlens einer ausgedehnten Uferbank vor der Mündung der Meerbecke, und wegen des sehr steilen Abfalles des kleinen Deltakegels (Abb. 3) ist die Einschichtung des Meerbeckewassers im Gr.H.M. hauptsächlich von der jeweiligen Dichte der vor ihrer Mündung aufeinander treffenden Wasserteilchen abhängig. Vom 18. bis 20. 9. 36 war z. B. die sichtbare Einschichtung der Meerbecke (Abb. 7) an der Oberfläche deshalb gegeben, weil die Oberflächentemperatur des Gr.H.M. und die Temperatur der Mb.¹ annähernd gleich waren. Am 26. 8. 36 hatte die Mb. eine Temperatur von 16,5°. Der mit dem großen Temperaturunterschied (vergleiche unten) gegebene Dichteunterschied verursachte ein schnelles und durch mitgeführte Eisenflocken gut wahrnehmbares Abgleiten des Meerbeckewassers an der unbewachsenen Deltaböschung entlang in die Tiefe. Mit Hilfe eines Wasserguckers war dieses Absinken zu Schichten gleicher Dichte noch in 1½ m Tiefe gut zu sehen. Die Eisenschwaden breiteten sich auf ihrem Weg etwas fächerförmig aus, wobei ihre Dicke von der Oberfläche bis zu 1½ m Tiefe von 15 bis auf 5 cm abnahm. In welcher Tiefe das Meerbeckewasser in diesem Falle endgültig eingeschichtet wurde, ist aus den Temperaturmessungen, die am gleichen Tage im Gr.H.M. durchgeführt wurden, nicht zu ersehen; denn das Meerbeckewasser wurde schon in der Mündung von Seewasser überlagert und erwärmt. Die Temperaturen betragen hier 19,5° für das klare und überlagernde Seewasser, und 18° für die langsam abgleitenden Eisenschwaden der Mb. (6,25 sec/l). Die Temperaturmessung im Gr.H.M. ergab an diesem Tage:

Tiefe in m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temp. am 26. 8. in Grad C	20,2	20,2	20,2	19,4	16,2	13,2	10,1	8,4	7,7	7,4	7,25

Am 28. 8. 36 waren die geschilderten Verhältnisse gegenüber dem 26. 8. 36 noch fast unverändert. Bei gleicher Wasserführung des Baches ergaben sich für die Überlagerung im Bachbett selbst Temperaturen von 16,— und 17,— Grad, während in der Mündung der Mb. schon eine Verschiebung eingetreten war. Dort wurden nämlich 20° für das Meerbeckewasser und 22° für das Wasser des Gr.H.M. gemessen. Die Temperaturmessung im Gr.H.M. ergab an diesem Tage (28. 8. 36):

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temp. Grad C	22,2	20,2	19,6	18,9	16,7	13,—	9,9	8,3	7,7	7,3	7,25

= Meerbecke.

Am 11. IX. 36 herrschte in der Mb. eine ungleich stärkere Strömung (30 sec/l). Trotz des 12 cm höheren Pegelstandes des Gr.H.M. kam aber wegen der $2\frac{1}{2}$ fachen Strömungsgeschwindigkeit der Mb. (0,3 sec/m) gegenüber dem 26. und 28. 8. (0,12 sec/m) eine Überlagerung von See- und Bachwasser innerhalb des Bachbettes nicht mehr zustande. Die Temperatur der Mb. nahm bis zur Mündung auch nur von 15,2 auf 15,8° zu. Bei einer Oberflächentemperatur des Gr.H.M. von 17,—° tauchte die schnelle Meerbeckeströmung aber unmittelbar vor der Mündung unter, was durch das Abgleiten dichter Eisenschwaden wieder gut verfolgt werden konnte.

Wenn die für einen kurzen Zeitraum oben angeführten Einzelfälle zusammengefaßt werden, so ergibt sich für das Verhalten der Mb. beim Einfließen in das Gr.H.M. kein Anknüpfungspunkt, um irgendeine Regel für ihre Einschichtung abzuleiten. Aus der Erfahrung heraus, die durch einen über längere Zeit durchgeführten Vergleich zwischen Luft- und Meerbecketemperatur gewonnen wurde, ist festzustellen:

1. Die Einschichtung der Mb. im Gr.H.M. ist wegen der von Tag zu Tag wechselnden Temperatur des Baches sehr unbeständig.

2. Im Gegensatz zum Gr.H.M., das in seiner Thermik wie jeder See der Jahreszeit nachhinkt, folgt die Temperatur der Mb. stark den jahreszeitlichen und täglichen Temperaturschwankungen.

3. Die dadurch an der Mündung der Mb. entstehenden Unterschiede in Temperatur und Schwere der aufeinandertreffenden Wässer werden im allgemeinen folgende Auswirkungen zeigen:

Jahreszeit	Thermisches Verhalten des Gr.H.M. und der Mb.	Daher vorwiegend anzutreffende Einschichtung der Mb.
Frühjahr	Die Wassermasse des Gr.H.M. erwärmt sich sehr langsam. Die Mb. folgt schneller.	Meist oberflächliche Einschichtung der Mb.
Sommer	Das Gr.H.M. hat an der Oberfläche eine gleichmäßig hohe Temperatur. Die Mb. folgt der Lufttemperatur.	Je nach dem Witterungscharakter wechselnde Einschichtung.
Herbst	Das Gr.H.M. kühlt sich langsam ab. Die Mb. schneller.	Meist Einschichtung in tiefere Stufen.
Winter	Das Gr.H.M. verhält sich gegenüber der Witterung träge. Die Mb. nicht.	Je nach dem Witterungscharakter wechselnde Einschichtung der Mb.
a) bei normaler Schichtung.		
b) bei verkehrter Schichtung.	Meerbecke und Oberflächenwasser des Gr.H.M. sind kälter als 4°.	Oberflächliche Einschichtung der Mb. Nur bei starkem Tauwetter Einschichtung in tiefere Stufen.

4. Die erwähnten Verhältnisse vom 26. und 28. 8. 36 und vom 11. 9. 36 zeigen, daß die herbstliche Einschichtung selten Schichten unter einer Tiefe von 3,5 m beeinflussen wird. Maßgebend ist dafür die Erwärmung des Bachwassers auf seinem Weg in die Tiefe.

5. Im Sommer ist die Art der Einschichtung der Mb. praktisch bedeutungslos, da die Mb. dann nur sehr wenig Wasser führt, oder sogar austrocknet.

Das Versiegen der oberen Mb. ist übrigens eine Erscheinung, die erst seit wenigen Jahren beobachtet wird. Mein Gewährsmann, Herr Dr. PÄLTZ, weiß mit Sicherheit anzugeben, daß noch vor 15 Jahren während des ganzen Sommers die Mb. so stark floß, daß ständig Fischkästen in ihr stehen konnten.

In dem gut 1 qkm großen Einzugsgebiet der Mb. oberhalb des Gr.H.M. hat die Kultivierung in den letzten Jahrzehnten einschneidende Veränderungen bewirkt: Die Mb. wurde tiefer gelegt und begradigt; die umliegenden Gebiete, ehemals Erlenbruch und Heide, verwandelten sich binnen kurzem in Acker und Wiesen. Die Mb. und ihr Nährgebiet bilden heute keine natürliche Einheit mehr. Der Bach wurde zur gradlinigen Wasserrinne mit der einen Bestimmung: die Niederschläge wie eine Dachtraufe möglichst schnell abzuführen. Die üblen Folgen, die neben der unnötigen Verschandelung der Landschaft entstanden, zeigen sich heute in dem völlig unausgeglichenen Wasserhaushalt des Gebietes. Wichtige Einwirkungen dieser Verhältnisse auf die Mb. und das Gr.H.M. sollen in dieser Arbeit noch öfter aufgezeigt werden.

Der sommerlichen Wasserarmut der Mb. entspricht, wie zu erwarten, ein tiefer Pegelstand des Gr.H.M. Unter einen bestimmten Niedrigwasserstand, der durch die Höhe des Abflusses gegeben ist, sinkt sein Wasserspiegel aber nicht. Im Zusammenhang damit sei erwähnt, daß selbst nach fast dreimonatiger Trockenheit aller Zuflüsse im Sommer 1935 der See immer noch Wasser an die untere Mb. abgab. Die einzige Erklärung für diese Tatsache ist die, daß das Gr.H.M. in engem Zusammenhang mit dem Grundwasser seiner Umgebung steht und von diesem zum Teil gespeist wird. Besondere Eigenschaften des Chemismus des Sees, wie auch die folgenden Angaben aus dem Sommer 1936 geben dieser Behauptung noch weitere Stützen. Am 27. 8. 36, nach mehreren sehr niederschlagarmen Wochen, hatte die zufließende Mb., der einzige Zufluß um diese Zeit überhaupt, eine Wasserführung von 6,25 sec/l; die abfließende Mb. hatte demgegenüber am gleichen Tage eine solche von 15 sec/l.

Die Wasserführung der Mb. steht aber in anderen Jahreszeiten in direkter Beziehung zum jeweiligen Pegelstand; d. h.: daß die Grundwasserzufuhr im Gr.H.M. oft weit weniger beträgt, als die Zufuhr von Oberflächenwasser. Die aus dem Beispiel vom 27. 8. 36 hervorgehende hohe prozentuale Beteili-

gung des Grundwassers am Gesamtwasserhaushalt des Sees gilt demnach nur für die niederschlagsarmen Monate des Jahres.

Die Pegelstände der Beobachtungszeit, die in der Abb. 8 in einer Kurve dargestellt sind, entstehen in ihren sprunghaften Höhenunterschieden durch die Schwankungen der Niederschlagsmengen in oft nur sehr kleinen Zeiträumen. Dabei ist von besonderer Wichtigkeit, daß das etwas in die Landschaft eingesenkte Einzugsgebiet der Mb. die gefallenen Regenmengen fast ohne zeitlichen Verlust an die Mb. und von da in kurzem Lauf an das Gr.H.M. weitergibt. In den feuchten Monaten macht sich jeder starke Niederschlag durch ein sofortiges Anschwellen des Baches bemerkbar. Es folgte z. B. auf den ziemlich trockenen März des Jahres 1936 vom 15. 4. bis zum 17. 4. und weiter bis zum 27. 4. 36 eine Zeit mit außerordentlich starken Niederschlägen. Vom 15. bis 17. 4. stieg der Wasserspiegel des Gr.H.M. um 18,5 cm, und bis zum 27. 4. 36 wurde ein weiteres Steigen um 19,5 cm festgestellt. Das Ansprechen des Pegels auf die Regenmengen in den beiden ersten Regentagen (15. und 16. 4.) ist dabei besonders deutlich. Die Mb.

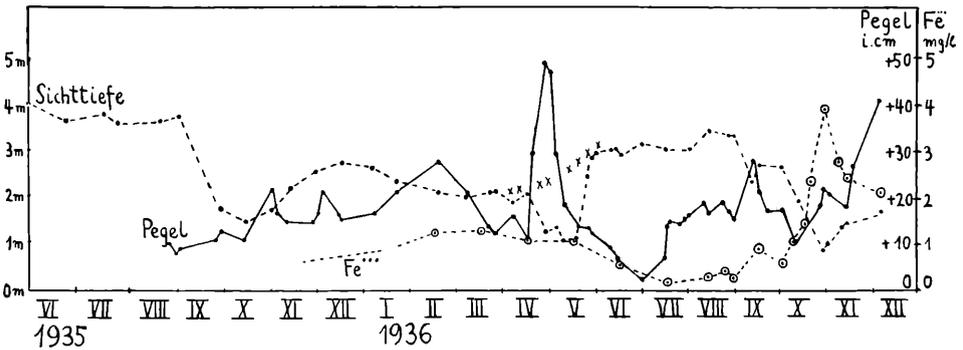


Abb. 8. Sichttiefe, Pegelstände und Eisenkonzentrationen der Oberfläche während der Beobachtungszeit.

hatte in dieser Zeit eine Wasserführung bis zu 330 sec/l. Das schnelle Steigen des Wasserspiegels des Gr.H.M. ist durch das Anschwellen der Mb. allein verursacht. Diese erreichte nämlich innerhalb von 48 Stunden das Fünfzehnfache ihrer durchschnittlichen Wasserführung, wodurch z. B. in 20 Tagen die ganze Wassermasse des Sees hätte ausgewechselt werden können. Die wirkliche Auswirkung kam in diesem Falle aus zwei Gründen nicht an das errechnete Ergebnis heran: Die Zeit, in der die Mb. derartige Wassermengen beförderte, betrug nur 10 bis 11 Tage (16. bis 27. 4. 36), und außerdem vollzog sich der Wasserwechsel hauptsächlich in den oberen Schichten des Sees, da das Wasser der Mb. 1—2° wärmer war, als das des Gr.H.M.

Außer der Mb. werden dem Gr.H.M. nur noch durch einige Entwässerungsgräben aus den umliegenden Wiesen unbedeutende Wassermengen

zugeführt. Eine Ausnahmestellung wegen der etwas stärkeren Wasserführung vom Herbst bis zum Frühjahr und der Oligotrophie des zugeführten Wassers nimmt der Verbindungsgraben zwischen Erdfallsee und Gr.H.M. ein. Gegenüber den starken Einflüssen des Grundwassers und der Mb. kann jedoch die Wirkung des Verbindungsgrabens im Rahmen des Gesamtwasserhaushaltes des Sees vernachlässigt werden.

Optische Verhältnisse.

In der Abb. 8 wurden außer den von der Wasserführung der Mb. abhängigen Pegelständen auch die Sichttiefen des Gr.H.M.² eingetragen. Während des April 1936 und teils noch im Mai zeigen beide Kurven einen stark spiegelbildlichen Verlauf. Die Frühjahrs-Hochflut der Mb. beeinflusst also durch die eingeschwemmten Mengen von Sinkstoffen die optischen Verhältnisse des Gr.H.M.

Das oben aufgezeigte Verhalten der Sichttiefe zu Hochwasserzeiten bleibt aber für den Jahresablauf des Lichtklimas des Gr.H.M. eine Ausnahmeerscheinung. Der eigentlich bestimmende Faktor für den im Hinblick auf die Produktion des Gewässers an Phytoplankton so wichtigen Lichthaushalt ist im Gehalt des Oberflächenwassers an fein zerteilt schwebendem Eisenhydroxyd zu suchen.

Bei der herbstlichen Vollzirkulation wird nämlich durch Oxydation ein Teil des im Hypolimnion während des Sommers angereicherten Eisenbikarbonates dem Pelagial als ungelöstes, aber feinst zerteiltes Eisenhydroxyd wieder zugeführt. Mit der Abnahme der Durchmischung der Wassermasse des Sees, vom Ende der Zirkulationsperiode bis zum Ende der Schichtenstabilisierung im Sommer, ist ein langsames aber stetiges Absinken des Eisenhydroxydes verbunden. Die gröberen Eisenflocken fallen sogar schon in den ersten Tagen nach dem Beginn der Vollzirkulation aus, und es folgen dann nach und nach beim zunehmenden Fehlen stärkerer Konvektionsströmungen die feineren Flocken. Nur ein Bruchteil des ursprünglichen Eisengehaltes bleibt während des ganzen Sommers im Epilimnion des Gr.H.M. suspendiert.

Die Eisenanalysen³ für die Oberfläche des Gr.H.M. ergaben im Laufe des Jahres die folgenden Werte:

² Immer mit einer rechteckigen, weißen Sichtscheibe (15 × 21 cm) bei Anwendung des Wasserguckers gemessen.

³ Die grobdisperse bis körnchenkolloide Natur dieses Eisens erfährt ihre Bestätigung in den Versuchsreihen auf S. 48 u. 49, in denen gezeigt wird, daß das nachgewiesene Eisen sowohl filtriert, wie auch sedimentiert werden kann.

Datum	20.1.36	19.2.	20.3.	22.3.	5.4.	15.4.	9.5.	25.5.	16.6.
Fe···b. Om	0,9	1,26	1,4	1,3	1,4	1,15	1,2	0,95	0,6

Datum	14.7.	31.7.	13.8.	26.8.	29.8.	15.9.	30.9.	10.10.	14.10.
Fe···b. Om	0,15	0,22	0,3	0,45	0,3	0,9	0,6	1,1	1,5

Datum	18.10.	28.10.	31.10.	7.11.	12.11.	3.12.	29.3.37	
Fe···b. Om	2,4	4,-	2,6	2,8	2,48	2,2	1,4	

Tabelle I. Eisenkonzentrationen der Oberfläche des Gr.H.M.

Die diesen Eisenwerten entsprechenden Mengen an Mikronen und Ultramikronen von Eisenhydroxyd veranlassen letzten Endes durch ihre Lichtadsorption die Abhängigkeit des Lichthaushaltes des Gr.H.M. vom Gehalt des Wassers an Eisenhydroxyd.

Den anschaulichen Beweis erbringt der an Hand der Abb. 8 leicht durchzuführende Vergleich der Sichttiefenkurve mit der Kurve des Eisengehaltes des Epilimnions des Gr.H.M. Die Unstimmigkeiten im spiegelbildlichen Verlauf der Kurven können bei Einbeziehung der Pegelstände zwanglos als Überlagerung der Eisentrübung durch die Einschwemmungen der Mb. erkannt werden. Für die schon oben erwähnte „Überlagerung“ im April 1936 habe ich in der Abb. 8 den mutmaßlichen Verlauf der Sichttiefenwerte, beim Fortfall des Frühjahrshochwassers der Mb., als Spiegelbild zu den gefundenen Eisenwerten eingezeichnet. Die Kreuzchen in Abb. 8 entsprechen also den Sichttiefenwerten in einem trockenen bis gleichmäßig feuchten Frühjahr.

Nachdem oben die Abhängigkeit der Sichttiefe des Gr.H.M. vom Eisengehalt seines Oberflächenwassers als grundlegend für den Lichthaushalt des Gr.H.M. erkannt wurde, soll jetzt noch von der allgemeinen Bedeutung und Einwirkung dieser Sonderverhältnisse die Rede sein. Zunächst einmal läßt ein auch nur flüchtiger Vergleich der Sichttiefenkurve des Gr.H.M. mit der eines baltischen oder subalpinen Sees eine grundsätzlich andere Durchlichtung des ersteren in den verschiedenen Jahreszeiten erkennen. In den meisten Seen sind viele Änderungen der Sichttiefe von der Menge der in ihrem Wasser schwebenden Organismen abhängig. Zu Zeiten größter Planktonproduktion wird auch im Jahresablauf die größte Lichtmenge von den Planktonen adsorbiert. Die Sichttiefe ist in ihnen im Sommer kleiner, als im Winter. Die Eisentrübe unterdrückt im Gr.H.M. diesen meist angetroffenen Ablauf vollständig, und es entsteht im Endresultat ein Verhalten, das unseren bisherigen Vorstellungen (s. ULE 1925 S. 129) vom Lichthaushalt der Gewässer direkt entgegensteht. Wir finden nämlich, daß im Gr.H.M. die Zeiten größter Sichttiefe und größter Planktonproduktion zusammenfallen (s. S. 92 ff.). In den Sommermonaten erreichte die Sichttiefe im Gr.H.M. Werte bis zu 4 m und nicht unter 3,5 m, gegenüber einem Winterdurch-

schnitt von ungefähr 1,5 m. Der geringste von mir Ende November 1936 gemessene Wert betrug nur 90 cm (Fe: 4,— mg/l!). Die mittlere Sichttiefe im Jahr ist mit 2,5 m wohl richtig angegeben.

Neben der Sichttiefe ist noch eine andere Eigenschaft des Wassers im Gr.H.M. völlig durch den jeweiligen Eisenhydroxydgehalt bestimmt: die Wasserfarbe⁴. In den meisten Seen hängt sie direkt von der vorhandenen Vegetationsfärbung, von der Menge der gelösten Substanzen und von der Braunfärbung des Wassers durch Humusstoffe oder Detritus ab (s. auch bei NAUMANN (1932 S. 8), OHLE (1934), UTERMÖHL (1925 S. 444 ff.)). Die Schwankungen der Wasserfarbe im Gr.H.M. von Nr. XVI bis Nr. XIX—XX lassen Einwirkungen dieser meist gefundenen Faktoren nicht erkennen. Entgegen den meisten Feststellungen in anderen Seen ist die im Sommer für das Gr.H.M. gefundene Wasserfarbe Nr. XVI trotz der hohen Planktonproduktion wesentlich schwächer, als die Farbe zu den übrigen Zeiten des Jahres. Die Vermutung, daß der im Jahr so verschiedene Gehalt des Oberflächenwassers an braunrotem Eisenhydroxyd hier allein die Farbveränderungen bewirkt, ist recht naheliegend. Die folgende Tabelle läßt diese Zusammenhänge in aller Deutlichkeit zu Tage treten.

Monat	V. 36	VI. 36	VII. 36	VIII. 36	IX 36	X. 36	XI. 36	XII. 36
Fe . . . mg/l bei 0 m	1,1	0,6	0,2	0,35	0,7	1,1-4,-	2,5	2,2
F.-U.— Farbe	XVII, V	XVII	XVI	XVI, V	XVII	XVIII- XIX, V	XIX	XVIII, V

Tabelle II. Die Beziehungen zwischen dem Eisengehalt der Oberfläche (= Epilimnion) des Gr.H.M. und seiner Sichttiefe.

Bestimmungen der Methylorange-Farbe, wie sie OHLE 1926 zur Kennzeichnung des Humusgehaltes einführte (1934), ergaben ganz außerordentlich starke Farbunterschiede in vertikaler Richtung für das Gr.H.M. Als Beispiel seien in Tabelle III die Wasserfarbe, der KMnO_4 -Verbrauch und der Eisengehalt einer Vertikalreihe von Bestimmungen angeführt.

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Orange Farbe 1=1/100 mg 1 Methylorange	10,—		12,—		9,—	12,—	25,—	90,—	150,—	225,—	280,—
Fe . . . mg/l	0,45		0,4		0,22	0,7	3,4	8,—	16,—	22,5	39,—
KMnO_4 -Verbrauch in mg/l	30,2		28,3		28,3	25,3	25,3	28,3	44,8	53,1	57,—

Tabelle III. Die Abhängigkeit der Methylorangefarbe vom Eisengehalt.

⁴ gemessen nach THIENEMANN mit der FOREL-ULE-Skala, wobei die Sichtscheibe als Farbgrund benutzt wurde.

⁵ nach 24 Std. bestimmt.

Ein Abwägen der drei Analysenreihen gegeneinander läßt darauf schließen, daß im Hypolimnion des Gr.H.M. die Orange-Farbe allein vom Eisengehalt des Wassers abhängig ist. Für das Epilimnion des Gr.H.M. gilt diese Beziehung ebenfalls, wie die Daten für Eisen, KMnO_4 -Verbrauch und Orange-Farbe bei 0 m beim Einbeziehen mehrerer Monate ganz deutlich zeigen:

Datum	20.3.36	5.4	15.4	9.5.	25.5.	16.6.	14.7.	13.8.
Orange Farbe ⁶	16,—	15,—	12,—	20,—	16,—	11,—	6,—	9,—
Fe . . . mg/1	1,4	1,4	1,15	1,2	0,95	0,6	0,15	0,3
KMnO_4 mg/1								

Datum	26.8.	29.8	15.9.	30.9.	10.10.	14.10.	18.10.
Orange Farbe ⁶	10,—	9,5	12,—	13,—	14,—	17,—	24,—
Fe . . . mg/1	0,45	0,3	0,9	0,6	1,1	1,5	—
KMnO_4 mg/1	30,2				32,3	32,6	

Datum	28.10.	7.11.	12.11.	3.12.	29.3.37
Orange Farbe ⁶	32,—	29,—	27,—	30,—	17,—
Fe . . . mg/1	4,—	2,8	2,5	2,2	1,4
KMnO_4 mg/1	33,7	31,9	29,9	34,7	

Tabelle IV. Der Zusammenhang zwischen der Methyl-Orange-Farbe und dem Eisengehalt des Oberflächenwassers.

Den bestimmenden Einfluß hoher Eisenkonzentrationen auf die Orange-Farbe erwähnte OHLE schon für den Krebssee (1934).

Die hohen Konzentrationen des Eisens haben aber nicht nur im Epilimnion, sondern auch im Hypolimnion des Sees direkten Einfluß auf seinen Lichthaushalt. Während der Stagnationsperiode gilt für das Gr.H.M. z. B. nicht die Annahme, daß die Lichtmenge beim Eindringen in tiefe Schichten ziemlich gleichmäßig abnimmt. Die starke Suspension des Eisens während des ganzen Sommers ab 6 m Tiefe absorbiert vielmehr das Licht in viel stärkerem Maße, als das im Epilimnion der Fall ist. Am 26. 8. (s. Tab. III) betrug die Orange-Farbe im Epilimnion durchschnittlich 10.— bei einer gleichzeitigen Sichttiefe von 3,4 m. Bei Farbe 90.— in 7 m Tiefe würde demnach die Sichttiefe ungefähr 0,4 m betragen. Wenn die Gleichsetzung

⁶ nach 24 Std. bestimmt.

von Orange-Farbe und Sichttiefe auch nicht im angewandten Maßstab gerechtfertigt sein sollte, so kann auf Grund der Orange-Farben von 6 m und 7 m zusammen doch behauptet werden, daß im Sommer die Lichtadsorption in den genannten Schichten so stark ist, daß zumindest ab 8 m Tiefe im Gr.H.M. physiologische Dunkelheit herrscht,

Temperaturverhältnisse.

Die Temperatur des freien Wassers unserer Seen ist fast völlig vom Klima ihrer Umgebung abhängig. Lediglich die Größe und die Gestalt des Seebeckens und die Lichtadsorption an dem für den betreffenden See in Farbe, Form und Quantität typischen Seston haben von Seiten des Sees aus Einfluß auf die Ausbildung dieser Verhältnisse. Im großen Ablauf der jährlichen Wärmeschichtung im See spielt der letzte Faktor kaum eine Rolle. Wesentlich beteiligt ist aber daran die Morphologie des Seebeckens zusammen mit derjenigen seiner Umgebung. Die Lage zum Winde ist es vor allem, die stärksten Einfluß auf die sommerliche Temperaturschichtung und damit auf wichtigste Vorgänge im Gesamtleben des Sees hat. Auf S. 13 und 14 ist der Windschutz des Gr.H.M. schon eingehend besprochen worden. Danach muß der kleinen Angriffsfläche eine geringe Vertikaldurchmischung des Wassers und damit eine hohe Lage der Sprungschicht entsprechen. Von Anfang Juni bis Mitte August liegt die Sprungschicht im:

Gr.H.M.	in 4,5 m Tiefe,
Erdfallsee	in 5,5 m Tiefe,
Wollingster See	in 7,5 m Tiefe.

Trotzdem Erdfallsee und Wollingster See nur die halbe Oberflächengröße des Gr.H.M. aufweisen, liegen ihre Sprungschichten wesentlich tiefer, als die des Gr.H.M., was allein durch ihre ungeschützte Lage erklärt werden kann. Der Vergleich zwischen dem Erdfallsee und dem Gr.H.M. ist in diesem Falle besonders gut möglich. Diese beiden Seen liegen ja nur 200 m von einander entfernt, und die Temperaturmessungen, auf Grund derer die obigen Angaben gemacht wurden, sind in ihnen zur gleichen Zeit von mir durchgeführt worden.

In der Abbildung 9 (s. Taf. I) sind die Temperaturverhältnisse des Gr.H.M. wiedergegeben. Jede der senkrechten Spalten der Abbildung 9 vertritt dabei einen schmalen Ausschnitt aus dem Pelagial des Gr.H.M. Das Temperaturgefälle der so angedeuteten Wassersäulen wird durch die Einfügung der Horizontalstriche dargestellt, wobei jeder Zwischenraum zwischen zwei Strichen einem Temperaturunterschied von $\frac{1}{3}^{\circ}$ entspricht. Als Ausgangswert bei der Einzeichnung der Striche gilt die angegebene Temperatur der Oberfläche des Gr.H.M.⁷

⁷ Eine ähnliche Darstellung wählte FORLE (1925 S. 120) und gab ihr den Namen „Temperaturprofile“.

Die Vorteile der angewandten Darstellungsmethode liegen gegenüber der üblichen Kurvendarstellung im bildmäßig klaren Überblick der einzelnen Wassersäulen, wie auch im bildmäßigen Erfassen der jahreszeitlichen Wandlung der Schichtungsbilder. Entscheidend für diesen günstigen Eindruck ist, daß die Schichtung ganz wie in der Natur lediglich in einer senkrechten Linie dargestellt wird, während bei einer Kurve vertikale wie horizontale Elemente das Bild zusammensetzen. Da die Schwere-schichtung des Wassers seiner Temperaturschichtung weitgehend folgt, bezeichnen in den Wassersäulen die stärkst schraffierten Teile mit der Lage der Sprungschicht auch die Lage der gegen Konvektionströmungen am widerstandsfähigsten Schichten des Metalimnions.

Das Gr.H.M. ist bezüglich seiner Temperaturverhältnisse zu den Seen des gemäßigten Typus nach FOREL zu stellen. Den von 1934 bis 1936 ausgeführten 45 Reihenmessungen können schon einige Verallgemeinerungen über die jahreszeitliche Temperaturverteilung in der Vertikalen entnommen werden.

Die Winterstagnation ist im Gr.H.M. nur schwach ausgeprägt, da die winterlichen Lufttemperaturen im münsterischen Flachlande häufig bis zu $+10^{\circ}\text{C}$ ansteigen. Im Winter 1935/36 lag über dem See zwei Mal für kurze Zeit eine Eisdecke. Das Eis wurde aber nicht so fest, daß von ihm aus hätte untersucht werden können. Invertierte Schichtung wurde am 15. 12. 35 und am 19. 2. 36 festgestellt.

Die Frühjahrszirkulation vermag im Gr.H.M. bis Mitte März sämtliche Wasserschichten zu erfassen.

Im Jahre 1936 folgte von Ende März bis Anfang Mai eine Zeit mit sehr labilen Schichtungsverhältnissen, in der die ganze Wassermasse um 3 bis 4° erwärmt wurde. Bei ruhigem Wetter bildet sich anschließend, spätestens bis Anfang Juni in 4 bis 5 m Tiefe die eigentliche Sommersprungschicht, die durch eine sehr große Stabilität ausgezeichnet ist und bis Ende August in der ursprünglichen Lage bestehen bleibt.

1935 wie 1936 wurde bei abnehmender Oberflächentemperatur der Beginn der Sprungschichtwanderung zur Tiefe in den ersten Tagen des September festgestellt. Das Metalimnion, dessen senkrechte Ausdehnung im Sommer 2 bis 3 m beträgt, wird bei der Wanderung in seiner Ausdehnung bis unter 1 m zusammengedrückt, wobei gleichzeitig die Temperatursprünge pro m von 4° bis auf 2° heruntergehen.

Ende Oktober folgt beim Zustandekommen der Homothermie, die 1935 und 1936 mit $+9,-^{\circ}\text{C}$ erreicht wurde, die herbstliche Vollzirkulation.

In der Abb. 9 ist außer dem Datum, an dem die Messungen durchgeführt wurden, noch die geschätzte Windstärke und Windrichtung der vorhergehenden Tage und die Temperatur der Oberfläche angeführt. Diese Daten gestatten nämlich in ausreichendem Maße, die Witterungseinflüsse auf die Temperaturschichtung des Sees zu verfolgen. Am 14. 7. 35 wurde z. B. an der Oberfläche des Gr.H.M. die hohe Temperatur von $27,-^{\circ}$ als

Wirkung der vorhergehenden sehr heißen Tage gemessen. Bis zum 23. 7. herrschte dann kühles und windiges Wetter (Windstärke 6 um West). Die Oberflächentemperatur fiel daher auf 19,9°. Diese Abkühlung zusammen mit der starken Einwirkung des Windes verursachte in dieser Zeit die starke Veränderung im Schichtungs Aufbau des Epilimnions, die in der Abb. 9 auffallend zu Tage tritt.

Der Abschluß des Epilimnions vom Hypolimnion im Sommer durch die Stabilität der Schwereschichtung im Metalimnion erklärt viele Eigentümlichkeiten der chemischen und damit auch der biologischen Schichtungsverhältnisse im Pelagial des Gr.H.M., von denen im Folgenden berichtet werden soll.

Chemische Verhältnisse

Methodik.

Die Probeentnahme zu den chemischen Bestimmungen erfolgte immer auf der Mitte des Sees mittels eines Ruttnerschen Schöpfers mit Glasmantel. Das eingebaute Thermometer gestattete gleichzeitig (der Schöpfer blieb stets 3 Minuten in der betreffenden Tiefe), die Temperatur des geschöpften Wassers festzustellen. Die Probeentnahme wurde bei jeder Meterstufe durchgeführt, wobei sofort je eine Sauerstoffflasche gefüllt und mit den üblichen Chemikalien beschickt wurde. 600 ccm fassende Weithalsflaschen mit paraffinierten Korken nahmen das Wasser für die im Laboratorium durchzuführenden Bestimmungen und für die Planktonzählungen auf. Die freie Kohlensäure wurde sofort im Boot bestimmt, das pH ein bis zwei Stunden nach der Probeentnahme im Laboratorium. Bestimmungen, welche sofort nach der Probeentnahme durchgeführt werden müssen, konnten nur wenig oder garnicht berücksichtigt werden, da einerseits die Arbeiten im Boot immer von mir allein durchzuführen waren, und andererseits die Proben für die wichtigeren Bestimmungen und die gleichzeitig durchzuführenden Planktonzählungen möglichst schnell weiterverarbeitet werden mußten. Die Schwierigkeiten, welche bei windigem Wetter auf kleineren Gewässern für die Probeentnahme in den bodennahen Schichten entstehen, wurden durch Verankerung des Bootes am Ufer mittels einer langen Schnur beseitigt. Die Schnur mußte dabei so an einem jeweils in Richtung gegen den Wind eingeschlagenen kleinen Pfahl befestigt werden, daß das Boot genau auf der Wassermitte vor dem Winde stand.

Die einzelnen Bestimmungen wurden nach folgenden Methoden durchgeführt:

Das pH wurde mit dem Hydriometer nach BRESSLAU (1924/25) gemessen.

Die unveränderte WINKLERSCHE Methode (1888) wurde bis Ende Januar 1936 zur Sauerstoffbestimmung angewandt. Ab 19. 2. 36 wurden die Proben nach ALSTERBERG (1926) bromiert. Ende Oktober 1936 stellte ich durch einige Kontrollversuche fest, daß wegen des Eisengehaltes des Gr.H.M. leicht große Fehler durch das Bromieren entstehen können. Nach dem Ansäuern mit Phosphorsäure (1 ccm 85 %ig) werden sogar bei kurzem Stehen der Proben noch größere Mengen Jod frei (in 24 Stunden bis zu einem Mehrwert von 8 mg/l O₂). Wegen dringlicher anderer Arbeiten hatte ich schon im Sommer 1935 das Titrieren der Sauerstoffproben oft um einige Stunden herausgeschoben. Dieses Vorgehen, das für die unveränderte

WINKLERSCHE Methode nach meinen Kontrollanalysen erlaubt war, übertrug ich später auch auf die bromierten Analysen. Die Sauerstoffwerte für die Monate Februar bis Oktober 1936 sind daher zu groß. Zur Errechnung eines Korrektionswertes wurde die Differenz zwischen dem für die Oberfläche ermittelten Sauerstoffgehalt und dem entsprechenden Sättigungswert (nach der Tabelle von FOX, s. WERESCAGIN 1931 S. 18) bestimmt. Eine Kontrolle dieser Berichtigungen wurde außerdem durch die gleichzeitig ausgeführten Eisenanalysen und das gleichzeitig festgestellte Massenaufreten von Eisenbakterien ermöglicht. Es lagen dabei die Befunde von OHLE (1934), EINSELE (1936), MINDER (1929) und YOSHIMURA (1930—31) zugrunde, die eindeutig zeigten, daß die Anreicherung größerer Mengen von Eisen nur bei völligem O₂-Schwund oder bei einer Sauerstoffkonzentration bis zu höchstens 1 mg/l stattfinden kann.

Die so berichtigten Daten sind, wie besonders ein Vergleich mit dem Verlauf der entsprechenden Kurven des Vorjahres zeigt, für eine Orientierung über die Sauerstoffsichtung des Gr.H.M. im Jahre 1936 als brauchbar anzusehen. In der Abb. 10 sind die Kurven, die auf Grund der korrigierten Werte gezeichnet wurden, mit einem Sternchen versehen. (Alle Werte in mg/l angeführt.)

Die freie Kohlensäure wurde nach WINKLER (1916) mittels einer Quirlflasche bestimmt. (Alle Werte als CO₂ in mg/l angeführt.)

Eisen-, Phosphor- und Ammoniakbestimmungen wurden in Hühnerzylindern ausgeführt. Wegen der starken Eigenfarbe der meisten Wasserproben veränderte ich nach einer Mitteilung von Dr. NÜMANN-Langenargen diese, von Dr. EINSELE in ihrem Anwendungsbereich erweiterte Methode so, wie die spätere Veröffentlichung von EINSELE (1936) es ausführlich angibt. Danach stellt man beim Kolorimetrieren den Vergleichsstandard nicht mit destilliertem Wasser her, sondern so, „daß man eine geeignete Menge Standardlösung zu einer Probe des zu untersuchenden Wassers selbst hinzufügt“ Verdünnungen mit destilliertem Wasser mußten bei den Analysen vorgenommen werden, wenn bei Fe und P die Farbintensitäten zu groß waren.

Die Oxydation des Eisens erfolgte nach MÜLLER (1933) mit Brom. Die Bestimmung wurde mit Rhodankalium vorgenommen. (Als Fe in mg/l angeführt.)

Zur Bestimmung löslicher Phosphate wurde die Methode von DÉNIGÉS (1921) benutzt mit der Abänderung von ATKINS (1923). (Als P in mg/l angeführt.)

Der Nachweis des Ammoniaks erfolgte nach WINKLER (1899—1901) mit Nessler's Reagens unter Zusatz von Seignettesalzlösung. (Als N in mg/l angeführt.)

Nitrat wurde mit Bruzin und Schwefelsäure in heißer Lösung nach WINKLER (1899 und 1901) ermittelt. (Als NO₃ in mg/l angeführt.)

Einige Nitritwerte wurden nach WINKLERS Vorschriften (1915) mit Phosphorsäure und Kaliumjodid geschätzt. (Als N_2O_3 in mg/l angeführt.)

Die Gesamthärte des Wassers wurde mit der bekannten Schüttel-methode nach WINKLER (1901) bestimmt. Die gleiche Methode wurde bei Anwesenheit von Kalilauge und Seignettesalz (WINKLER, 1913), welche die Magnesiumsalze hindern, oleinsaures Kalium zu bilden, zur Ermittlung der Calciumhärte angewandt.

Die Bestimmung der Kieselsäure, welche in Hehnerzylindern nach der Methode von WINKLER (1914) vorgenommen wurde, konnte in den durch Eisen gelb gefärbten Wässern des Hypolimnions nicht durchgeführt werden. Bei dieser Analyse ist nämlich die erwähnte Abänderung EINSELES (1936) beim Kolorimetrieren nicht erlaubt. Als Standard diente eine Kaliumchromatlösung von 0,530 g in 100 ccm H_2O , von der 1 ccm einer Färbung von 10 mg/l SiO_2 entspricht.

Der $KMnO_4$ -Verbrauch wurde nach dem Zeitverfahren von WINKLER (1902 und 1914) ermittelt. Wegen des hohen Eisengehaltes der meisten Wasserproben wurde die Ansäuerung mit 25%iger Phosphorsäure vorgenommen. Die Titerstellung der $KMnO_4$ -Lösung wurde bei jeder Analysenreihe festgestellt. Bei Anwesenheit von Ferro-Ionen wurde deren störende Wirkung durch Oxydation auf Kosten des gelösten Sauerstoffs mittels einiger Tropfen 10%iger Natronlauge beseitigt. Die angeführten Werte bezeichnen mg/l $KMnO_4$.

Die Bestimmung der Wasserfarbe nach OHLE (1934), in Einheiten von $\frac{1}{100}$ mg/l Methylorange ausgedrückt, wurde mit Hehnerzylindern durchgeführt. In Wässern mit hohem Eisengehalt kann diese Methode aber nicht zur Festlegung des Humusstandards angewandt werden (s. auch OHLE 1934). Ihr Wert liegt hier, wegen einer auffallenden Übereinstimmung mit den Eisenanalysen, in einer Orientierung über die bei den P- und Fe-Analysen notwendigen Verdünnungen mit destilliertem Wasser. Weiterhin konnte mir die Farbbestimmung einige Hinweise bezüglich des Zustandes der im Hypolimnion gelösten Eisenmengen geben. Weitere Anhaltspunkte zu diesen Fragen suchte ich durch einige Filtrier- und Sedimentationsversuche zu erhalten.

Bestimmungen des Gesamt-Phosphors, des Gesamtstickstoffs, des Proteinammoniaks, des Mangans, des Chlors usw. konnten teils aus zeitlichen Gründen, teils wegen des Mangels einer geeigneten Laboratoriumseinrichtung (Leuchtgas, fließendes Wasser, elektrisches Licht, Abzug usw.) nicht ausgeführt werden. Leitfähigkeitsmessungen und interferometrische Bestimmungen, die für die allgemeine Charakteristik des Gewässers von größtem Wert sein würden, mußten wegen der hohen Kosten der betreffenden Apparate unterbleiben.

Chemie der Fern- und Nahumgebung des Pelagials des Gr.H.M.

Bevor auf die chemische Schichtung des Pelagials des Gr.H.M. eingegangen werden kann, müssen die Einwirkungen der Umgebung auf den See berücksichtigt werden.

Als nächstliegende und stärkste Regionen des Stoffaustausches sind die Nachbarbiotope im See selbst zu bezeichnen: sein Litoral und sein Profundal.

Das Litoral.

Die folgende kurze Charakteristik der litoralen Pflanzenbestände stützt sich auf die Arbeit von GRÄBNER (1930) und auf einige eigene Beobachtungen. Als Hauptpflanzen der Uferbank (s. Abb. 2) haben *Phragmites vulgaris* und *Scirpus lacuster* zu gelten. Der schmale Teil des Ufers im Süden des Sees ist stattdessen mit *Sparganium ramosum*, *Lysimachia thyrsoflora* und *Equisetum limosum* bestanden. Rund um den See herum sind außerdem *Typha latifolia*, *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum*, *Iris pseudacorus*, *Alisma plantago*, *Comarum palustre*, *Ranunculus lingua*, *Menyanthes trifoliata*, *Peucedanum palustre* und einige *Carex*-Arten in geringem Ausmaß an der Besiedlung der Uferbank beteiligt.

Die Produktion der höheren Litoralflora ist nach meinem Dafürhalten einer mäßigen, kulturbedingten Eutrophie am besten gleichzusetzen. Nach dem Stande der inneren Reifung des Gr.H.M., und nach der Nahrungsarmut seines Untergrundes (s. S. 9) wäre theoretisch ein mehr oligotropher Charakter der litoralen Flora zu erwarten. Diese Behauptung fußt vor allem auf quantitativen Unterschieden in der Besiedelung der Ufer des Gr.H.M. Auffallend ist bei der Beachtung dieser Verhältnisse, daß auf dem Gr.H.M. die Brandungsufer ein Vielfaches an Pflanzen produzieren, gegenüber den schütterten Beständen der windgeschützten Seite des Sees. Und gerade diese Verschiedenheiten sind es, die in ihrer Regelwidrigkeit die Eutrophierung durch Kultureinflüsse wahrscheinlich machen. Die östliche Hälfte der Uferbank des Gr.H.M. grenzt nämlich in ihrer ganzen Ausdehnung an gut gedüngte Wiesen und Äcker, die in den See hinein entwässern, während die Westseite des Sees völlig von sterilen Heideflächen und anmoorigen Stellen eingeschlossen ist. Hier findet man nach KOPPE (1931) noch einige Pflanzen, die Kultureinflüsse meiden, wie *Litorella lacustris*, *Hypericum helodes* und *Sphagnum auriculatum*. Die Eutrophierung der Pflanzenbestände des östlichen Seeufers wird außerdem noch vorangetrieben durch die dort im Herbst massenhaft im Schilf übernachtenden Stare, Schwalben und Stelzen. Die geringe Zahl der Brutvögel des Sees hat demgegenüber keinen nennenswerten Einfluß auf seine chemischen und darüber hinaus biologischen Verhältnisse (s. FALTER, GOETHE, KRIEGSMANN 1935 und FALTER, KRIEGSMANN 1937).

Von untergeordneter Bedeutung im Stoffhaushalt sind im Gr.H.M. der nur schwach im Süden ausgebildete Gürtel der Laichkrautgewächse und die unterseischen Wiesen von *Myriophyllum* im Nordzipfel des Beckens.

Die Rückwirkungen des Litorals auf das Pelagial erlangen im Frühling und im Sommer ihre größte Bedeutung. Die dabei freiwerdenden Nährstoffe (besonders P und N) werden zum Teil durch Strömungen dem freien Wasser zugeführt. Das Litoral ist also im Sommer, wenn alle anderen Quellen zur Ergänzung der Nährstoffe mehr oder weniger versiegen (s. z. B. Meerbecke S. 21), in seiner ganzen Ausdehnung als Austauschfläche für die Minimumstoffe von wesentlicher Bedeutung. Für Gewässer, die wie das Gr.H.M. in ihrer Phytoplanktonproduktion durch siderotrophe Einflüsse bestimmt sind, ist diese Tatsache von besonderer Wichtigkeit, was später noch genauer begründet werden wird (S. 100).

Das Profundal.

Der andere Nachbarbiotop des Pelagials, das Profundal, ist im Sommer mit seinen Wirkungen auf das freie Wasser richtunggebend für die Ausbildung der chemischen und biologischen Eigentümlichkeiten des Hypolimnions.

Der Tiefenschlamm des Gr.H.M. ist eine schwarze, leichtflüssige Gytija, die im Sommer geringen Schwefelwasserstoff-Geruch aufweist. Beim Zusatz von HCl wurde der H₂S-Geruch sehr stark, als Zeichen des hohen Pyritgehaltes des Schlammes. Der Eisengehalt des Sedimentes ist ebenfalls ziemlich groß. Die Oberfläche der 24 Stunden an der Luft stehenden Gytija färbte sich nämlich durch Oxydation des Fe(HCO₃)₂ zu Fe(OH)₃ braun.

Der getrocknete Schlamm hatte eine graue, und der Alkaliauszug bekam eine schwarz-braune Färbung, die beim Trocknen in beige umschlug. Am 3. 12. 36 konnten im oberflächlichen Schlamm des Gr.H.M. keine gesund aussehenden, assimilationsfähigen Algen festgestellt werden. Demnach ist das Profundal des Gr.H.M. ein abhängiger Lebensraum. Bei Berücksichtigung der erwähnten geringen Lichtintensität des Gr.H.M. (S. 25) in seinen tieferen Schichten war diese völlige Abhängigkeit zu erwarten. Die Anwesenheit von vielen Diatomeenschalen (*Melosira*, *Synedra*, *Cyclotella*, *Fragilaria*, *Tabellaria*), Cladoceren- und Blatt- und Stengelteilen im Tiefenschlamm läßt als Ursprungsgebiete seines Gehaltes an organischem Material das Pelagial und das Litoral des Sees erkennen. Für den Grobdetritus kommt als weitere Quelle noch der herbstliche Laubeinfall von dem, die Uferbank des Gr.H.M. fast rundum begleitenden Erlenbruchstreifen zur Geltung. Dieser Laubeinfall erreicht einerseits quantitativ und andererseits wegen der mittleren Lage des Ca-Spektrums keinen bedeutenden Einfluß auf die Biologie des Sees. Von einer Annäherung an den Typus des Waldhumussees (UTERMÖHL 1925) kann beim Gr.H.M. also nicht gesprochen werden.

Bei meinen orientierenden Schlammuntersuchungen konnte im Profundal nur sehr geringes tierisches Leben nachgewiesen werden. Die ziemlich starke Beteiligung koprogener Bildungen an der strukturellen Zusammensetzung des Tiefenschlammes steht damit aber in Widerspruch. Eine Erklärung dieser Verhältnisse ist vielleicht durch die von LUNDBECK (1926) im Plöner See beobachteten Vertikalwanderungen der Bodentiere zu geben. Danach findet im Sommer, bedingt durch den starken O_2 -Schwund, ein Aufwärtswandern dieser Tiere statt, das mit Beginn der Vollzirkulation in ein Abwärtswandern umschlägt. Zur Zeit meiner Untersuchungen im Spätherbst 1936 schienen die Bodentiere bei ihrer Abwärtswanderung die profundalen Gebiete günstiger Ernährungsbedingungen noch nicht wieder erreicht zu haben.

Nach dem oben Erwähnten ist der Tiefenschlamm des Gr.H.M. als Gyttya zu bezeichnen, die durch einen gewissen Grobdetritus- und Diatomeengehalt und durch koprogene Bildungen näher gekennzeichnet ist. Typischer Dy ist an seiner Zusammensetzung wohl kaum beteiligt, während Humussubstanzen s. l. und Humate in geringem Maße vorhanden sind.

Die starke Sauerstoffzehrung des Schlammes verursacht im Gr.H.M. während der Sommermonate bis zu 4 m über dem Boden völligen Sauerstoffschwund (S. 40). Das schnelle Anwachsen der sauerstofffreien Wassermasse im Frühjahr steht dabei in Zusammenhang mit der Abscheidung von Gasblasen aus dem Schlamm, die nach den durch ROSSOLIMO (1935) bekannt gewordenen Vorgängen, Methan, Wasserstoff, Kohlensäure und Stickstoff in allen Wasserschichten zur Lösung bringen und damit die Zehrung schnell in höhere Schichten tragen. An windstillen Tagen kann auf dem Gr.H.M. das Aufperlen von Gasblasen über seinem profundalen Bereich immer beobachtet werden.

Die Zuflüsse des Gr. H. M.

Als wichtiger, außerhalb des Sees gelegener Faktor der chemischen Beeinflussung des Pelagials ist nun noch die Fernumgebung des Gr.H.M. zu behandeln. Träger der Fernwirkungen auf die chemischen Eigenheiten des Sees sind dessen oberirdische und unterirdische Zuflüsse. Auf S. 19—23 wurde die Bedeutung des Grundwassers, wie die des Meerbeckewassers für den Wasserhaushalt des Sees besprochen. Danach ist besonders während der Sommerstagnation die Grundwasserzufuhr für das Pelagial von großer Wichtigkeit. Einige Brunnenwässer der Umgebung wurden deshalb auf ihren Gehalt an im Gr.H.M. biologisch wichtigen Stoffen untersucht:

Die Hauspumpe im Stationsgebäude (s. Abb. 2: C) fördert ein völlig klares Wasser aus einer Tiefe von gut 20 m, das an der Luft nach einiger Zeit in starkem Maße Eisenhydroxyd ausscheidet.

An Analysenresultaten liegen vor:

O ₂		2,16 } mg/l (erst beim Pumpen aufgenommen. s. F · · Werte.)	
Fe ·	sofort untersucht (unbromiert)	0,3	(3 Bestimmungen)
Fe ·	nach 12 Std. untersucht (unbromiert)	5,6	„ (1)
Fe · ·	(bromiert)	10,— bis 15,—	„ (8)
N ₂ O ₃		0,0	(1)
N (NH ₃)		0,4	(1)
P		0,36 bis 0,5	(3)
CO ₂	sofort	58,—	(1)
	nach 3 Std. offenem Stehen	63,—	(1)
	13 „ „	54,—	„ (1)
	„ „ 10 „ geschl.	60,—	„ (1)
KMnO ₄ -Verbrauch		20,—	(5)
Orange Farbe Nr.	sofort	2,—	„ (2)
	nach 18 Std.	65,—	(1)

Tabelle V. Analysen der Stationspumpe.

Die Ergebnisse der unbromierten Eisenanalysen der Tabelle V lassen durch ihr Versagen gegenüber den hohen Werten der bromierten Analysen erkennen, daß im Wasser der Stationspumpe das Eisen völlig in seiner zweiwertigen Form (Fe · ·) bei gleichzeitiger Abwesenheit von O₂ gelöst ist.

Die Analysendaten zweier Brunnen sind besonders betreffs ihres Eisen- und Phosphorgehaltes mit den Eigenschaften des Pumpenwassers im Stationsgebäude nicht direkt zu vergleichen. Die Pumpen der Bauern Attermeyer (s. Abb. 2: A) und Niemann (s. Abb. 2: B) ertnehmen ihr Wasser aus mit der Luft in Verbindung stehenden, mit Betonröhren ausgekleideten Brunnen, die das Wasser der oberflächlichen Bodenschichten sammeln.

	Brunnen Attermeyer		Brunnen Niemann		Wiesengraben (s. Abb. 2:D)	
Fe · · · mg/l	0,2	(6 Anal.)	0,8	(2 Anal.)	15,5 (12,3 Fe · ·)	(je 1 Anal.)
N ₂ O ₃ „ „	0,0	(1)	> 0,5	(1)	0,1	(1 Anal.)
NO ₃ „ „	1,—	(1)	1,8	(1)	eine Spur	(1)
N(NH ₄) „ „	0,3	(1)	1,5	(1)		
P „ „	0,01—0,05	(4)	0,014-0,025	(2)	0,35	(1)
KMnO ₄						
Verbrauch „ „	41,9 —76,6	(6)	113,2—126,7	(2)	29,8	(1)
Orange-Farbe Nr. „ „	13,0 —63		84,— 90,—	(2)	17,—	(1)

Tabelle VI.

Das Grundwasser der Umgebung des Gr.H.M. ist nach den obigen Befunden (Tabelle V und VI) durch seinen hohen Eisengehalt charakterisiert. Die Befunde in den Brunnen Attermeyer und Niemann können diese Behauptung nicht widerlegen, da in ihnen bezw. im filtrierenden Boden das Eisenbikarbonat zu Eisenhydroxyd oxydiert und gleichzeitig ausfällt. Ihr Eisengehalt ist also erst sekundär erniedrigt worden. Diese in den betreffenden Brunnen selbst nicht nachgeprüfte Behauptung wird durch die Untersuchung des dicht am Niemannschen Brunnen liegenden Wiesengrabens bestätigt. In ihm sind nach kurzem Lauf und bei geringem Gehalt an organischen Stoffen, die im austretenden Grundwasser gelösten Eisenverbindungen weder oxydiert, noch ausgefällt worden. Sein hoher Eisengehalt (15,5 mg/l Fe) ist dafür der beste Beweis. Umgekehrt ist vom hohen Gehalt an zweiwertigem Eisen beim Wasser der Stationspumpe und bei dem des Wiesengrabens auf die Sauerstofffreiheit der Grundwässer des Gebietes zu schließen. Die betreffende Sauerstoffanalyse (Tabelle V) kann in diesem Falle kein klares Bild bieten, da das Wasser in der Pumpe und beim Füllen der O₂-Flaschen mit Luft in Berührung kommen muß.

Für die Stationspumpe sind die hohen Werte für P recht auffallend. Der hohe CO₂Gehalt seines Wassers ist für Grundwässer wohl kaum etwas Besonderes.

Der Nachweis hoher N Konzentrationen im Niemannschen Brunnen ist auf die Verschmutzung des oberflächlich gesammelten Wassers durch einen in seiner Nähe liegenden Komposthaufen zu erklären.

Bei der geringen Größe des Einzugsgebietes des Gr.H.M. und bei der Kürze des Meerbeckelaufes (s. S. 21) sind für den Hauptzufluß des Sees ähnliche chemische Verhältnisse zu erwarten, wie sie für das Grundwasser festgestellt wurden. Die Wasserstoffionenkonzentration beträgt in der Meerbecke meist um 6,8. Die übrigen Untersuchungen sind im Folgenden zusammengestellt.

Der Eisengehalt der Meerbecke hat nach den obigen Daten unbedingt stärksten Einfluß auf den Chemismus und weiter auch auf die Biologie des Pelagials des Gr.H.M. Die angeführten Tagesmengen des Eisentransportes des Baches erreichen im Herbst außerordentlich hohe Werte. Gegenüber dem Sommer 1935 war der des Jahres 1936 wegen seiner großen Feuchtigkeit ungleich günstiger zur Ansammlung großer Eisenhydroxydmengen im Bachbett. Das langsame aber fast ununterbrochene Fließen des Baches im Sommer 1936 mag dabei anzeigen, daß ihm ständig ziemliche Mengen von Eisenbikarbonat aus den stark zehrenden Böden seines Nährgebietes zugeführt werden. Nach der Anreicherung des Sickerwassers mit O₂ beim Austritt aus dem Boden und beim Übertritt in den Bach wurde das Eisenbikarbonat als Eisenhydroxyd ausgefällt und dann als rostroter, dicker Überzug auf dessen Ufer und Boden in seinem ganzen Verlauf gespeichert. Die erste herbstliche Regenperiode (ab 4. 9. im Jahre 1936) riß durch ihre starke Strömung alle diese Eisenmassen los, wodurch das plötzliche Hoch-

Jahr	1935				1936					
Datum	30.10.	13.11.	29.11.	4.12.	3.1.	22.1.	16.2.	21.2.	5.3.	21.3.
Wasserführung d. Mb. in sec/1	50		50				100			∞50
Fe . . .	2,1		1,4		1,12	1,4		1,8		2,1
Tagesmenge Fe kg	0,86		∞ 0,55							∞ 1
Orange Farbe									16	13
KMnO ₄ Verbrauch				36,8						
P										0,05
NO ₃	2,4	1,3			1,—					
N ₂ O ₃										
N (NH ₄)										
Gesamt-Härte		2,7°	3,1°							
n/1 HCl										

schnellen des Eisengehaltes des Bachwassers und der Tageswerte seines Eisentransportes zu erklären war (s. 15. 9. 36). In der Folgezeit ließ die im Bach mitgeführte Menge Eisen eine ständige Abnahme erkennen, da einerseits die Ockerüberzüge des Bachbettes weggespült waren, und da andererseits die zunehmende Durchdringung der oberen Bodenschichten mit sauerstoffreichem Regenwasser die Oxydation des Eisens im Boden selbst förderte.

Der höchste Eisenwert von 50,— mg/l (am 28. 8. 36 bei nur 6,25 sec/1 Wasserführung) wurde durch das Aufwirbeln der erwähnten Ockerbezüge im unteren Teile der Meerbecke bei der behördlich angeordneten jährlichen Reinigung des Bachbettes von Gestrüpp usw. künstlich herbeigeführt.

Zu dem hohen Eisengehalt des Einzugsgebietes der Meerbecke sei erwähnt, daß im Weltkrieg Raseneisenerze, die im Heiligen Feld gefunden waren, noch verhüttet worden sind.

Der Nachweis des hohen Eisenbikarbonatgehaltes des oberflächlichen Sickerwassers der Meerbeckewiesen, der für die obigen Erörterungen die angenommene Voraussetzung war, gelang mit den in der Tabelle VI angeführten Eisenanalysen des Wiesengrabens. In seinem Wasser wurden von insgesamt 15,5 mg/l Fe nur 3,2 mg/l als Fe . . . nachgewiesen. Die restlichen 12,3 mg/l konnten nur nach der Oxydation mit Brom erfaßt werden.

Alle übrigen untersuchten Stoffe außer P sind im Meerbeckewasser in ungefähr der gleichen Konzentration vorhanden wie im Gr.H.M.

	27.4.	9.5.	25.5.	15.7.	17.7.	26.8.	28.8.	15.9.	3.10.	10.10.	28.10.	11.11.	1.12.	4.12.	8.12.
330	~20		50	20		6,25	100	~20	~10	~60	~100	~200	50		
	2,5			1,6		50	25	8,5	4,8	6,7	8,25	6,5	3,—		
>86,—	3,1		6,9	2,8		27,—	216	~14,7	~4,3	~37,6	~71,3	112,3	~13,—		
	18			14		530			44		50	50	30		
						105,2			30,1	42,4		60,8	59,7		
	0,035					0,300		0,300	0,140	0,200	0,045	0,052	0,100	0,036	
															0,9
															0,0
			0,11										0,56		0,47
			0,8												

Tabelle VII. Untersuchungen der Mb.-Angaben in mg/l. (Tagesmenge Fe in kg; Wasserführung der Meerbecke in sec/l.)

Der wechselnd hohe Phosphorgehalt der Meerbecke kann in der im Bachwasser vorliegenden Form von Plankton zum größten Teil nicht verwertet werden (s. Tabelle X und XXIII).

Unter den Zuflüssen des Gr.H.M. befindet sich (außer der Meerbecke) keiner, der eine genaue Untersuchung seiner chemischen Eigenschaften gelohnt hätte. Ihre Wasserführung ist zu gering, als daß sie spürbaren Einfluß auf die Chemie und Biologie des Sees haben könnten.

Chemie des Pelagials.

Wasserstoffionenkonzentration.

Den Untersuchungsergebnissen über das Verhalten einzelner Stoffe im Gr.H.M. sei zunächst das Verhalten der Wasserstoffionenkonzentration vorangestellt.

Wie die Tabelle VIII zeigt, liegt das pH im Gr.H.M. um 7,—. Die Werte der Wintermonate und die einiger Messungen im Hypolimnion liegen 2—3 Zehntelgrad tiefer. Ein metalimnisches Sinken des pH-Standarts, wie es beim Takasuka von YOSHIMURA (1932) beobachtet wurde, ist im Gr.H.M. nur ganz schwach ausgeprägt. Die meist neutrale Lage der Wasserstoffionenkonzentration schließt sie von der speziellen Beeinflussung der Besiedlung des Gr.H.M. aus.

m	T a g							
	14.7.35	1.9.35	13.10.35	15.10.35	30.10.35	6.1.36	22.2.36	5.3.36
0	7,3		7,2	7,1	7,—	7,—	6,9	6,7
1		7,2	7,2	7,1				
2			7,1					
3	7,3	7,2	7,—					
4	7,3	7,1	7,—	7,05				
5	7,3	7,1	7,—		7,—			
6	7,3	7,—	7,—					
7	7,3	7,—						
8	7,3		7,2	7,2				
9	7,3	7,—		7,2	7,—			
10								

Tabelle VIII. pH-Messungen im Gr.H.M.

Sauerstoff,

Einer der biologisch wichtigsten Haushalte im See ist der des Sauerstoffs. THIENEMANN hat bekanntlich seine grundlegenden Arbeiten über die Seetypen auf den Unterschieden im Sauerstoffgehalt des Hypolimnions der Seen mit aufgebaut.

Die Sauerstoffschichtung des Gr.H.M. ist in den Kurven der Abbildung 10 (s. Taf. I) dargestellt. Da die Temperaturschichtung des Wassers der Ausgangspunkt aller übrigen biologisch beeinflussten Schichtungen im Pelagial unserer Seen ist, sollen die allgemeinen Züge, die das Sauerstoffregime des Gr.H.M. aufweist, im Zusammenhang mit der Lage der Temperatursprungschicht herausgearbeitet werden. Geringe Übersättigungen im O₂-Gehalt wurden nur im Sommer und in den obersten Schichten des Epilimnions (bis zu 2 m) beobachtet.

Auffallend ist bei dem Vergleich beider Kurvenzüge im Jahr, daß die Sauerstoffsprungschicht im Sommer im Gr.H.M. höher liegt, als die eigentliche Thermokline. Die stärkste O₂-Abnahme in der Vertikalen ist dabei innerhalb der obersten kleinen Sprünge der Sprungschicht festzustellen. Von Anfang Juli bis Anfang Oktober ist im Gr.H.M. ein großer Teil des Hypolimnions sauerstofffrei. Die Ursachen dieses im Frühjahr außerordentlich schnell in die oberen Schichten des Hypolimnions übergreifenden Sauerstoffdefizits können im Gr.H.M. keinesfalls allein in der Zehrung der absinkenden Phytoplankter gesucht werden. Diffusionsvorgänge sind wegen ihrer langsamen Wirksamkeit ebensowenig zur Klärung dieser Tatsachen heranzuziehen. Die Zufuhr von Grundwasser (s. S. 21) wird demgegenüber bei der Ausprägung dieser Verhältnisse eine Rolle spielen, da nach den auf S. 37 erörterten Befunden das Grundwasser des Gebietes praktisch sauerstofffrei ist. Der Grundwasserzustrom betrug am 27. 8. 36 (s. S. 21) bei Vernachlässigung der Verdunstung ungefähr 700 cbm je Tag. Der Zu-

fluß im Frühjahr wird diesen für die trockenste Jahreszeit geltenden Wert um ein Bedeutendes übertreffen. Leider ist über die Lage des Grundwasserhorizontes im Gr.H.M. nichts bekannt. Es kann daher auch nichts darüber ausgesagt werden, in welcher Tiefe der durch das Grundwasser bedingte O₂-Schwund zu erwarten ist. Vielleicht kann aber der in den O₂-Kurven von Anfang November bis Anfang Januar (s. Abb. 10; 1935 und 1936) festgestellte Sauerstoffschwund zwischen 5 und 6 m als Wirkung des Grundwasserzuströmes gedeutet werden. Die Bedeutung dieser Annahme für die diskutierte Frage nach den Ursachen des schnellen O₂-Schwundes im Gr.H.M. während des Frühjahres wird erst dann klar, wenn man sich vergegenwärtigt, daß in der Zeit der beginnenden Abnahme des O₂-Gehaltes im Hypolimnion gleichzeitig die ersten Temperatursprünge damit beginnen (s. Abb. 9), Epilimnion und Hypolimnion voneinander abzuriegeln.

Einen weiteren, wohl entscheidenden Hinweis in dieser Frage erhält man, wenn einerseits die CO₂-Analysen und andererseits die Beobachtung lebhaften Aufstieges von Gasblasen vom Profundal zur Wasseroberfläche des Gr.H.M. in Betracht gezogen werden. Durch KUSNETZOW (1935) und ROSSOLIMO (1935) wurde nämlich nachgewiesen, daß in Seen, welche das erwähnte Phänomen zeigen, der Sauerstoffschwund hauptsächlich durch bakterielle Oxydation der beim Aufsteigen der Gasblasen im Wasser sich lösenden Mengen an CH₄, H₂ und CO₂ verursacht wird. Der Gehalt des Wassers an Methan und Wasserstoff wurde von mir nicht untersucht. Daher mag sein Gehalt an freier Kohlensäure als Indikator für die Intensität der Gasausscheidung im Gr.H.M. dienen.

Kohlensäure,

Die Abbildungen 11 und 12 veranschaulichen den spiegelbildlichen Verlauf der CO₂- und O₂-Kurven, wie ihn ähnlich BIRGE und JUDAY schon 1910 bei eutrophen Seen feststellten. Der CO₂-Gehalt im Hypolimnion ist aber sehr viel höher als alle entsprechenden Werte, die ich bisher in der Literatur gefunden habe (z. B. OHLE 1934, YOSHIMURA 1932). Schon in den ersten Anfängen der Sommerstagnation (5. 4. 36) erreicht der CO₂-Gehalt im bodennahen Wasser die höchsten bisher überhaupt festgestellten Werte (Kl. Uklei-See, Takasuka Pond), um im Verlauf des Sommers (13. 8. 36) auf gut das Doppelte (64 mg/l) anzusteigen. Daß diese hohen Werte nicht nur direkt über dem Schlamm, sondern auch in höheren Schichten angetroffen wurden (Tabelle IX), weist nicht nur auf stark zersetzende Vorgänge im Sediment des Gr.H.M. hin, sondern stützt außerdem die Annahme, daß vom Schlamm aufsteigende Gasblasen am Zustandekommen des starken Sauerstoffminimums im Gr.H.M. während des Sommers entscheidend beteiligt sind. Für die Einwirkung der Bodengasausscheidung (ROSSOLIMO 1935) auf den Gesamthaushalt des Sees spricht dann noch die Feststellung, daß freie Kohlensäure auch bei stärkerer Phytoplanktonent-

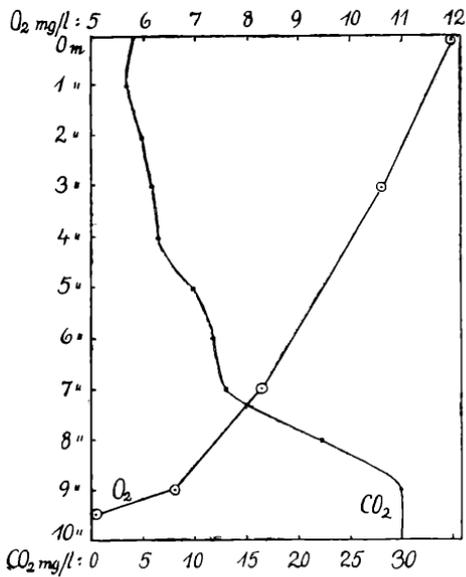


Abb. 11. O₂ und CO₂ im Gr.H.M. am 5. 4. 36.

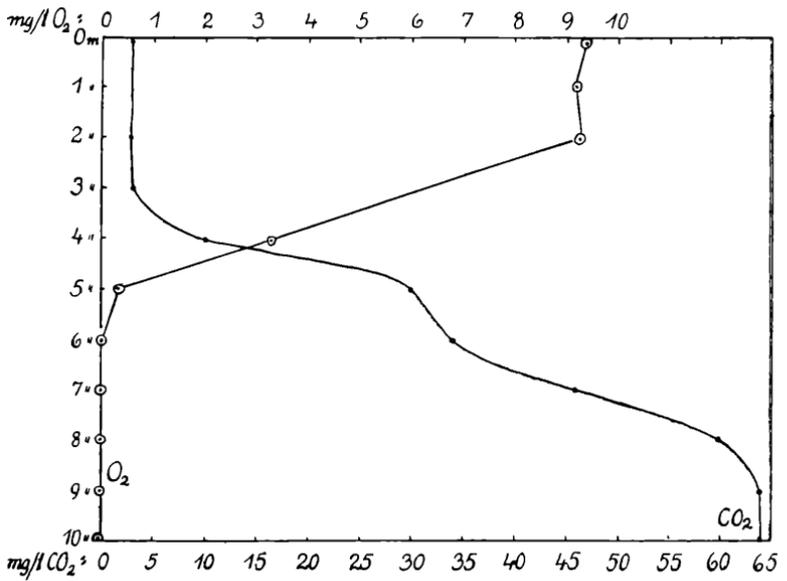


Abb. 12. O₂ und CO₂ im Gr.H.M. am 13. 8. 36.

wicklung im Epilimnion des Gr.H.M. in relativ hohen Werten nachgewiesen werden kann (Tabelle IX).

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.4.36	4	3	5	6	6,4	10	12	13	22	30	30
13.8.36	3	3	3	3	10	30	34	46	60	64	64

Tabelle IX. Der CO₂-Gehalt des Gr.H.M. in mg/l.

Betreffs der hohen CO₂-Konzentration im Bodenwasser am 5. 4. 36 sei noch auf die mutmaßliche Einwirkung des Grundwassers hingewiesen, das z. B. am 29. 3. 1937 58 mg/l CO₂ enthielt (s. Tabelle V).

Sauerstoff und Kohlensäure sind im Gr.H.M., das sei als Zusammenfassung der obigen Erörterungen gesagt, in ihren groben Schichtungsverhältnissen abhängig:

1. von der Lage der Sprungschicht;
2. von der Bodengasausscheidung, die hauptsächlich den Sauerstoffschwund und die CO₂-Anreicherung im Hypolimnion herbeiführt;
3. in geringem Maße, und zwar besonders im Frühjahr, von dem Zustrom an O₂-freiem und Fe⁺⁺- und CO₂-reichem Grundwasser.

Im Epilimnion und im Hypolimnion des Gr.H.M. zeigen also beide Stoffe ein Verhalten, das mit dem der eutrophen Seen THIENEMANN'S übereinstimmt.

Eisen.

Wie im Vorhergehenden enge Beziehungen zwischen O₂ und CO₂ im Gr.H.M. festgestellt wurden, so bestehen engste Beziehungen zwischen den folgenden Haushalten, für die wiederum als übergeordnete und leitende Wirkungen in ihrer Vertikalverteilung der Sauerstoff- und der Temperaturhaushalt gelten. Sauerstoff und Eisen sind z. B. in ihrem gegenseitigen Verhalten noch wesentlich fester miteinander verkoppelt als O₂ und CO₂. In sauerstoffreichem Wasser ist nämlich Eisen, das in ihm als Fe(OH)₃ vorliegt, praktisch unlöslich, während in sauerstoffarmen Wässern große Eisenmengen als Bikarbonate gelöst sein können. Die Auswirkung dieser Verhältnisse bestimmt im Gr.H.M. prinzipiell die Verteilung des Eisens in der Senkrechten und den jahreszeitlichen Wechsel des Eisengehaltes der ganzen Wassermasse (s. Abb. 13). In der Abbildung 14 kommt ganz klar zum Ausdruck, daß, entsprechend den O₂-Verhältnissen, das Eisen während der Zirkulationsperioden in gleichmäßig geringer Konzentration im ganzen Pelagial festgestellt wurde; während in den Stagnationsperioden die Eisenkurve das Spiegelbild der Sauerstoffkurve darstellt, wobei der Sauerstoffschwund des Tiefenwassers die Anwesenheit solch großer Eisenmengen im

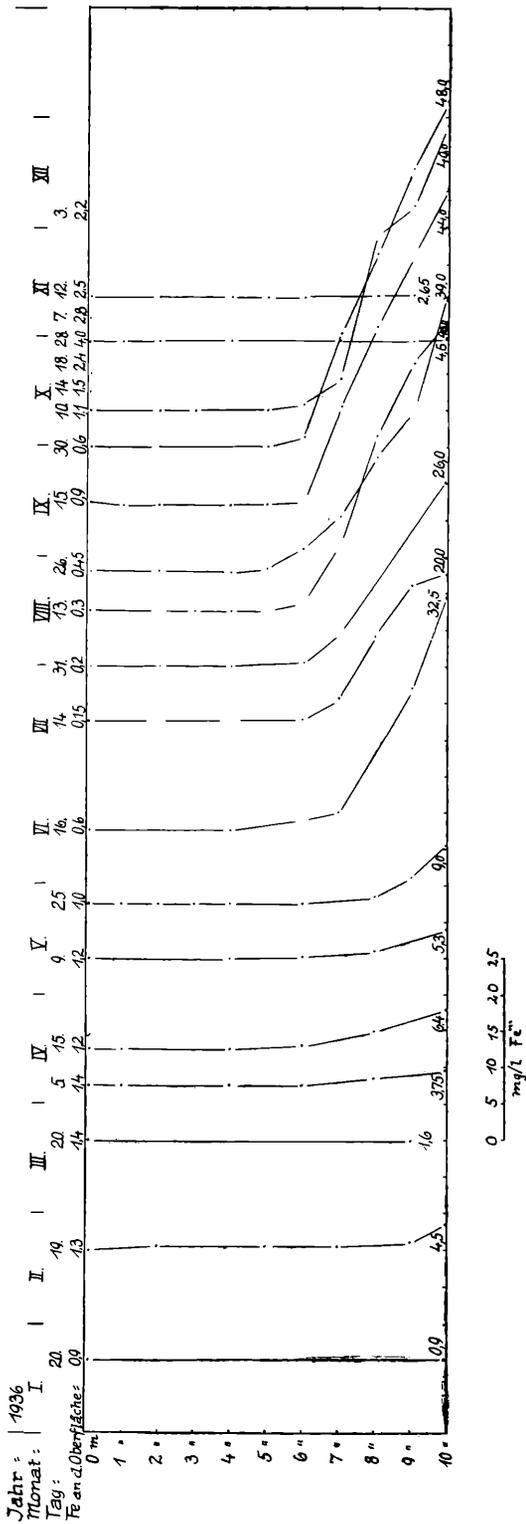


Abb. 13. Fe ... (bromiert) im Gr.H.M.

Hypolimnion ermöglicht. Die gesamte Eisenmenge des Pelagials betrug am 13. 8. 36 1630 kg (85 im Epilimnion und 1545 im Hypolimnion) und am 20. 1. 36 420 kg (290 im Epilimnion und 130 im Hypolimnion). Der Unterschied im Eisengehalt der Epilimnien der beiden Tage beträgt 205 kg. Subtrahiert man diesen Wert, der als abgesunkenes Fe^{+++} (S. 48) in der Eisenmenge des Hypolimnions stecken könnte, von dem im Sommer im Hypolimnion gelösten Eisengehalt, so erhält man mit 1340 kg die Eisenmenge, deren Herkunft mit Vorgängen im Pelagial allein nicht erklärt werden kann. MINDER (1929), YOSHIMURA (1930/31), WHIPPLE (1927) und EINSELE

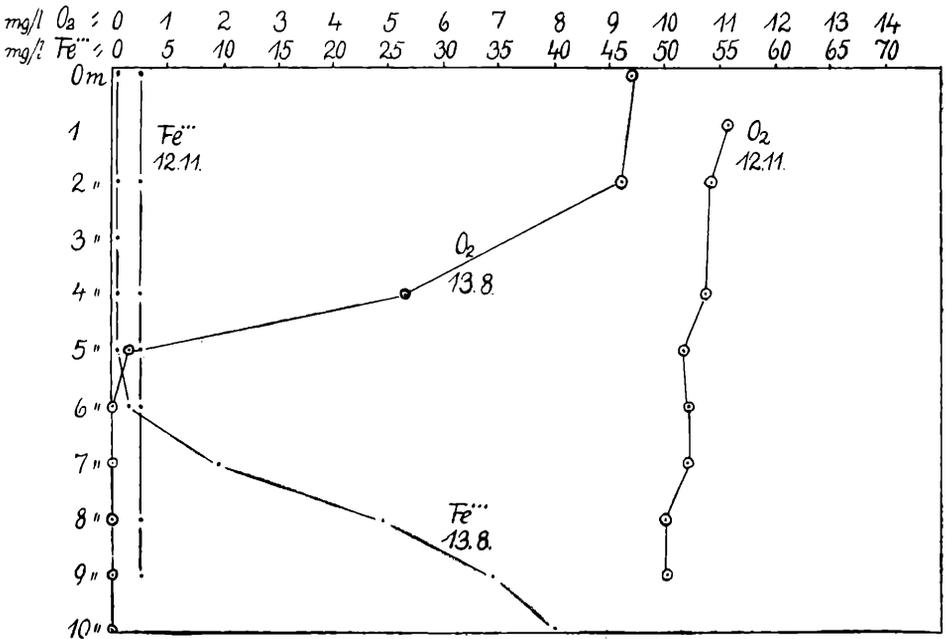


Abb. 14. O_2 und Fe^{+++} (bromiert) am 13. 8. 36 und 12. 11. 36.

○ — ○ = O_2 · — · = Fe

(1936) machen für diesen Überschuß Reduktionsvorgänge im Schlamm der Gewässer verantwortlich. YOSHIMURA läßt von diesen Forschern allein die von NAUMANN (1932) vertretene Ansicht offen, daß der Eisengehalt des von ihm untersuchten Gewässers hauptsächlich aus dem Grundwasser stamme.

Im Gr.H.M. sind für die Eisenanreicherung im Hypolimnion während der Sommerstagnation vier Ursachen anzuführen:

1. Die Wirkung der Grundwasserzufuhr ist, im Gegensatz zu den Feststellungen EINSELES (1936) über den Schleinsee, im Gr.H.M. ziemlich stark. Das schnelle Anwachsen der Eisenwerte beim Beginn der Winter- und Sommerstagnation ist dafür ein Kennzeichen (s. Abb. 13). Die unter-

- suchten Grundwässer enthielten bei Sauerstoffarmut 10 bis 15 mg/l Eisenbikarbonat (s. Tabelle V und VI).
2. Die Eisenführung der Meerbecke ist zu Hochwasserzeiten und im Herbst eine besonders starke, da in ihr täglich bis zu 216 kg Fe, als grobflockiges $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ins Gr.H.M. transportiert werden (Tabelle VII). Die Eisenflocken sinken im See sehr schnell ab und werden in den obersten Schichten des Schlammes bei Anwesenheit von CO_2 , H_2S , CH_4 und H_2 zu Eisenbikarbonat reduziert.
 3. Beim Eintritt von starkem O_2 -Schwund (unter 1 mg/l/ O_2 !) in den Stagnationsperioden kann das im Schlammwasserkontakt gelöste $\text{Fe}(\text{H}_2\text{CO}_3)_2$ durch Strömungen und Diffusionsvorgänge in die Wassermasse des Hypolimnions gelangen.
 4. Das aus der Meerbecke oder aus dem Epilimnion des Gr.H.M. stammende, während der Sommerstagnation absinkende $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kann schon im Hypolimnion des Gr.H.M. reduziert werden und dadurch dessen Gehalt an gelöstem Eisen erhöhen.

In der Abbildung 13 ist die Schichtung des Eisens in Kurven dargestellt. Gleich hohe Sommerwerte für das Hypolimnion wurden bisher nur im Takasuka-Pond von YOSHIMURA gefunden. Der Wechsel von Fe^{\dots} und Fe^{\dots} war in den frischen Schöpfproben schon an der Farbe zu erkennen: Während der Zirkulationsperioden wurde eine feine braunrote Trübung gleichmäßig in allen Tiefen verteilt vorgefunden. Zur Zeit der Sommerstagnationen (1935 und 1936) sind demgegenüber die Proben bis zu 5 m völlig klar. Bei 6 m folgt dann eine Schicht, in welcher der größte Teil des Eisens stark trübend in kleinen braunroten Eisenhydroxydflocken vorhanden ist, während der hohe Eisenbikarbonat-Gehalt der tiefer liegenden sauerstofffreien Stufen diese Trübung deutlich geringer werden läßt, bei gleichzeitigem Anstieg der Eisenkonzentration. Typisch für diese Tiefen ist die Opaleszens der betreffenden (frischen) Proben.

Die genaue Festlegung dieser Verhältnisse war deshalb nicht zu erlangen, weil die dazu notwendigen Eisenanalysen nicht durchgeführt werden konnten. Die Abbildungen 15 und 16 lassen aber schon gut erkennen, daß ein sehr großer Teil des im Hypolimnion vorhandenen Eisens in seiner zweiwertigen Form gelöst sein muß.

Für Vorgänge bezüglich des Phosphatkreislaufes im Pelagial des Gr.H.M., besonders in seinem Epilimnion, ist es wichtig, die Größe der schwebenden Eisenhydroxydflocken zu kennen. Einen Beitrag zu dieser Frage vermögen die in der Abb. 17 angeführten Filterversuche zu geben. Besonders die Berkefeldfiltrationen (Filterkerze) zeigen, daß nur ein geringer Teil des im Winter nachgewiesenen Eisens in kolloidaler Verteilung vorliegt. Dieses in feinsten Aufschwemmung angetroffene Eisenhydroxyd entspricht wohl derjenigen Menge, die noch während des Sommers im Epi-

limnion des Sees nachgewiesen werden kann. Alle größeren Flocken sinken nämlich, sobald die stabile Schichtung des Sommers sich ausgebildet hat, ins Hypolimnion hinab. Der Verlauf dieses Absinkens läßt sich an der Abb. 8 gut verfolgen. Die Auswirkungen des Eisengehaltes des Epilimnions auf die Sichttiefe sind ebendort zu ersehen. Die biologisch wichtigen Veränderungen des Phosphorgehaltes der tropholytischen Zone, durch Anwesenheit und Absinken der $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Flocken, werden zusammen mit den folgenden Angaben über den Phosphatgehalt des Gr.H.M. behandelt werden.

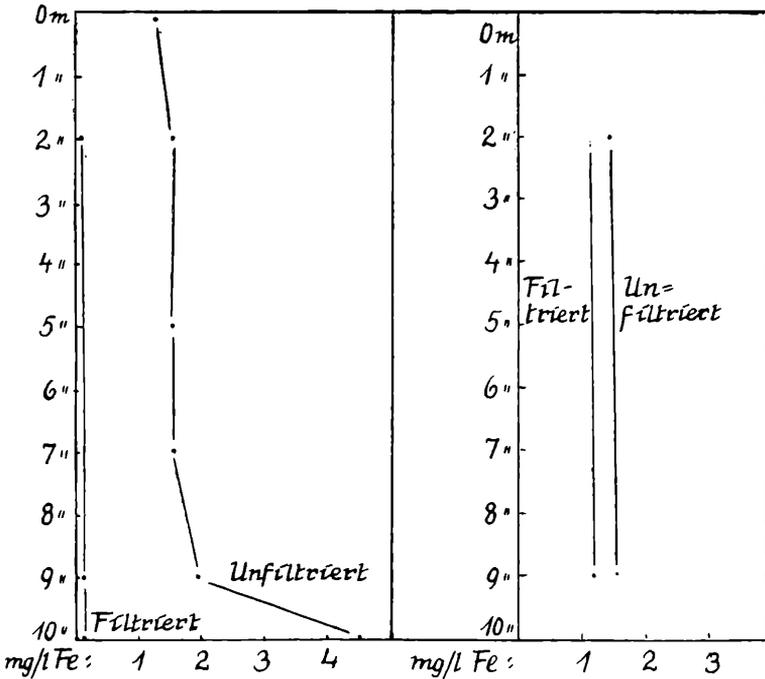


Abb. 17.

Wirkung des Berkelfeld-Filters.

Wirkung eines Papierfilters.

Am: 19. II. 36.

Am: 20. III. 36.

Phosphor.

Der Phosphor-Haushalt des Gr.H.M. im Jahr ist einerseits mit den biologischen Vorgängen im See, und andererseits mit dem jeweiligen Eisenstandard der einzelnen Schichten eng gekoppelt.

Den ersten Hinweis, daß der Eisengehalt des Gr.H.M. größere Wichtigkeit für seinen Phosphatgehalt, und damit für die Ausprägung seiner biologischen Verhältnisse haben könnte, erhielt ich während meiner Untersuchungen von Herrn Dr. EINSELE (übermittelt durch Herrn Dr. NÜMANN). Auf Grund dieser Mitteilung und auf Grund einer ersten mir zugänglichen Angabe zu dieser Frage in der Arbeit von OHLE (1935)

(S. 591—611)^a bin ich während meiner Untersuchungen bestrebt gewesen, diese Verhältnisse betr. des Gr.H.M. näher zu verfolgen. Die Arbeiten EINSELES (1936) konnte ich erst nach Abschluß meiner Untersuchungen einsehen. Die grundlegenden Versuche sind von EINSELE und mir unabhängig voneinander mit der gleichen Versuchsanordnung durchgeführt worden.

Das Gr.H.M., wie auch der von EINSELE (1936) untersuchte Schleinsee, ist durch seinen Kalkgehalt (S. 55) und durch sein pH (S. 39) hydrochemisch so festgelegt, daß die Einschränkungen, die OHLE (1935 b) bezüglich der Phosphatbestimmungen in sauren Gewässern erörtert, keine Geltung haben dürften.

Für einige der wichtigsten Wässer sind in der Tabelle X die Eisen- und Phosphorwerte bei längerem Stehen der Proben angegeben.

Lfd. Nr.	Unters. Wasser	Tag	Sofort		nach 1 Tag		n. 3 Tagen		n. 4 Tagen		n. 6 Tagen		n. 100 Tagen Fe ...	Verhältnis des abgesunkenen P zum abgesunkenen Fe...
			Fe...	P	Fe...	P	Fe...	P	Fe...	P	Fe...	P		
1	Gr. H. M. 10 m T.	30.9.36	48,—	0,110				0,070			18,—	0,052		0,058:30,—=1:500
2	Mb.	15.9.36	25,—	0,300		0,120					0,15	0,030		0,270:24,85=1:90
3	Mb.	3.10.36	8,5	0,140		0,080					0,65	0,035		0,105: 7,85=1:75
4	Stationspumpe	4.12.36	12,—	0,500					10,8	0,500			5,—	0,— 1,2 =1:∞
5	Stationspumpe mit Humuszusatz	4.12.36	12,—	0,500					7,9	0,400				0,100: 4,1 =1:40
6	Stationspumpe mit Kieselgurzusatz	4.12.36	12,—	0,500									4,5	

Tabelle X. Die adsorptive Bindung von P an Fe... dargestellt an einigen Sedimentversuchen. Alle Werte im mg/l angeführt.

Die Übereinstimmung des Verhaltens von P und Fe mit den Ergebnissen von EINSELE und OHLE kann nicht deutlicher sein, als in den obigen Versuchen. Die ungleichen Endergebnisse der Versuche 1—3 beruhen wohl auf den unterschiedlichen Größenverhältnissen der Fe(OH)₃-Flocken zueinander in diesen Wässern. Die verwandten Proben waren schon makroskopisch in der Hinsicht gut auseinanderzuhalten. Der größte Teil des Eisens

^a „Die Hydroxyde von Eisen und Mangan, aber auch andere Kolloidgele, adsorbieren die wichtigsten Nährstoffe, insbesondere die Phosphate so stark, daß diese im Teichwasser in's Minimum gelangen.“

im Meerbeckewasser bestand nämlich aus schnell absinkenden Flocken von ~ 1 mm Größe, während die Eisenflocken des Seewassers mit dem bloßen Auge nicht erkannt werden konnten und unter dem Mikroskop zur Hauptsache eine Größe bis zu 5μ aufwiesen. Die Beobachtung des auffällig schlechten Absinkens von Eisenflocken im an organischen Stoffen relativ armen Pumpenwasser der Station war Ursache zu den Versuchen 4 bis 6. Die dabei gewonnenen Ergebnisse zeigen trotz der nur andeutungsweise durchgeführten Untersuchungen, daß irgendwelche organische Substanzen das Ausfällen der Eisenhydroxydflocken und damit auch des adsorbierten Phosphors stark beschleunigen. Diese Wirkung scheint vor allem auf einer Vergrößerung der Flocken durch Koagulation zu beruhen. Wieweit bei diesen Vorgängen im Gr.H.M. Humusstoffe eine Rolle spielen, ist schwer zu beurteilen. Erwähnt sei, daß in der Uferbank des Gr.H.M. in ein bis zwei Meter Tiefe Torf ansteht. (Von Herrn Dr. PÄLTZ vor einigen Jahren durch Tauchen heraufgeholt, getrocknet und verbrannt!) Ob das Ansteigen des KMnO_4 -Verbrauches (s. Tabelle XVI) im Sommer zur Tiefe hin allein durch die Anwesenheit von absinkenden Planktern oder Bakterien in diesen Schichten erklärt werden kann, möchte ich bezweifeln (s. auch CaO und Ges.Härte). Schon bei der Erörterung des O_2 - und Fe-Haushaltes des Gr.H.M. konnten Einwirkungen des Grundwassers mit großer Sicherheit angenommen werden. Wenn wir weiter berücksichtigen, daß in der näheren und weiteren Umgebung des Gr.H.M. Hochmooranflüge und Orsteinbildungen allgemein verbreitet sind, so ist nach ODÉN (1919 S. 241 u. f.) die Möglichkeit gegeben, daß in den sandigen Böden am Gr.H.M. der Transport des Eisens im Grundwasser als Eisenhumat in Solform erfolgt. Diese Annahme steht auch im Einklang mit der neutralen Reaktion des Wassers des Gr.H.M., da Lösungen von Ferro- oder Ferrihumaten nach ODÉN (1919) pH-Werte um 7 aufweisen. Die Anwesenheit von Humusstoffen und Detritus im Gr.H.M. verstärkt meines Erachtens die Adsorptionsvorgänge kaum im Sinne GESSNERS (1934). Der Kalkgehalt des Gr.H.M. (S. 55) ist ja im Sinne von ODÉN (1919 S. 260) und von OHLE (1935 b) gegenüber den an Humus adsorbierten Nährstoffen, bes. P, verdrängend wirksam.

Zusammenfassend muß also, auf Grund der angeführten Versuche und bei Einbeziehung der vorstehenden Erörterungen, die im Gr.H.M. festgestellte Adsorption des Phosphors dem Eisenhydroxydgehalt des Wassers vorwiegend zugeschrieben werden. Organische Stoffe sind dabei nur in zweiter Linie und auch dadurch wirksam, daß sie eine Vergrößerung der Flocken und damit ihr beschleunigtes Absinken verursachen.

In der Abb. 18 sind die Oberflächenwerte der Phosphor- und Eisenanalysen des Gr.H.M. für das Jahr 1936 eingetragen. Gegenüber vielen unserer eutrophen und oligotrophen Seen (z. B. OHLE 1934; ELSTER und GESSNER 1935) ist vor allem auffallend, daß gelöster Phosphor während des Sommers im Epilimnion des Gr.H.M. ständig nachgewiesen werden kann.

An Hand der Abbildungen 18 und 19 ist dieses Verhalten bei Berücksichtigung der oben erörterten Adsorptionsvorgänge, im Rahmen des Phosphor-Kreislaufes während des Jahres wie folgt zu deuten:

Die Herbstvollzirkulation, mit ihrer beinahe gleichen Verteilung von P und Fe in allen Schichten des Sees, sei dabei Ausgangspunkt der Betrachtung. Zu dieser Zeit ist, wie z. B. am 12. 11. 1936, P in wesentlich geringerer Menge vorhanden, als am Ende der über den ganzen Winter andauernden Vollzirkulation. Die Anreicherung des Phosphors in dieser Zeit kann unschwer durch die im Spätherbst einsetzende schnelle und intensive Lösung des P aus den zerfallenden Organismen (Plankton, Litoralflora, Laubeinfall) und durch die Zufuhr an Phosphor aus dem Grundwasser und aus der Meerbecke (s. Tabellen V, VI und VII), bei gleichzeitigem fast völligem Fehlen einer Phytoplanktonproduktion erklärt werden. Alle Phosphate,

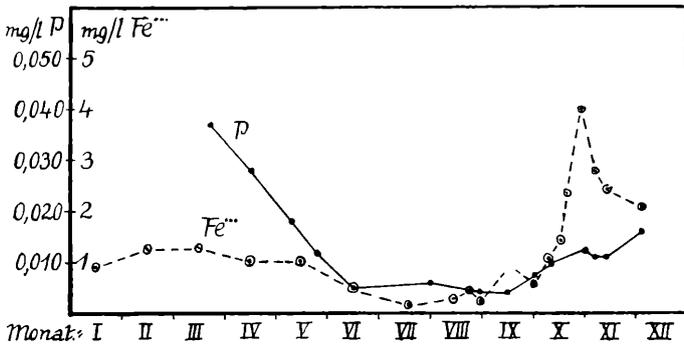


Abb. 18. Fe und P im Epilimnion (1936).

— = P; - - - = Fe³⁺.

die während dieser Zeit ins freie Wasser gelangen, werden von den Eisenkolloiden adsorbiert, sie können, solange die Zirkulation die Eisenflocken schwebend erhält, nicht ins Hypolimnion absinken, sie reichern sich also gleichmäßig in der ganzen Wassermasse an. Im März, in den ersten warmen Tagen des Jahres, erfolgt dann der Umschlag: Die Phosphormengen nehmen im Epilimnion sehr schnell ab. Ein Teil wird bei der größeren Lichtintensität in Phytoplanktern gebunden, während ein anderer Teil im ruhigeren und etwas durch Wärme geschichteten Wasser (s. Abb. 9) mit dem absinkenden Eisen (s. Abb. 18) den trophogenen Schichten entzogen wird. Durch beide Vorgänge sinkt der Phosphorgehalt im Epilimnion des Gr.H.M. in wenigen Wochen auf $\frac{1}{7}$ seines ursprünglichen Wertes, während der letzte Vorgang die Speicherung des Phosphors im Hypolimnion während des Sommers einleitet (s. Abb. 19). Ebenso wenig, wie die Anreicherung des Eisens im Hypolimnion im Sommer nur durch das Absinken der Eisenflocken erklärt werden kann, sind die hohen sommerlichen Phosphatkonzentrationen des Hypolimnions allein mit dieser Begründung in ihren Ursachen

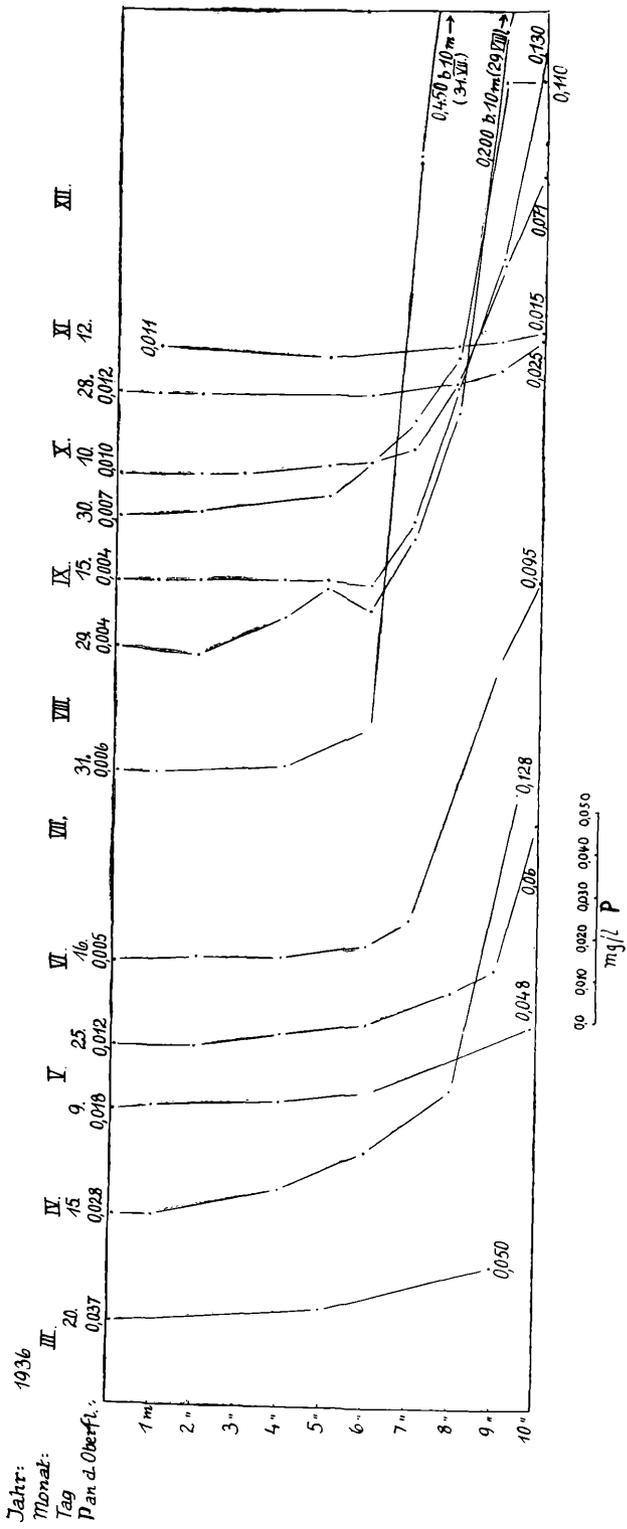


Abb. 19. P im Gr.H.M.

zu erklären. Wie bei den entsprechenden Vorgängen der Eisenanreicherung wird der Hauptteil des Phosphors durch Reduktionsvorgänge im Schlamm aus seinen kolloiden Bindungen befreit und kann bei dem starken O_2 -Schwund des Hypolimnions durch Strömungen aus dem Schlammwasserkontakt heraus gelangen, ohne wieder an $Fe(OH)_3$, das als Bikarbonat in Lösung gegangen ist, adsorbiert zu werden. Andere Quellen der Phosphorzufuhr sind wieder wie beim Eisen, durch Grund- und Meerbeckewasserzufuhr gegeben, wobei der letzteren im Frühherbst die leichte P-Anreicherung im Epilimnion zuzuschreiben ist.

Entsprechend dem Entzug und der Zufuhr von Phosphor und Eisen, die immer mit denselben Vorgängen im Gr.H.M. gekoppelt gefunden wurden, ist der Lauf der Kurven von Fe und P (s. die Abbildungen 13, 18 und 19) zu allen Jahreszeiten im Gr.H.M. weitgehend miteinander übereinstimmend gefunden worden. Einzelheiten in den starken Schwankungen des P-Gehaltes über dem Schlamm während der Stagnationsperiode konnten in ihren Ursachen allerdings nicht geklärt werden, da die Phosphor-Regeneration aus dem Schlamm, die Bakterientätigkeit im Hypolimnion, die Grundwasserzufuhr usw. quantitativ nicht ermittelt werden konnten.

Anders liegen im Gr.H.M. gegenüber dem Schleinsee (EINSELE 1936) die Verhältnisse des Phosphorentzuges während der Zeit der Sprungschichtwanderung bis zum Eintritt der herbstlichen Vollzirkulation. Die von EINSELE geschilderten Vorgänge werden im Gr.H.M. in ihrem Verlauf durch die Einschwemmungen der Meerbecke an Eisen und Phosphor in schwer kontrollierbarer Form überdeckt. Das von EINSELE (1936) bei den Ausfällungen von Fe und P experimentell und bezüglich des Schleinsees empirisch festgelegte Verhältnis von Fe zu P wie 7 : 1, ist im Gr.H.M. stark zugunsten höherer Eisenwerte verschoben. Die gleiche Feststellung gilt außerdem für alle Zuflüsse (s. Tabelle V, VI, VII und X) des Gr.H.M., wodurch diesen wichtige Einflüsse auf die Produktionsfähigkeit des Gr.H.M. zufallen (s. S. 77 und 99 f.).

Der von YOSHIMURA bezüglich seiner chemischen Eigenschaften untersuchte Takasuka-Pond in Japan zeigt bei gleich hohem Eisengehalt (1930/31) des Hypolimnions etwas höhere Phosphorkonzentrationen (1932), als das Gr.H.M. Beide Stoffe erreichen bei den Hauptvorgängen ihres Kreislaufes ebenfalls nicht das von EINSELE für den Schleinsee gefundene gegenseitige Verhältnis. Die Untersuchungen YOSHIMURAS, die leider in jeder Arbeit nur eine Stoffgruppe behandeln, konnten die damals noch unerforschten Adsorptionsverhältnisse des Phosphors zum Eisen nicht berücksichtigen. Wegen der Verschiebung des Verhältnisses $Fe : P = 7 : 1$ (EINSELE 1936) zugunsten höherer Eisenkonzentrationen, liegen dort bezüglich der Verwertung des Phosphors die Verhältnisse ähnlich wie im Gr.H.M.

Stickstoffverbindungen.

Neben den Phosphaten sind es vor allem die Stickstoffverbindungen, die in unseren Seen wichtigen Einfluß auf die Produktion gewinnen können. Einige Bestimmungen von NO_3 , NO_2 und NH_4 sind in den Tabellen XI und XII zusammengestellt. Als Minimumstoff kommt danach N im Gr.H.M. kaum in Betracht. Die gefundenen Stickstoffmengen sind dafür viel zu groß, und Adsorptionserscheinungen, welche die Verwertung des N hemmen könnten, wurden nicht nachgewiesen (s. a. GESSNER 1934 und OHLE 1935 b).

O r t	T a g	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m
Gr. H. M NO_3	1.9.35		1,—		0,8		1,2		0,8		0,8	
	15.10.35	1,6						1,4		1,—		
	30.10.35			0,6								0,8-9,75m
	13.10.35			0,6						0,3		
	8.12.36	0,55										
Gr. H. M. NO_2	8.12.36	0,02										
Gr. H. M. $\text{N}(\text{NH}_4)$	25.5.36	0,21	0,2			0,2		0,16		0,2		0,9
	8.12.36	0,4										

Tabelle XI. NO_3 , NO_2 , NH_4 im Gr.H.M. in mg/l.

Gewässer	T a g	NO_3	NO_2	$\text{N}(\text{NH}_4)$
Meerbecke	15.10.35	2,6		
Meerbecke	31.10.35	2,4		
Stations-Pumpe	31.10.35	0,6		
Meerbecke	13.11.35	1,3		
	6. 1.36	1,—		
	25. 5.36			0,11
	1.12.36			0,56
Brunnen Attermeyer	7.12.36	1,—	0,0	0,3
Meerbecke	8.12.36	0,9	0,0	0,47
Stations-Pumpe	8.12.36	0,0	0,0	0,4
Brunnen Niemann	8.12.36	1,8	0,5	1,5
Wiesengraben am Gr. H. M.	8.12.36	Spur	0,01	

Tabelle XII. NO_3 , NO_2 und $\text{N}(\text{NH}_4)$ der Zuflüsse und Brunnen in mg/l.

Kalk.

Der Kalkgehalt des Gr.H.M. konnte nur in der Gesamthärte erfaßt werden. Die angewandte Bestimmungsmethode des CaO wurde nämlich in ihrem Ablauf durch organische Stoffe (Humussäuren?) gestört; ihre Ergebnisse waren stets höher als die gefundene Gesamthärte. Die angeführten Werte der Gesamthärte genügen aber zur Kennzeichnung dieser Verhältnisse.

Ort	Tag	0 m	8 m	9 m
Gr. H. M.	13.11.35	3,5	3,6	
	29.11.35	3,2		3,3
Mb.	13.11.35	2,7		
	29.11.35	3,1		

Tabelle XIII. Gesamt-Härte in deutschen Graden.

Das Ca-Spektrum des Gr.H.M. und der Meerbecke muß nach Tabelle XIII mit NAUMANN (1932) dem Mesotypus eingereiht werden.

Alkalinität.

Die Alkalinität des Sees und der Mb. zeigt keine Besonderheiten. Wie Tabelle XIV erkennen läßt, hat sich ihr Wert seit der Untersuchung KEMPERS (1930), der einzigen chemischen Bestimmung, die überhaupt vom Gr.H.M. vorlag (1927: 0,7 ccm nHC1), kaum geändert:

Ort	Tag	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m
Gr. H. M.	25. 5. 36	0,7								0,7	0,9	1,—
	30. 9. 36	0,9				0,8		1,—	1,1		1,3	
Mb.	25. 5. 36	0,8										

Tabelle XIV. Alkalinität in ccm HC1 n/l.

Kieselsäure.

Die Kieselsäure zeigt im Gr.H.M. während der Sommerstagnation die typische, durch die Sprungschicht, durch den Transport von Diatomeenschalen in's Hypolimnion und durch Grundwasserzustrom zustande kommende Schichtung (Tabelle XV). Die großen Schwankungen im Gesamtgehalt des Pelagials an SiO₂ sind von der zeitweise sehr hohen Kieselsäurekonzentration der Meerbecke abhängig.

Ort	Tag	0 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m	Meerbecke
Gr. H. M.	6. 10. 35	3,5					3,—						
	15. 10. 35	4,—				4,-		4,—		3,5			13,— (15. 10.)
	30. 10. 35			6,-								6,—	15,— (28. 10.)
	20. 1. 36		10,—									10,—	15,— (22. 1.)
	14. 7. 36	0,3	0,3			0,5	0,6	0,8	1,4	2,2	(P stört)		
	28. 10. 36		3,—										
	12. 11. 36					2,5							2,2 (10. 11.)
	3. 12. 36	2,—											1,8 (4. 12.)

Tabelle XV. SiO₂ in mg/l.

KMnO₄-Verbrauch.

Der Gehalt des Gr.H.M. an organischen Stoffen wurde schon in Zusammenhang mit dessen Eisen- und Phosphathaushalt erwähnt. Die in der Tabelle XVI angeführten Werte wurden, um vergleichbare Werte zu erhalten mit dem auf S. 32 angeführten Zeitverfahren, bei einer Verdünnung des Seewassers mit drei Teilen destilliertem Wasser bestimmt.

Ort	Zeit	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Meerbecke	Sta-tions-pumpe	Brun-nen Atter-meyer	Brun-nen Nie-mann	Wie-sen-graben
Gr. H. M.	19. 2. 36			25,6							34,5	44,6					
	26. 8. 36	30,2		28,3		28,3	25,3	25,3	28,3	44,8	53,1	57,—	105,2	19,5	41,9		
	28. 9. 36														49,3		
	10. 10. 36	32,3		32,3	30,1		32,3	30,1	32,3	64,6	64,6	74,1	30,1	19,5			
	14. 10. 36	32,6													60,9		
	28. 10. 36	33,7	32,6	31,6		32,6		34,8		33,7	32,6	37,—	42,4	19,6			
	30. 10. 36	30,8													56,—		
	7. 11. 36	31,9												21,3	60,—	113,—	29,8
	12. 11. 36	29,9		29,9		29,9		28,9		27,8	27,3	29,4					
	3. 12. 36	34,7											59,7	21,4			
	8. 12. 36														76,6	126,7	

Tabelle XVI. KMnO₄-Verbrauch in mg/l.

Die Schichtung der organischen Stoffe ist besonders im Sommer im Gr.H.M. stark ausgeprägt, während diese Unterschiede in den Zirkulationsperioden verwischt werden. Über die eigentliche Natur der durch KMnO₄ im Gr.H.M. oxydierten Stoffe konnte nichts Näheres ermittelt werden. Für eine, wenn auch nur geringe Beteiligung allochthoner Humusstoffe (Humate), sprechen die Fehlbestimmungen von CaO (s. S. 55), die pedologi-

schen Gegebenheiten des Seegrundes, und die durchschnittlich hohen Werte des KMnO_4 -Verbrauches der Meerbeckeproben. Alle Bestimmungen wurden mit unfiltrierten Wässern durchgeführt, da eine gute und gleichmäßige Filtration bei den an der Station gegebenen Hilfsmitteln nicht zu erreichen war. Unfiltrierte Proben erfassen außerdem den im Wasser ausgeflockten Detritus. Bei Berücksichtigung der fast fehlenden Phytoplanktonproduktion ist im Winter im Epilimnion des Gr.H.M. der KMnO_4 -Verbrauch wesentlich größer als im Sommer. Die Verhältnisse im Gr.H.M. decken sich mit dem von NAUMANN festgelegten Mesotypus des KMnO_4 -Verbrauches.

Schwefelwasserstoff.

Freier Schwefelwasserstoff spielt im Gr.H.M. nicht die Rolle, welche wir ihm in den meisten unserer eutrophen Seen zuschreiben können. Typischer Schwefelwasserstoffgeruch wurde bei den Proben niemals beobachtet, und qualitative Bestimmungen mittels Bleipapier fielen negativ aus. Das Fehlen größerer Mengen von H_2S ist wohl durch den hohen Eisengehalt des Hypolimnions und des Schlammes des Gr.H.M. bedingt, da die auf S. 43 f. beschriebenen Vorgänge des Eisenkreislaufes den im Schlamm gebildeten Schwefelwasserstoff in Schwefel oder Pyrit umwandeln (s. EINSELE 1936).

Die chemischen Verhältnisse des Pelagials des Gr.H.M. sind, das sei zusammenfassend am Schluß dieses Abschnittes gesagt, am unausgeglichensten und damit für die Gesamtstellung des Sees am wichtigsten in der speziellen Ausprägung seines Sauerstoff-, Eisen- und Phosphorhaushaltes (s. S. 40 bis 53). Diese sind ihrerseits wieder durch engste Beziehungen untereinander verknüpft und durch starke Einwirkungen der Nah- und Fernumgebung des Gr.H.M. beeinflusst. Kultureinflüsse machen sich dabei besonders im etwas erhöhten Gehalt des freien Wassers an Ca, N, Fe und P bemerkbar.

Die Plankter des Gr.H.M. und die Methodik ihrer quantitativen Erfassung und Darstellung

Methodik des Fanges und seiner Verarbeitung.

Bei der quantitativen Erfassung der Produzenten und Rotorien des Pelagials des Gr.H.M. dienten als Grundlage für die Zählungen die mit dem Ruttnerschen Schöpfer erhaltenen Proben. Die Probeentnahme wurde schon auf S. 30 näher beschrieben. Zweimal monatlich, in möglichst gleichmäßigen Zeitabständen und in den Mittagsstunden wurden die Schöpfserien entnommen. Die Oligotrophie des Gr.H.M. erlaubte, den zeitlichen Abstand der Probeentnahmen, wie erwähnt, auf 15 Tage festzusetzen.

Zählung des Nannoplanktons.

Bezüglich der Zählung des Nannoplanktons verfuhr ich genau nach der von UTERMÖHL 1925 für die KOLKWITZ-Kammer beschriebenen Arbeitsweise. Der Kammerboden wurde bei den Zählungen fast immer für alle Nannoplankter ganz durchgezählt. Nur in den Sommermonaten waren hin und wieder einige Produzenten in so großer Zahl vorhanden, daß eine Teilzählung auf die Durchmusterung der ganzen Bodenfläche folgen mußte. Kontrollzählungen wurden hin und wieder mit den UTERMÖHLSCHEN $2\frac{1}{2}$ und 4 ccm Plattenkammern vorgenommen, von denen mir je zwei zur Verfügung standen. Die Ergebnisse dieser Zählungen wurden bei meinen Kurven aber nicht berücksichtigt, da diese Zählungen, besonders für die 5—10 μ großen Nannoplankter, ständig kleinere, also zu einem Vergleich nicht einwandfreie, Zahlen ergaben. Kontrollzählungen mit der nur 1 mm hohen NAUMANNSCHEN Kammer zeigten diesen Fehler nicht, was auf die Wandhaftung der Nannoplankter als Fehlerquelle für die Verluste bei den UTERMÖHLSCHEN $2\frac{1}{2}$ und 4 ccm Kammern hinweist. Die Fixierung erfolgte hier, wie bei den Netzplanktern stets mit Jodjodkalium-Lösung. Die Füllung der Kammern wurde immer kurze Zeit nach dem Schöpfen durchgeführt. Zur Ergänzung und besonders zur Beobachtung mir unbekannter Formen wurden öfter Zentrifugen- oder Netzproben auf ihre qualitative Zusammensetzung hin durchgesehen.

Zählung des Mesoplanktons (Die „Doppelkammer“).

Das Netzplankton des Gr.H.M. war in der KOLKWITZSCHEN 1 ccm-Kammer nur ausnahmsweise in solcher Menge vorhanden, daß es mit genügender Genauigkeit in ihr gezählt werden konnte. Aus finanziellen Gründen

kam die Anschaffung eines Umgekehrten Mikroskopes, wie es UTERMÖHL (1931) für planktologische Zwecke konstruierte, nicht in Frage. Andererseits mochte ich nicht auf Kosten der Exaktheit meiner Zählungen auf Netz- oder Siebproben zurückgreifen, da dort bei allen Organismen, die ungefähr die Größe der angewandten Maschen besitzen, starke und unkontrollierbare Verluste eintreten müssen.

Durch die Sedimentation von größeren Wassermengen in Standzylindern hoffte ich, der Arbeitsweise von VOLK (1901 und 1906) nachgehend, diese Schwierigkeiten überwinden zu können. Sehr bald mußte ich aber einsehen, daß bei den gesteckten Zielen die zeitliche Inanspruchnahme, die diese Methode mitbrachte, zu groß war. Als ich dann bei Kontrollzählungen noch feststellte, daß durch das Wechseln der Gefäße und durch die Teilzählung des Sedimentes allzu leicht unberechenbare Fehler entstanden, suchte ich nach einer anderen Lösung.

Dabei ergab sich folgende Fragestellung: Eine größere Wassermenge war so zu sedimentieren, daß sie leicht und einwandfrei von dem Sediment getrennt werden konnte. Das Sediment selbst mußte dabei in einem flachen und kleinen Gefäß verbleiben und mittels eines gewöhnlichen Mikroskopes gezählt werden können.

Die hier beschriebene, überraschend einfache Methode fand sich nach der Erwägung einiger anderer Pläne durch folgenden Grundversuch. Ein an einem Ende zugeschmolzenes Glasrohr wurde mit Wasser gefüllt. Gegen die Öffnung des Rohres wurde dann eine kleine Glasschale gehalten, und dann wurden beide Teile um 180° gedreht. Nach erfolgtem Druckausgleich drehte ich dann, während ich die Schale festhielt, das Glasrohr allein wieder in seine ursprüngliche Lage zurück. Das Wasser, das dabei aus dem Rohr herausschoß, konnte ohne Verlust in der Schale aufgefangen werden. Damit war die Lösung, die Doppelkammer, gefunden. Zwischen die beiden Drehungen brauchte ja nur eine genügend lange Zeitspanne zur Sedimentation der Plankter eingeschoben zu werden.

Von September 1935 bis November 1936 habe ich weit über 400 Zählungen mit der Doppelkammer durchgeführt, wobei sich die im Folgenden an Hand einiger Zeichnungen erläuterte Arbeitsweise herausgebildet hat.

Aus dem Ruttnerschen Schöpfer wurden ungefähr 450 ccm Untersuchungswasser in 600 ccm fassende Weithalsflaschen gefüllt. Aus ihnen wurden die Kammerröhren nach längerem nicht zu heftigem Schütteln gefüllt. Bei der Füllung war es erforderlich, das betreffende Wasserquantum so zu entnehmen, daß es mit größtmöglicher Sicherheit die genau entsprechende Menge Plankton enthielt. Das Schütteln wurde daher nach Aufsetzen des in der Abb. 20 gezeigten Korkens vorgenommen. Das Füllwasser wurde mit ihm mitten aus dem noch in voller Bewegung befindlichen Untersuchungswasser in schnellem Fluß herausgenommen. Eine Fluchtmöglichkeit vor dem Ausflußrohr ist dabei selbst für die größeren und heftig sprin-

genden Zooplankter (*Crustaceen, Polyarthra, Triarthra*) undenkbar. Am 20. 1. 36 füllte ich mit einer Probe aus dem Gr.H.M. aus 9 m Tiefe 6 Doppelkammern unter genauer Beobachtung der beschriebenen Fülltechnik. Die Kammerrohre wiesen verschiedene Querschnitte auf und hatten verschiedene Inhalte. Die Zählungen sollten Aufschluß darüber geben, ob durch die Art der Füllung die geforderte gleiche Verteilung der Plankter zu

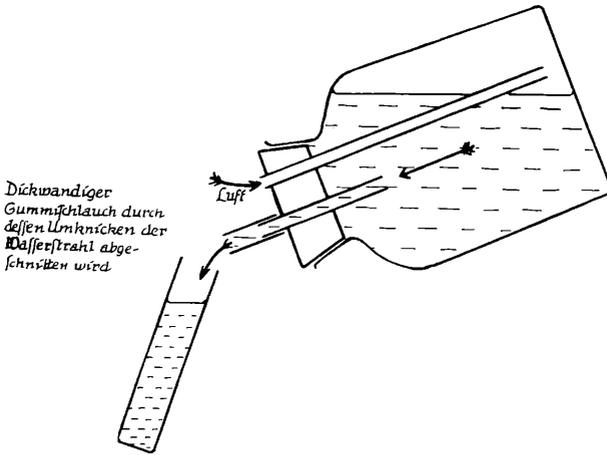


Abb. 20. Schnitt durch die Probeflasche während der Kammerfüllung.

erreichen war. Tabelle XVII enthält alle wichtigen Zahlen der Versuchsreihe, Tabelle XVIII die Berechnung des mittleren prozentualen Fehlers für die Zählungen der Tabelle XVII.

Lfd. Nr.	innerer \ominus der Rohre	Rohrinhalt	Sedimentationsdauer	Kolonien von <i>Tabb. flocc.</i>	Kolonien von <i>Ast. formosa</i>
1	10.5 mm	25 ccm	90 Std.	32 Stk.	13 Stk.
2	10,5 "	25	90	38	15
3	19,— "	20	90	38	10
4	13,— "	10	90	16	6
5	7,— "	10	90	17	6
6	23,— "	50	90	80	24

Tabelle XVII.

Für die einwandfreie Verteilung der Plankter mittels der beschriebenen Fülltechnik kann die Errechnung einer Fehlergrenze von ungefähr $\pm 9\%$ wohl als völlig zufriedenstellend angesehen werden, wobei noch ganz besonders beachtet werden muß, daß bei der Versuchsreihe selbst Zahlen unter 10 keine höhere Fehlergrenze aufweisen!

Lfd. Nr.	<i>Tabb. flocc.</i> auf 50 ccm Untersuchungswasser bezogen	Abweichung vom Mittelwert	<i>Ast. formosa</i> auf 50 ccm Unter- suchungswasser bezogen	Abweichung vom Mittelwert
1	64 Kolonien	20 %	26 Kolonien	5,5 %
2	76	5 %	30	9,1 %
3	95	18,75 %	25	9,1 %
4	80	0,— %	30	9,1 %
5	85	6,25 %	30	9,1 %
6	80 „	0,— %	24	12,7 %
Summe	480 480 : 6 = 80 = Mittelwert	50,— % 50,— : 6 = 8,3 % = mittlere Fehlergrenze	165 165 : 6 = 27,5 = Mittelwert	54,6 % 54,6 : 6 = 9,1 % = mittlere Fehlergrenze

Tabelle XVIII.

Das Abtöten der Plankter wurde mit einer starken Jodjodkaliumlösung vorgenommen, die nach der Füllung mit einer Tropfflasche in die Glasrohre gegeben wurde. Die Endkonzentration entsprach dabei ungefähr einer n/300 Jodjodkaliumlösung.

Bei meinen Untersuchungen verwandte ich bisher 2 Typen von Glasrohren. Das längere Rohr war bei einem inneren Durchmesser von 23 mm und bei einer Länge von 270 mm zur Sedimentation von 100 ccm bestimmt, während ein halb so langes bei gleichem Querschnitt 50 ccm aufnahm. Die zugehörigen Glasschalen, die ja gleichzeitig Zählkammern waren, hatten für beide Typen gleiche Maße: 37 mm inneren \varnothing und 27 mm innere Höhe. Ihr oberer Rand war flach geschliffen (serienmäßig hergestellte Zuchtschalen). Die Ausgangs- und Endstellung bei der ersten Drehung zeigen die Abbildungen 21 a und b. Abbildung 21 c und d veranschaulichen das Einsetzen der Doppelkammer in ein Sperrholzgestell, in dem sie bis zum Ende der Sedimentation bleibt. Die Höhe des Gestells hängt dabei von der Größe der Kammerrohre ab. Abb. 21 c zeigt ein Grundbrett mit zwei in verschiedener Höhe angeordneten Tragbrettern, was den Vorteil hatte, daß an einem Gestell sehr verschieden große Kammern eingehängt werden konnten. Abb. 21 d gibt eine Aufsicht auf das obere Tragbrett, um die Anordnung der Einschnitte zu zeigen. Das Gestell wird zweckmäßig in Schulterhöhe an der Wand befestigt. Ein ruhiges Sedimentieren ist damit gewährleistet. Wichtig für das nun folgende Verschieben ist beim Einhängen, daß die Öffnung des Kammerrohres mittels des verschiebbaren Gummiringes in 3—5 mm Abstand vom Kammerboden fixiert wird. Nach Beendigung der Sedimentation wird die Kammer auf dem Grundbrett des Gestells langsam verschoben, bis Kammer- und Rohrwand sich berühren (Abb. 21 e). Das Sediment bleibt dabei wie auch bei den folgenden Handgriffen völlig ungestört. Rohr und Kammer können dann mit einer Hand (links), die Berührungslinie der bei-

den Teile durch Andrücken als Festpunkt benutzend, in der gleichen Lage (Abb. 21 f) aus dem Gestell herausgenommen werden. Die freie Hand hilft dabei, wenn nötig, am oberen Rohrende etwas nach. Bei der zweiten Drehung faßt man das Kammerrohr mit der rechten Hand, deren Rücken dem Gesicht zugekehrt wird, und legt den Daumen an die in der Abb. 21 f als Drehpunkt gekennzeichnete Stelle. Die Drehung selbst führt man mit möglichster Ruhe aus, die am besten erreicht wird, wenn der rechte Daumen, am Kammerrand liegend die ruhige und mit der Kammer fest verbundene Führung vermittelt. Die Ruhe des Drehens und Führens ermöglicht die betreffs des Untersuchungswassers verlustlose Durchführung dieses Handgriffes.

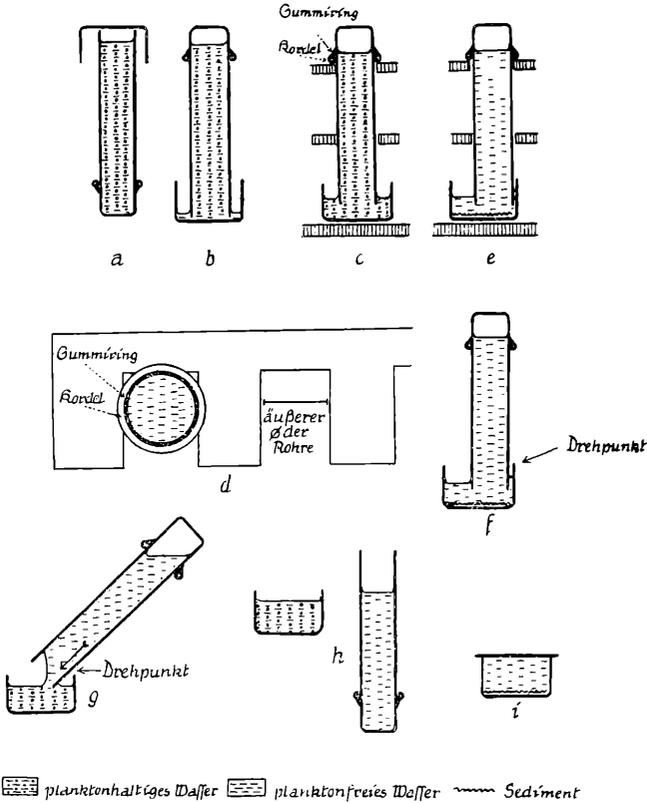


Abb. 21. Die Handhabung der Doppelkammer.

Die Abbildungen 21 g und 21 h zeigen die Mittel- und Endstellung der Drehung. Einige Minuten später wird in die Kammer vorsichtig soviel Wasser mit einer Pipette gegeben, daß unter der aufgelegten Deckscheibe nur eine kleine Luftblase stehen bleibt. Erst unmittelbar vor der Zählung, die nach der Beendigung des neuerlichen Sedimentierens begonnen werden kann, wird die restliche Luft unter der Deckscheibe durch Wasser verdrängt (Abb. 21 i).

Der Beweis, daß alle Plankter in der Kammer bleiben, wurde durch wiederholte Kontrollzählungen erbracht: Der Rest des im Kammerrohr verbliebenen Untersuchungswassers wurde zu dem Zweck längere Zeit hindurch zum zweiten Mal sedimentiert. Rotatorien oder andere Mesoplankter konnten dann in keinem Falle mehr festgestellt werden, während vereinzelte Nannoplankter noch vorhanden waren; d. h., daß alle Mesoplankter schon durch die erste Sedimentation erfaßt und gezählt sein mußten. Die Objektivität dieser Kontrolle wird noch dadurch unterstrichen, daß sie 10 mal mit dem gleichen, eindeutigen Endresultat durchgeführt wurde. Die sechs, mit den verschiedensten Rohrquerschnitten angestellten Versuche der Tabellen XVII und XVIII ergänzen diesen Befund in ihrer Einheitlichkeit auf das Beste. Sie schließen außerdem den Einwurf aus, daß bei der entscheidenden Drehung oder bei der folgenden Zählung noch irgendeine Fehlerquelle eingeschaltet sein könnte.

Alle Zählungen von Netzplanktern, die ich während meiner Untersuchungen am Heiligen Meer machte, wurden mit der oben angegebenen Kammer durchgeführt. Eine Sedimentationsdauer von 48 Stunden wurde als ausreichend ermittelt. Wegen der Höhe der Kammer wurde mit dem Zeisschen Objektiv a_2 und einem 14- oder 25-fachen Okular gezählt. Die Vergrößerung dabei ist ~ 50 - bzw. 85-fach.

Die Dauer einer Zählung schwankt zwischen 20 Minuten und (in Ausnahmefällen) 3 Stunden. Durchschnittswert war bei den am Heiligen Meer gegebenen Verhältnissen eine Dauer von $\frac{3}{4}$ Stunden.

Die aufgebogene, ungekittete Form des Kammerbodens bedingte in manchen Fällen eine Verdunkelung am Kammerrand. Durch Aufblenden an den betreffenden Stellen war diese Störung aber immer leicht zu beseitigen.

Die Erfahrungen, die ich mit der eben beschriebenen unveränderten Methode bei meinen Zählungen machte, waren durchaus gut. Ich habe dabei in keinem Falle ein Versagen beobachten können.

Eine Frage bleibt allerdings noch offen: das Verhalten der Pseudovacuolen führenden Cyanophyceen in der Kammer. Im Lebensablauf der von mir untersuchten Gewässer spielen die Blaualgen keine Rolle. Ich kann daher auch keine Angaben darüber machen, ob der in den Kammerrohren vorhandene geringe Unterdruck den Cyanophyceen durch Anschwellen der Pseudovacuolen einen Auftrieb gibt.

Die Doppelkammer kann von der angegebenen Grundform aus in mannigfaltigster Weise verändert werden. Die folgende Tabelle XIX klärt die Beziehungen zwischen dem Durchmesser der Kammerrohre und dem Inhalt der zu verwendenden Schalen. Die Fülle der sich dabei ergebenden Kammergrößen ermöglicht die Anpassung der Methode an die verschiedensten Verhältnisse, die durch quantitative und qualitative Unterschiede in der Zusammensetzung des Planktons entstehen können.

Lfd. Nr.	Innerer Durchmesser des Kammerrohres	Verlust beim Kippen in ccm	Zweckmäßige Schalengröße in ccm
1	4 mm	0,— ccm	1 Tropfen
2	5	0,—	1
3	7	0,— — 1,— ccm	1,— ccm
4	11	2,— — 2,5	4,—
5	13	3,5 ccm	5,—
6	15	5,—	7,—
7	19	10,—	15,—
8	23 (140 mm lg.)	17,—	30,—
9	23 (280 lg.)	17,—	30 —
10	28	22,—	40,—
11	30	28,—	50,—
12	37	43,—	75,—

Tabelle XIX.

Weitere Versuche, die auf Grund des Ergebnisses von 1 und 2 angestellt wurden, setzten die Grenze der verlustfreien Sedimentation betreffs des Rohrdurchschnittes noch herauf. Bei senkrechtem ruhigen und drehungsfreiem Heben der Rohre gilt nämlich:

Eine verlustfreie Sedimentation ist mit Rohren über 13 mm inneren \emptyset nicht zu erzielen. Zu erreichen ist sie, wenn das Rohr

bei $\left\{ \begin{array}{l} 13 \text{ mm innerem } \emptyset \text{ aus einer kleinen Wasserfläche} \\ 11 \text{ mm innerem } \emptyset \text{ aus einem großen Wassertropfen} \\ 8 \text{ mm innerem } \emptyset \text{ aus einem kleinen Wassertropfen} \\ 6 \text{ mm oder kleinerem } \emptyset \text{ ohne Tropfen} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{senkrecht} \\ \text{herausgehoben} \\ \text{wird.} \end{array}$

Die Sedimentation in einem Tropfen kann aber nur in einer feuchten Kammer durchgeführt werden. Mit Hilfe der in der Abb. 21k gezeigten Vorrichtung hoffe ich, den durch die Doppelkammer aufgezeigten Weg weiter verfolgen zu können, sodaß, wie bei der Doppelkammer, schon beim Vorhandensein eines gewöhnlichen Mikroskopes mit Kreuz- oder Zähltablett nicht nur das Netzplankton der oligotrophen Gewässer, sondern auch deren Nanno- oder sogar Ultraplankton erfaßt werden kann.

Vergleichszahlen können für die hier später anzusetzenden Versuche bezüglich des Nanno- und Ultraplanktons nur bei Berücksichtigung der Plattenkammerzählungen und bei Kontrollen mit dem Umgekehrten Mikroskop (UTERMÖHL 1931) gewonnen werden.

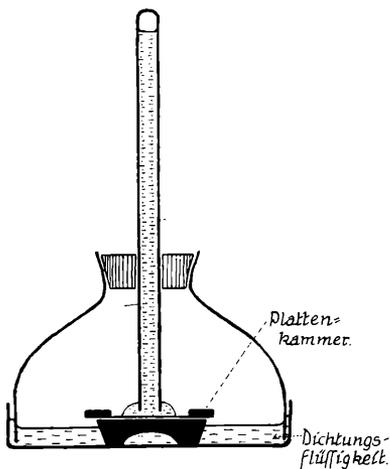


Abb. 21 k. Sedimentation
in einen Tropfen.

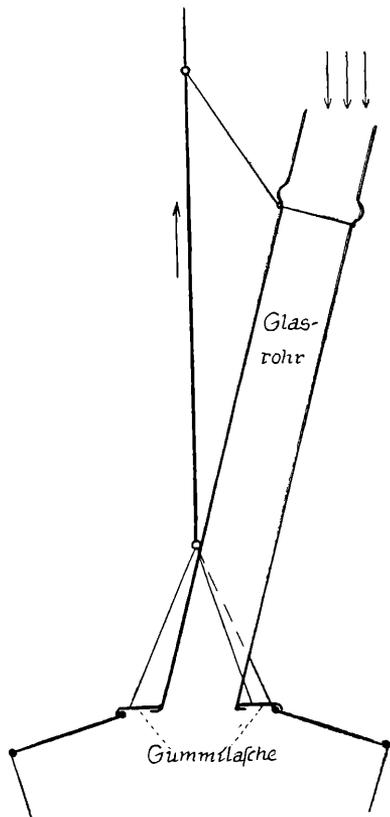


Abb. 22. Planktonnetz mit
eingesetztem Glasrohr.

Fang und Zählung der Crustaceen.

Die oben beschriebenen Methoden lassen bezüglich der quantitativen Erfassung der Plankter noch eine Lücke. Die in der Platten- bzw. Doppelkammer verarbeiteten Wassermengen sind nicht groß genug, um mit ihnen die Quantität der Crustaceen des Gr.H.M. zu bestimmen. Die heute dafür gebräuchlichen Apparate, Planktonpumpe und Schöpfer, arbeiten mit nachträglichem Filtrieren der aus den verschiedenen Stufen gewonnenen Wassermengen. Diese Methoden sind für quantitative Zwecke die besten. Da mir einerseits eine Planktonpumpe nicht zur Verfügung stand, und da andererseits die Praxis ergab, daß die Zählerarbeit, die mit der Auswertung von stufenweise geschöpften Crustaceenfängen verbunden ist, neben all den anderen wichtigen Arbeiten unmöglich war, griff ich auf die älteste Methode, auf den Netzfang zurück.

Der Vertikalzug mit einem gut filtrierenden Netz bietet schon deshalb ein einigermaßen getreues Bild der wirklichen Verhältnisse, weil die täglichen Vertikalwanderungen der Crustaceen dauernde Ansammlungen und damit in bestimmten Wasserschichten starke Einwirkungen auf dieses nicht

zustande kommen lassen dürften (s. z. B. NABER 1933 bezügl. O₂ Verteilung). Über die Verteilung der Crustaceen in den verschiedenen Tiefen um die Mittagsstunden unterrichten die in der Abb. 26 enthaltenen, auf Grund der Doppelkammerzählungen gewonnenen Kurven. Eine quantitative Auswertung dieser Kurven ist natürlich unmöglich, da nur 50 oder 100 ccm Wasser für jede Zählung zugrunde liegen. Die gegenseitige Angeglichenheit der Darstellung der Netzfänge und der mit der Doppelkammer gewonnenen Kurven zeigt aber, daß auch den Letzteren in ihrem Rahmen eine gewisse Sicherheit zukommt.

Zu meinen Fängen diente mir ein kleines APSTEINSCHES Netz mit Barchent-Aufsatz, das ich mit Müllergaze Nr. 10 bespannen ließ (Maschenweite bis 200 μ). Die wirksame Öffnung des Netzes hatte ursprünglich einen Durchmesser von 10 cm.

Das unveränderte Netz hatte nach meinem Dafürhalten unter den im Gr.H.M. gegebenen Verhältnissen (verschwindende Anzahl großer, die Netzporen verstopfender Phytoplankter!) zwei Nachteile: 1. Die Netzöffnung war zu groß, als daß der Fang ganz hätte ausgezählt werden können. 2. Die schon von STEUER (1910) gerügte Fehlerquelle durch die Wirkung der drei schwingenden, über der Netzöffnung angeordneten Schnüre, auf die sich kräftig bewegenden Crustaceen.

Ein 40 cm langes Glasrohr von 5 cm Durchmesser, das mittels einer Gummilasche fest in die Netzöffnung eingepaßt wurde (s. Abb. 22), beseitigte diese Mängel. Die Mündung des Rohres glitt nun in \approx 10 cm Abstand vom Zugseil durch das ruhige Wasser, pro Meter 1,5 Liter Seewasser filtrierend (Netzkoeffizient 1,33).

Für die einwandfreie Fang-Wirkung des Netzes spricht z. B. die Zahl der gefundenen *Corethra*-Larven. Bei Vertikalzügen mit einem Netz ohne Aufsatz, mit 25 cm wirksamem Netzdurchmesser konnten demgegenüber nur selten und verhältnismäßig wenig *Corethren* an den gleichen Tagen gefunden werden. Die erfaßte Wassermenge erlaubte die Durchzählung des ganzen Fanges, in dem bis zu 2300 *Crustaceen* (einschl. der Nauplien) festgestellt wurden. Aus zeitlichen Rücksichten wurden bei den Zählungen die einzelnen Krebse nur selten der Art nach auseinandergelassen. Die Frequenztafel für die *Crustaceen* auf S. 71 beruht also auf einer Schätzung, die aber während der summarischen Zählung des ganzen Fanges vorgenommen wurde.

Die Plankter des Gr.H.M.

Die Produzenten.

Das Phytoplankton des Gr.H.M. besteht aus den folgenden Arten, von denen die wichtigsten in ihrem jahreszeitlichen Vorkommen in der Tabelle XX auf Grund der Zählungen gekennzeichnet sind:

Artenliste der häufigeren Phytoplankter.

Cyanophyceen

1. <i>Microcystis firma</i>	1 ⁹
2. Kockenähnliche Cyanophyceen	0,1
3. <i>Merismopedia spec.</i>	0,1
4. <i>Dactylococcopsis acicularis</i>	0,1

Flagellatae

5. <i>Mallomonas caudata (+ fastigata)</i>	1
6. <i>Dinobryon divergens + socialis</i>	1
7. <i>Cryptomonas ovata</i>	1
8. „ <i>erosa</i>	0,1
9. <i>Trachelomonas volvocina</i>	0,1
10. <i>Chrysococcus spec. (porifer?)</i>	0,1
11. <i>Chromulina pseudonebulosa</i>	
<i>Chroomonas acuta</i>	
<i>Bodo spec. u. andere kleine Flagellaten</i>	0,1
12. <i>Mallomonas akrokomos</i>	0,1
13. <i>Lagynion spec.</i>	0,1

Dinoflagellatae

14. <i>Ceratium hirudinella</i>	1
15. <i>Peridinium cinctum</i>	1
16. „ <i>tabulatum</i>	1
17. „ <i>Willei</i>	1
18. „ <i>bipes</i>	1
19. „ <i>pusillum (?)</i>	0,1
20. <i>Glenodinium spec.</i>	0,1

Diatomeen

21. <i>Asterionella formosa</i>	1
22. <i>Tabellaria flocculosa</i>	1
23. <i>Melosira islandica subsp. helvetica</i> > 500 μ	1
(„ <i>helvetica</i> , wenige Zellen)	0,1
24. <i>Cyclotella operculata</i>	0,1
25. <i>Fragilaria virescens</i>	1
26. <i>Synedra acus</i>	1
27. <i>Tabellaria fenestra</i>	1
28. <i>Rhizosolenia longiseta</i>	0,1

Conjugatae

29. <i>Staurastrum paradoxum</i>	0,1
30. <i>Closterium acutum</i>	0,1

⁹ = Verrechnungsfaktor s. S. 72 und 73.

Chlorophyceen

31. <i>Volvox aureus</i>	1
32. <i>Tetrastrum spec.</i>	0,1
33. <i>Crucigenia rectangularis</i>	0,1
34. <i>Scenedesmus quadricauda</i>	0,1
35. <i>Pediastrum tetras</i>	0,1

Eisenbakterien

36. *Siderococcus limoniticus*
dazu einige *Sideroderma rectangulare*
und *Lepthotrix ochracea*

Schwefelbakterien

37. <i>Macromonas bipunktata</i>	0,1
----------------------------------	-----

Das quantitative Vorkommen entspricht der qualitativen Reichhaltigkeit der Auswahl der Arten: Die *Flagellaten* überwiegen deutlich; die Reihenfolge ist dann: *Diatomeen*, *Dinoflagellaten*, *Chlorophyceen*, *Conjugaten* und *Cyanophyceen* (s. Tab. XX). Das fast völlige Fehlen der Letzteren ist besonders auffallend. Bei Berücksichtigung der UTERMÖHLSCHEN (1925) Milieuspektren, z. B. demjenigen von *Microcystis aeruginosa*, ist es aber wahrscheinlich, daß der geringe P- und N-Gehalt und andererseits der ziemlich hohe Humusgehalt des Gr.H.M. (Farbe XVI—XVII) diese Verhältnisse verursachen.

Nach der Zusammenstellung von DORFF (1934) gehören von den angeführten Phytoplanktern *Cryptomonas ovata*, *Trachelomonas volvocina* und *Lagynion* zu den Eisenorganismen, während *Tabellaria flocculosa* und *Closterium acutum* als Eisenbegleiter anzusprechen sind.

Nach dem Befunde von USPENSKI (1927) liegen die optimalen Eisenkonzentrationen für die meisten Algen zwischen 0,2 und 2,— mg/l Fe_2O_3 (= \sim 0,1 und 0,7 mg/l Fe). Zwei bis drei mal so hohe Konzentrationen sind schon stark giftig. In manchen Fällen (s. S. 93 ff.), selbst bei Berücksichtigung der von USPENSKI mitgeteilten abschwächenden Wirkung der organischen Stoffe auf die Giftigkeit des Eisens, übersteigen die Eisenmengen im Gr.H.M. diese Werte um ein Vielfaches bei gleichzeitiger Höchstentwicklung einiger Phytoplankter.

Nach neueren Untersuchungen gehören zu den Produzenten der Gewässer einige vorwiegend autotroph lebende *Eisenbakterien*, wie z. B. *Siderococcus limoniticus* (s. DORFF 1934 S. 10). Herr Dr. DORFF, der, wie erwähnt, einige Wasserproben des Gr.H.M. auf *Eisenbakterien* hin durchsah, stellte *Siderococcus limoniticus* in reicher Entwicklung im sauerstoffarmen oder sauerstofffreien Hypolimnion des Gr.H.M. während des Sommers fest. Begleitet war diese Art von wenigen Stück *Sideroderma rectangulare* und vereinzelt Fäden von *Lepthotrix ochracea*. Zählungen dieser

Lfd. Nr.	Art	1935		1936														
		V,II	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
1	<i>Microcystis firma</i>	+	±	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
2	<i>Mallomonas caudata</i>	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
3	<i>Dinobryon div. + soc.</i>	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
4	<i>Cryptomonas erosa</i>	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	<i>Trachelomonas volvocina</i>	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
6	<i>Chrysooccus spec.</i>	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
7	Kleine Flagellaten $\sim 5 \mu$	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
	Hauptsächl. <i>Chromulina pseudonebulosa</i>	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
8	<i>Ceratium hirudinella</i>	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	<i>Peridinium cinctum</i>	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	<i>Asterionella formosa</i>	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	<i>Tabellaria flocculosa</i>	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	<i>Melos helv.</i> $> 500 \mu$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12a	" " wenige Zellen	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	<i>Cyclotella operculata</i>	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	<i>Staurastrum paradoxum</i>	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	<i>Closterium acutum</i>	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—

Tabelle XX. Die Frequenz der Phytoplankter.

Zeichenerklärung zu Tabelle XX.

(Die Zahlen gelten für die Nannoplankter; für die übrigen Gruppen im entsprechenden Verhältnis.)

— = sehr selten (nur in einzelnen Meterstufen).

— = selten (zu wenigen in den meisten Meterstufen).

± = vereinzelt (10 bis 20 Stück in den meisten Meterstufen).

± = häufig (20 bis 100 Stück in den meisten Meterstufen).

± = sehr häufig (mehr als 100 Stück in den meisten Meterstufen).

± = vorherrschend (durch Größe oder Zahl das Kammerbild beherrschend).

Organismen konnte ich nicht durchführen; die Kleinheit der quantitativ vorwiegenden Bakterien (0,2 bis 0,5 μ) hätte besondere und zeitraubende Untersuchungsmethoden erfordert. Bei meinen Beobachtungen auf dem See, bei den Kammer- und Doppelkammerzählungen habe ich aber ständig auf diese Verhältnisse geachtet, sodaß ich betreffs der Ernährung der Zooplankter der obersten Schichten des sommerlichen Hypolimnions angeben kann, ob *Eisenbakterien* eine Rolle gespielt haben (s. bes. S. 95 und 96).

Die C o n s u m e n t e n .

Unter den Zooplanktern des Gr.H.M. sind es vor allem *Rotatorien* und *Crustaceen*, welche die Hauptformen stellen.

Die *Protozoen* treten quantitativ vollkommen hinter den Vertretern dieser Gruppen zurück. *Amphileptus tracheloides*, *Tintinnidium fluviatile*, *Tintinnopsis lacustris*, *Coleps hirtus* und *Arcella*, *Vorticella*, *Epistylis*, *Strombidium*, *Halteria* und *Trichodina* species sind hin und wieder in meinen Zähllisten in unbedeutenden Mengen angeführt.

Die vorkommenden *Rotatorien* sind in der Tabelle XXI, die auf Grund der Zählresultate zusammengestellt wurde, in ihrem jahreszeitlichen Auftreten gekennzeichnet. Tabelle XXII enthält die gleichen Angaben für die *Crustaceen* und für die Larve von *Corethra*.

Für die Plankter des Gr.H.M. wäre es interessant, die Maxima und Minima ihres Auftretens während eines Jahreszyklus auf Grund der causalen Zusammenhänge, insbesondere der ernährungsphysiologischen und regionalen Verhältnisse, zu verfolgen. Die Schwierigkeiten einer solchen Betrachtungsweise sind aber noch sehr groß. Es sind z. B. erst für wenige Plankter gesicherte Kenntnisse bezüglich ihrer Milieuanprüche vorhanden (NAUMANN 1921/23, UTERMÖHL 1925, THIENEMANN 1926 a), wobei bezüglich dieser Ergebnisse noch darauf hingewiesen werden muß, daß die Wirkung von einzelnen Stoffen fast unerforscht ist. Die meisten derartigen Untersuchungen beziehen ja ihre Ergebnisse auf ganze Stoffgruppen, wie besonders die organischen Stickstoff-, Phosphor- und Humusverbindungen, die ihrerseits wieder mittels unserer heutigen „feldanalytischen“ Methoden nicht betreffs ihrer Componenten auseinander gehalten werden können. Der Vergleich mehrerer Gewässer desselben Typus und derselben Haushaltsart vermag die Erforschung dieser Zusammenhänge zu fördern, wie besonders die Milieuspektren UTERMÖHLS (1925) gezeigt haben. Ein derartiger Vergleich der Gewässer des Naturschutzgebietes „Gr.H.M.“ würde den Rahmen dieser Arbeit aber stark überschreiten.

Die erwähnten Schwierigkeiten bestimmen mich, mehr oder minder spekulativen Ausführungen über diese Fragen nicht nachzugehen, sondern stattdessen die allgemeine Produktionsbiologie des Gr.H.M. zu klären.

Lfd. Nr.	Rotatorien	1935			1936			V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
		VIII	IX	X	XI	XII	I							
1	<i>Polyarthra platyptera</i>	+	+	+	-	-	-	±	±	±	+	+	±	-
2	<i>Diurella stylata</i>	-	±	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	<i>Brachionus angularis</i>	±	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	<i>Anuraea cochlearis</i>	+	+	+	-	-	-	+	±	±	±	±	±	-
5	" <i>aculeata</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	<i>Notholca longispina</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Gastropus stylifer</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Asplanchna priodonta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	-	-
9	<i>Triarthra longisetata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	-	-
10	<i>Pedalion mirum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	-	-
11	" <i>fennicum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	<i>Pomphylox sulcata</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Außerdem wurden in einzelnen Exemplaren festgestellt:

- 13 *Brachionus capuziflorus* 14 *Ploesoma truncata* 15 *Conochilus unicornis*
 16 *Anuraeopsis spec.* 17 *Synchaeta spec.* 18 *Pomphylox complanata*

Tabelle XXI.

Die Frequenz der Rotatorien.
 (Zeichenerklärung s. Tabelle XX.)

Lfd. Nr.	Crustaceen	1935			1936			V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
		VIII	IX	X	XI	XII	I								
1	<i>Diaphanosoma brachyurum</i>	+	+	-	+	+	-	±	±	±	+	+	-	±	
2	<i>Daphnia cucullata</i>	±	±	±	±	±	±	+	+	+	+	+	+	+	
3	<i>Ceriodaphnia pulchella</i>	±	+	+	±	±	±	±	±	±	-	-	-	-	
4	<i>Bosmina longirostris</i>	+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	
5	<i>Cyclopus Leuckarti</i>	+	+	+	+	+	+	-	±	±	±	±	±	-	
6	" <i>Dybouskii</i>	+	+	+	+	+	+	-	±	±	±	±	±	-	
6a	<i>Cyclopid Stadien</i>	+	+	+	+	+	+	-	±	±	±	±	±	-	
7	<i>Diaptomus gracilis</i>	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
7a	<i>Diaptomid Stadien</i>	(?)	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
7b	<i>Nauplien</i>	+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	
8	<i>Leptodora kindtii</i>	+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	±	±	
	<i>Corethra</i> -Larven	-	±	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabelle XXI. Die Frequenz der Crustaceen. (Zeichenerklärung s. Tabelle XX.)

Die Auswertung der Zählungen.

Die Produzenten und die Consumenten sind unter diesem Gesichtspunkt die wichtigsten Endglieder der folgenden Erörterungen. Die Reduzenten können im Pelagial der Seen ebenfalls eine wichtige Rolle spielen. Im Gr.H.M. konnten derartige Beobachtungen aber nicht gemacht werden.

Die Grundlagen für die Erzeugung von Produzenten sind durch die chemischen Verhältnisse unserer Gewässer gegeben. Den einheitlich festgelegten Analysendaten steht aber die Fülle der physiologisch so verschiedenen gestalteten Plankter gegenüber. Wie schon erwähnt, können die physiologischen Besonderheiten der einzelnen Plankter hier nicht erörtert werden. Andererseits ist aber das häufig angewandte Verfahren, die Summe der Phytoplankter den chemischen Verhältnissen des Gewässers gegenüber zu stellen, ein allzu grober Notbehelf.

Es ist ohne weiteres klar, daß die assimilatorischen Wirkungen eines Netzplankters erheblich die Wirkungen eines Nannoplankters übertreffen. Als Ausgleich schaltete ich bei der Ermittlung der Summe der Produzenten meiner Zählungen für die kleineren Organismen einen Verkleinerungsfaktor ein. Plankter unter einer Größe von 30 μ wurden in ihrer Gesamtzahl durch 10 dividiert, bevor sie zu den übrigen, größeren (auf ein ccm bezogenen) Planktern hinzugezählt wurden. Auf den ersten Blick mag diese Maßnahme sehr willkürlich erscheinen. Wenn wir aber bedenken, daß die gezählten Plankter allen Größenordnungen von 5 bis 30, und von 30 bis 200 μ und größer (Kolonien von Dinobryon usw.) angehören, so erscheint eine derartige Wertung schon eher gerechtfertigt. Die direkte Notwendigkeit solcher Korrekturen wurde mir vor allem an einem Beispiel aus der neueren Literatur klar: ELSTER und GESSNER (1935) vergleichen in ihren „Limnologischen Produktions-Vorstudien“ den Planktonreichtum der Hauptbecken des Bodensees. Bei der Frage nach der Ernährung des quantitativ reicheren Zooplanktons des Untersees, bei geringerer Gesamtzahl der Phytoplankter dieses Seeteiles gegenüber dem Obersee (der seinerseits auch ein entsprechend ärmeres Zooplankton aufweist), sehen sich die Verfasser zu längeren Ausführungen über die Größenordnung der in diesen Seeteilen vorkommenden Diatomeen veranlaßt. Sie kommen dabei zu dem Schluß, daß der oben erwähnte Widerspruch nur ein scheinbarer ist, da die 20 bis 100 fache Menge an organischer Substanz eines *Melosira*-Fadens im Untersee gegenüber einer *Cyclotella*-Zelle des Obersees die wirklichen Verhältnisse genau den Planktonzahlen entgegenstehen lassen.

Durch Einschalten des erwähnten Faktors hoffe ich, derartige Erklärungen vermeiden zu können. Die Aufzählung der Phytoplankter auf S. 67/68 enthält auch die den einzelnen Organismen von mir zugeteilten Faktoren (0,1 und 1). Bei dieser Zuteilung wurde übrigens nicht rein schematisch verfahren, sondern es wurde außer der größten Ausdehnung der betreffenden Alge auch deren Masse an organischer Substanz in etwa be-

rücksichtigt. Diese Art der Handhabung des Schemas erklärt z. B., daß *Cryptomonas ovata*, die größere Kolonien bildenden Plankter (*Asterionella*, *Dinobryon*, *Tabellaria*) und längere *Melosira*-Fäden den Faktor 1 erhalten haben; während *Closterium acutum*, *Rhizosolenia longiseta* und kurze *Melosira*-Fäden dem Faktor 0,1 zugeordnet wurden. Die errechnete Gesamtzahl der Produzenten bezieht sich in allen Fällen auf ein Volumen von 1 ccm Wasser.

Daß die Einführung von nur zwei Größenklassen eine vorläufige und in diesem Falle auch untersuchungstechnisch bedingte Maßnahme ist, wurde schon betont. Die beiden Größenklassen entsprechen ungefähr den geläufigen Begriffen des Nanno- und des Mesoplanktons, an die wegen des Fehlens von Messungen der Plankter oder besser deren lebenden Inhaltes¹⁰, die gewählte Einteilung sich anschließt. Durch den Mengenausgleich der einzelnen Planktonarten innerhalb der beiden Größenklassen wird das Verhältnis der Größenklassen zueinander kleiner, als es ELSTER und GESSNER (1935) z. B. für *Cyclotella* und *Melosira* angeben (1 : 20 bis 1 : 100). Das hier gewählte Verhältnis 1 : 10 ist in jedem Falle soweit wirksam, daß eine Gleichsetzung von Nanno- und Mesoplankton in den Darstellungen (s. Abb. 23 und 26 auf Tab. II und III im Anhang) vermieden wird.

Die *Rotatorien* und *Crustaceen*, die innerhalb der von ihnen gebildeten Einheit der Consumenten ähnliche Größenunterschiede zeigen wie die Produzenten, konnten wegen der verschiedenen Methodik ihres Fanges (Stufen- und durchgehender Vertikalfang) nicht in einer Kurve dargestellt werden. Teils aus Gründen der gewählten linearen Darstellung, und teils zur Verdeutlichung der erwähnten Größenunterschiede dieser Gruppen, wurden die Rotatorienzahlen auf 100 ccm und die Crustaceenzahlen auf 1000 ccm Wasser bei der Berechnung bezogen.

Das quantitative Verhältnis der Planktongruppen und der einzelnen Arten zueinander kann aus den Tabellen XX, XXI und XXII für die verschiedenen Monate des Jahres abgelesen werden. In einigen, besonders charakteristischen Fällen sind außerdem die Arten quantitativ gesondert angeführt (s. S. 93 ff. und Abb. 26).

Die auf Grund der oben erörterten Methoden der quantitativen Erfassung der Plankter für die Produzenten, *Rotatorien* und *Crustaceen* gewonnenen Daten sind in den Kurven der Abb. 23 a bis e zusammengefaßt.

Für die Produzenten sind dort vor allem die zwei außerordentlich scharf ausgeprägten Minimumperioden (Winter; Mai) ihrer quantitativen Entwicklung zu erwähnen, denen zwei Perioden maximaler Entwicklung (Sommer; März—April) gegenüberstehen.

Die *Rotatorien* und *Crustaceen* zeigen demgegenüber je eine zusammenhängende Periode maximaler bzw. minimaler Entwicklung im Verlauf des Jahres.

Die Produktionsbiologie des Pelagials

Vorbemerkungen.

Vor der Behandlung der allgemeinen und wichtigeren Zusammenhänge dieses Kapitels über die im Gr.H.M. angetroffenen Verhältnisse, möchte ich die produktionsbiologischen, grundlegenden Zusammenhänge im Pelagial unserer Seen an Hand eines von mir schon früher (1937) veröffentlichten Schemas (Abb. 24), streifen. Die wichtigsten Faktoren der jahreszeitlichen Ausprägung des Lebens im Gr.H.M. können dabei gleichzeitig als Ausgangspunkt der folgenden Erörterungen herausgestellt werden.

Die Abbildung 24 zeigt schon rein äußerlich in der Vielheit der Wirkungen der 8 Faktoren aufeinander die Kompliziertheit derartiger Untersuchungen und ihrer Auswertung. Weiterhin ist darauf hinzuweisen, daß die meisten der angeführten Faktoren in eine Reihe von Teilfaktoren zer-

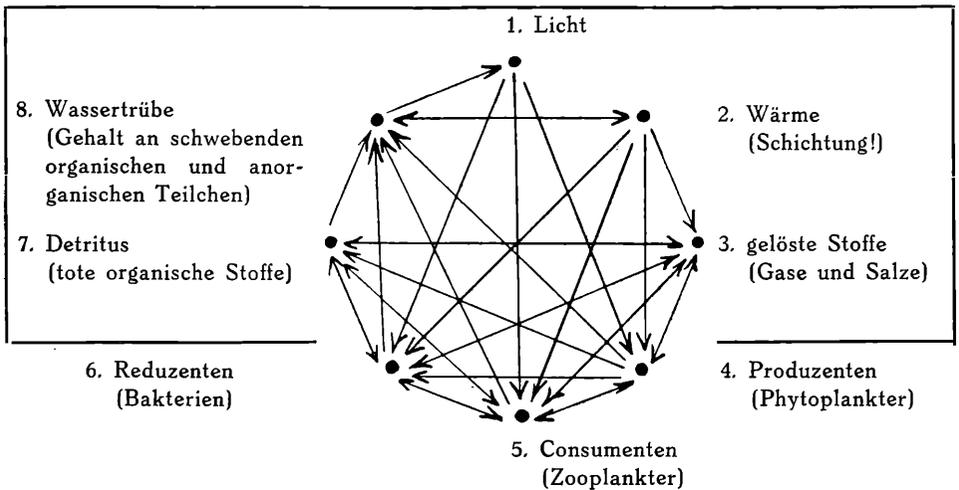


Abb. 24.

Schematische Darstellung der ganzheitlichen Betrachtung des Pelagials als Lebensraum. Die wichtigsten Beziehungen der acht Hauptfaktoren zueinander sind durch die Pfeile angedeutet.

Die Umrandung der Faktorengruppe 1, 2, 3, 7 und 8 weist darauf hin, daß der See nicht von seiner Umgebung zu trennen ist; daß direkte Beziehungen zwischen diesen Faktoren im See und den klimatischen, geologischen und morphologischen Eigenheiten der umgebenden Landschaft vorhanden sind.

fallen, die untereinander und auch nach außen hin (zu den angeführten Hauptfaktoren der Abb. 24) selbständige Beziehungen unterhalten können. Diese Überlegung beleuchtet zugleich die in der Seenforschung immer wieder zu betonende organismenähnliche Individualität der Gewässer. Die Kombinationsmöglichkeiten, die das Schema (Abb. 24) aufzeigt, sind ja genau so unendlich mannigfaltig, wie diejenigen der die Organismen aufbauenden Moleküle.

Die Faktorengruppen 1, 2, 3, 7 und 8 sind in den vorhergehenden Teilen dieser Arbeit eingehend behandelt worden und zwar im Zusammenhang mit den Einflüssen, welche die Umgebung des Gr.H.M. auf sie ausübt. Da die Reduzenten im freien Wasser des Gr.H.M. kaum eine Rolle spielen¹¹, und da sie mit den angewandten Methoden nicht erfaßt wurden, bleibt als Hauptaufgabe dieses Kapitels das Ziel: die Produktion des Pelagials des Gr.H.M. an Phyto- und Zooplanktern in ihrer Abhängigkeit von den oben genannten fünf Faktoren darzustellen.

Daß zu dem Zweck eine Beschränkung und Unterordnung unter ganz bestimmte Gesichtspunkte geschehen muß, ist bei der erwähnten Vielfalt der zu beachtenden Probleme Vorbedingung der zu erstrebenden Einheitlichkeit dieser Ausführungen. Günstige Bedingungen zu der geforderten Einheitlichkeit der Darstellung sind außerdem durch die in den meisten Fällen an einem Tag und an einer Schöpfprobe durchgeführten Analysen und Zählungen gegeben.

Für das Phytoplankton, als erste und autotrophe Stufe der zu behandelnden biologischen Erscheinungen, ist es die Quantität der gelösten Nährstoffe, die in den meisten Seen gegenüber den anderen angeführten Wirkungen, grundsätzlich die Produktion bestimmt.

Das heterotrophe Zooplankton ist in seiner quantitativen Entwicklung von der zur Verfügung stehenden Menge der geformten oder kolloidalen oder ausgeflockten organischen Substanzen abhängig. Über die Bedingungen und Erscheinungen seines Wachstums und seiner Vermehrung kann also erst im Anschluß an die Besprechung der Produzenten berichtet werden. Die Zooplankter vertreten im Pelagial den Hauptanteil der Endproduktion der Consumenten überhaupt, da die Fische im Gr.H.M. als Planktonfresser eine nebensächliche Rolle spielen. Zu vorderst sind es die Jungbarsche, welche von Zooplanktern des Pelagials leben.

Die vorwiegend deskriptive Wertung der bisher aufgezeigten morphologischen, physikalischen, chemischen, zoologischen und botanischen Untersuchungsergebnisse muß bei der Ausarbeitung der biologischen Verhältnisse als einer zusammenfassenden Synthese in der „Produktionsbiologie“ von der causalen Betrachtungsweise abgelöst werden.

¹¹ s. z. B. BAIER 1935/36 S. 238 und Tab. 13.

P als Minimumstoff.

Die Ernährungsphysiologie der Plankter wurde schon in ihrer grundlegenden Bedeutung für die Lebenserfüllung des Pelagials des Gr.H.M. erkannt. Innerhalb dieses, teils chemischen, teils biologischen Fragenkomplexes ist es vor allem bezüglich der Produzenten ein Problem, das mit der bisherigen deskriptiven Arbeitsweise für das Gr.H.M. nicht gelöst werden konnte, das aber die Vielfalt der betreffenden Vorgänge zu einer wesentlichen Vereinfachung kommen läßt: Die Frage nach dem die Produktion begrenzenden Minimumstoff.

Wie schon erwähnt, sind N und P im Epilimnion des Gr.H.M. auch zu Zeiten höchster quantitativer Entfaltung des Phytoplanktons stets nachzuweisen. Diese beiden Stoffe sind aber andererseits diejenigen, welche nach unseren bisherigen Kenntnissen (s. z. B. GESSNER 1935) in den meisten Fällen in unseren Seen als Minimumstoffe zu gelten haben. Diese Tatsache gilt ganz besonders für P, während N nur ausnahmsweise als produktionsbegrenzender Faktor in Frage kommt.

Die bei der geringen Phytoplanktonentwicklung relativ hohen Stickstoffkonzentrationen im Gr.H.M. scheiden diesen als Minimumstoff im Gr.H.M. ohne weiteres aus. Andererseits war die Rolle des Phosphors deshalb nicht völlig klar, weil im Gegensatz zu den Befunden an vielen anderen Seen, P auch im Sommer im Epilimnion des Gr.H.M. ständig nachzuweisen war.

Die auf S. 48 ff. dargelegte Adsorption des Phosphors an Eisenhydroxydkolloide ließ zunächst vermuten, daß ein Teil des im Gr.H.M. nachgewiesenen Phosphors die semipermeablen Pflanzenmembranen nicht zu durchdringen vermag.

Den Beweis der Minimumwirkung des Phosphors für die Phytoplanktonproduktion des Gr.H.M. erbrachten dann folgende, auf GESSNERS Arbeiten (1933, 1934) gründende Versuche (Tabelle XXIII)¹². Einige Ergebnisse der Versuche sind in der Abb. 25 graphisch dargestellt.

Alle Experimente wurden mit 50 ccm Wasser durchgeführt. Als Versuchspflanzen dienten *Helodea canadensis* und *Myriophyllum spec.* Die Versuche Nr. 8, 9 und 10 führen den Nachweis, daß *Myriophyllum* ebenso, wie es GESSNER (1933) für *Helodea canadensis* feststellte, befähigt ist, P mit Hilfe seiner semipermeablen Oberfläche aus dem umgebenden Wasser aufzunehmen.

GESSNER konnte (1933) nachweisen, daß viele submerse Kormophyten, z. B. *Helodea*, mittels ihrer Oberfläche Nährstoffe (N und P) aus dem umgebenden Wasser aufnehmen können. 1934 benutzte GESSNER diese Eigenschaft der Submersen, die sich besonders bezüglich der P-Aufnahme genau so verhalten wie Algen, dazu, um in dystrophen Gewässern die vermuteten Hemmungen der Humuskolloide auf den Phosphorkreislauf zu klären. Die fein abgestimmte P-Zehrung durch *Helodea canadensis* diente bei den betreffenden Versuchen als Indikator.

Lfd. Nr.	Tag	Ort	Fe : mg 1	mg/1 KMnO ₄ Verbr.	P mg/cbm			Verhältnis inagiler P : Fe	Vers.- dauer	Vers.- pflanze
					urspr. Gehalt	erhöht um	insgesamt v. d. Vers. n. d. Vers.			
1	28. 9. 36	E. -5 m	0,12	27,5	4,5	0,—	4,—	1 : 30	8 Std.	<i>Myriophyllum-spec.</i>
2	28. 9. 36	E. -5 m	0,12	27,5	4,5	0,—	4,—	1 : 30	8	
3	28. 9. 36	E. -5 m	0,12	27,5	4,5	40,—	12,—	~ 4,—	8	
4	28. 9. 36	E. -5 m	0,12	27,5	4,5	40,—	12,—	~ 4,—	8	
5	28. 9. 36	E. 10,5 m	13,5	50,8	29,—	0,—	20,—	1 : 450	8	
6	28. 9. 36	E. 10,5 m	13,5	50,8	29,—	0,—	25,—	1 : 450	8	
7	28. 9. 36	E. 10,5 m	13,5	50,8	29,—	40,—	24,—	1 : 450	8 "	
8	3. 10. 36	E. -0 m	Kontrollversuche betreffs der Wirkung				40,—	20,—	3	
9	3. 10. 36	E. -0 m	von <i>Myriophyllum</i> .				60,—	40,—	24	
10	3. 10. 36	E. -0 m					60,—	48,—	150	
11	10. 10. 36	Gr.H.M. 0m	1,1	32,3	10,—	0,—	12,—	1 : 110	20	<i>Helodea canad.</i>
12	10. 10. 36	Gr.H.M. 0m	1,1	32,3	10,—	100,—	12,—	1 : 110	20	
13	10. 10. 36	Gr.H.M. 10m	40,—	74,1	71,—	0,—	90,—	~ 10,—	20	
14	10. 10. 36	Gr.H.M. 10m	40,—	74,1	71,—	100,—	110,—	**	20	
15	10. 10. 36	Meerbede	4,8	30,1	200,—	0,—	50,—	~ 10,—	20	
16	10. 10. 36	Meerbede	4,8	30,1	200,—	0,—	60,—	~ 50,—	20	
17	10. 10. 36	Meerbede	4,8	30,1	200,—	100,—	65,—	~ 50,—	20	
18	10. 10. 36	Meerbede	4,8	30,1	200,—	100,—	50,—	~ 50,—	20	

Tabelle X X I I I. Versuche Nr. 1 bis 18 zur Ermittlung des Minimumstoffes.

= Erdfallsee.

** = *Helodea* aus einem Bach mit hohem P-Gehalt (s. GESSNER 1933).

Die unterschiedliche Aufnahme von P bezüglich der einzelnen Sprosse (s. GESSNER 1933) wurde dadurch möglichst ausgeschaltet, daß bei den Versuchen je 10 frische Sproßspitzen von *Helodea* von 3—4 cm Länge verwandt wurden. Das Versuchswasser wurde dabei von den Pflanzen ganz dicht durchdrungen, sodaß ein völliges Schwinden des Phosphors zu erwarten war, wie es GESSNER (1934 Abb. 10) bezüglich des oligohumosen Fiolenwassers gezeigt hat. Als Lichtquelle diente eine 40 Watt starke innen mattierte Birne, um welche die Versuchsgläser in gleichem Abstand aufgestellt wurden.

Wie Tabelle XXIII und Abb. 25 erkennen lassen, war ein Teil des Phosphors, entgegen den Erwartungen, auch beim Abschluß des Versuches immer noch nachzuweisen. Die völlige Unangreifbarkeit der dann noch gefundenen Phosphormengen der geprüften Oberflächenwässer wird vor allem dadurch herausgestellt, daß selbst die mit 100 mg/cbm P angereicherten Wässer bei genügend langer Belichtung nach den Versuchen die gleichen Konzentrationen aufwiesen, wie die natürlichen Proben (s. Abb. 25).

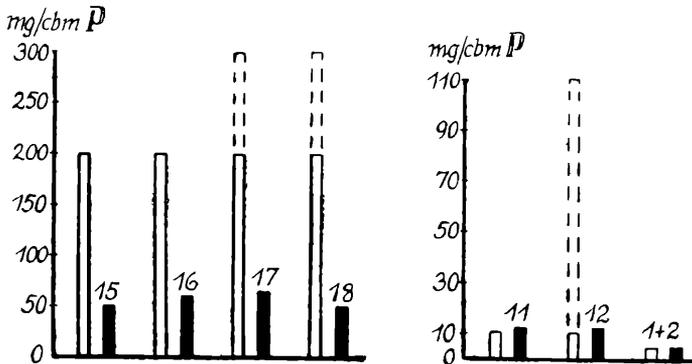


Abb. 25. Graphische Darstellung einiger Versuche der Tabelle XXIII.

Insgesamt mg/cbm P { = vor dem Versuch; dabei === = zugefügtes P.
 = nach dem Versuch.

Die Zahlen geben die Nummer des Versuches der Tabelle XXIII an.

Daß die im Sommer im Epilimnion gefundenen Mengen des Phosphors dessen völliges Minimum für die pflanzliche Produktion des Gr.H.M. anzeigt, kann dadurch als erwiesen betrachtet werden, daß die ursprünglich für das Seewasser festgestellten Phosphorkonzentrationen auch unter den extremen Versuchsbedingungen praktisch nicht mehr herabgesetzt werden konnten (s. Tab. 23 und Abb. 25 Nr. 1, 2 und 11).

Verantwortlich für das Vorliegen des Phosphors in einer inagilen Form sind seine oben (S. 48 ff.) erörterten adsorptiven Bindungen an die im Gr.H.M. vorhandenen $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Kolloide und -Flocken. Organische Kolloide kommen in unserem Falle nicht zu derselben Wirkung, wie ein Vergleich der Versuche mit Meerbecke- und mit Oberflächenwasser des Gr.H.M. zeigt:

bei gleichem KMnO_4 -Verbrauch beider Proben steigt dort nämlich die Unangreifbarkeit des Phosphors proportional dem Anstieg des Eisengehaltes.

Nach den Versuchen 11, 12, 15, 16, 17 und 18 verhält sich der inagile Phosphor zum Eisengehalt des Gr.H.M. und der Meerbecke wie 1 : 100, während für den Erdfallsee das entsprechende Verhältnis 1 : 30 beträgt. (S. Versuche Nr. 1 und 2. Die Versuche Nr. 3 und 4 zeigen grundsätzlich das gleiche Verhalten. Die Versuchsdauer war aber zu kurz, um das Endresultat, wie z. B. bei Versuch 12, zu erreichen.) Schon die Adsorptionsversuche auf S. 49 ließen vermuten, daß die bei ihnen ermittelten Verhältniszahlen von P zu Fe keine direkten Rückschlüsse auf die Unangreifbarkeit des Phosphors bei Anwesenheit einer bestimmten Eisenmenge zulassen.

Nach den obigen Befunden ist es z. B. ohne weiteres klar, daß das von EINSELE (1936) in gefällttem $\text{Fe}(\text{OH})_3$ gefundene Verhältnis $\text{Fe} : \text{P} = 7 : 1$ (in einer Lösung mit überschüssigem P!) nichts darüber aussagt, wie weit in der betreffenden Probe der Phosphor so fest an das Eisen gebunden ist, daß er von den Pflanzen nicht mehr verwertet werden kann. Die gesetzmäßige Festlegung dieser Beziehungen für die verschiedensten in der Natur vorkommenden Wässer wird nur durch vielfältige, mannigfache Eigenschaften (pH, Wasserhumus, Assimilationsdetritus, Härte usw.) berücksichtigende Untersuchungen herausgearbeitet werden können. Im Einzelfalle werden aber schon, wie hier gezeigt wurde, einige Versuche die Grenze der Minimumwirkung erkennen lassen.

Über die Ernährung des Zooplanktons im Gr.H.M.

Die Existenzbedingungen des Zooplanktons sind nicht in solch einfaches Gesetz zu fassen, wie es z. B. für das Phytoplankton in dem LIEBIGSCHEN Gesetz vom Minimum gegeben ist.

Die bisherigen deskriptiven und experimentellen Arbeiten über die einschlägigen Probleme (s. bes. NAUMANN 1921, 1923; WOLTERECK 1928, KÜHL 1928, NABER 1933, VARGA 1934, BURCKHARD 1935) führten zu den widersprechendsten Ergebnissen, aus denen eine klare Linie nur schwer heraus zu finden ist. Im Wesentlichen folge ich unten den Ansichten, die NAUMANN (1921 und 1923) auf Grund morphologischer und experimenteller Untersuchungen des Zooplanktons entwickelte. Die Gründe meiner Stellungnahme für NAUMANN seien hier deshalb in Kürze aufgezeigt, weil in speziellen Abhandlungen über Zooplankton noch in der letzten Zeit (KÜHL 1928, WOLTERECK 1928, NABER 1933) auf Unkenntnis und falsche Verallgemeinerung der ersten Arbeit NAUMANN'S (1921) beruhende Ablehnungen seiner Ergebnisse zu finden sind. Die genannten drei Autoren beziehen nämlich ihr Urteil nur auf den ersten Teil der NAUMANN'SCHEN Untersuchungen (1921), wobei WOLTERECK¹³ und NABER

¹³ WOLTERECK erwähnt NAUMANN ohne nähere Angabe im Text (s. 526), nicht aber im Literaturverzeichnis; während KÜHL auch in letzterem zu finden ist.

(S. d. S. 113) ihre Ansicht offensichtlich nach der „ausführlichen Kritik an den Anschauungen NAUMANNS“ (NABER 1933 S. 113), die in der Arbeit von KÜHL (S. 146 bis 148) zu finden ist, gebildet haben. Mit KÜHL (S. 146) glaubt NABER (S. 113), daß NAUMANN für das gesamte Zooplankton die Ernährung durch Detritus als erwiesen betrachtet. Ebenso summarisch dehnt NABER (S. 113) die Feststellungen WOLTERECKS bezüglich der Ernährung von pelagischen *Daphnien* durch *Chlorellen* auf das gesamte Zooplankton aus, indem er „vor allem das Nannoplankton“ als dessen Nahrung bezeichnet.

Der an NAUMANN geübten Kritik ist vor allem entgegenzuhalten, daß NAUMANN die Ergebnisse seiner ersten Veröffentlichung über die Ernährungsbiologie des tierischen Limnoplanktons (1921) ausdrücklich (S. 22) auf die *Cladoceren* „vom filtrierenden Typus“ (= „aktive Filtratoren“) beschränkt. Neben der Ernährung der filtrierenden *Cladoceren* durch Detritus erkennt NAUMANN auch den möglichen Einfluß kleiner *Flagellaten* (*Chlamydomonaden*) (S. 22) an. Eine Verallgemeinerung dieser ersten Ergebnisse ist umso weniger angebracht, als NAUMANN (1923) auch die *Copepoden* und *Rotatorien* des Planktons bezüglich ihrer Ernährungsbedingungen untersucht hat und dabei zu neuen Resultaten gekommen ist, die bisher in den einschlägigen Arbeiten übersehen wurden. Den Arbeiten NAUMANNS ist es vor allem zu verdanken, daß die verschiedenen Typen des Nahrungserwerbes der pelagischen *Crustaceen* und *Rotatorien* bekannt wurden.

Die Feststellungen WOLTERECKS, die sich im wesentlichen auf *Daphnia* und *Bosmina spec.* für die Versuche mit *Chlorella* und auf *Daphnia* allein für die Versuche mit Detritus beziehen, sind schon deshalb nicht einseitig auf alle Zooplankter zu übertragen, weil WOLTERECK selbst (1928 S. 528) organischen Detritus als Zusatznahrung gelten läßt.

Ein Vergleich der Ergebnisse von NAUMANN und WOLTERECK ist nach den obigen Ausführungen nur für *Daphnia longispina* direkt möglich. Beide Forscher lassen Detritus und Nannoplankton nebeneinander als Nahrungsquellen für *Daphnia longispina* gelten, betonen aber nachdrücklich das Vorherrschen des einen bzw. des anderen Faktors. Ein Hinweis WOLTERECKS (1928 S. 527) kann m. E. die bleibenden Widersprüche lösen: „Die nichtpelagischen Formen dagegen (*D. magna*, *D. pulex*, derbe Teichrassen von *D. longispina*¹⁴) können mit Detritus, mit Mudd, auch mit gewissen Bakterien aus Pferdedunginfusionen hinreichend ernährt werden.“ Andererseits fand WOLTERECK (1908, 1909, 1910) bei der Bearbeitung Genetischer Probleme, daß (besonders auf die Steuerflächen der *Cladoceren* bezogen) in benachbarten Seen verschiedene Erbrassen der gleichen Art leben können.

¹⁴ von mir gesperrt.

Übertragen wir nun die außerordentlich starke Variabilität der *Cladoceren* auch auf den Befund an der „derben Teichrasse von *Daphnia longispina*“, nämlich auf die Ernährungsphysiologie dieser „Rassen“, so fallen die Widersprüche der Untersuchungsergebnisse von NAUMANN und WOLTERECK in sich zusammen. Beide Forscher mußten demnach zu verschiedenen Ansichten kommen, da die von ihnen benutzten Versuchstiere höchstwahrscheinlich in ihrem ernährungsphysiologischen Typus durch regionale Einflüsse (LEIPZIG, LUNZ und ANEBODA) als Lokalrassen im Sinne WOLTERECKS ausgelesen und erblich fixiert waren.

Zusammenfassend möchte ich für die von NAUMANN (1921) zu den „aktiven Filtratoren“ gestellten *Cladoceren* das Nannoplankton und Ultra-plankton und den Detritus als Nahrungsquellen gelten lassen. Dabei werden nach den bisherigen Ergebnissen die Klarwasserseen wahrscheinlich von Lokalrassen bewohnt, die an eine Ernährung durch Detritus nicht angepaßt sind, weil die Detritusverwertung, als anscheinend höher differenzierter Vorgang gegenüber der Verwertung von Nannoplanktern in den betreffenden Seen nicht (durch Selektion) entstanden sein kann. Andererseits können (s. NAUMANN 1921 S. 22 betr. *Chlamydomaden*) die filtrierenden *Cladoceren* der Braun- und Trübwasserseen (z. B. der dystrophen bei Aneboda) Detritus und Nannoplankter als Nährkörper verwerten.

Im folgenden Abschnitt wurde für die Produktion an *Bosmina longirostris*, *Diaptomus gracilis* und *Triarthra longiseta* (s. NAUMANN 1923) eine Nutzung der im Winter ansteigenden Detritusmengen des Gr.H.M. (S. 23 ff. und S. 56) angenommen, da von Ende Oktober bis in den März hinein die genannten Zooplankter ihr Jahresmaximum erreichen und festhalten, bei gleichzeitig äußerst spärlicher Entwicklung des Phytoplanktons.

Alle anderen Zooplankter des Gr.H.M. luxurieren im Sommer. Der Typus des Nahrungserwerbes der *Copepoden* und *Rotatorien* des Gr.H.M. wurde an Hand der Daten von NAUMANN (1923) wie folgt zusammengestellt¹⁵.

a) *Copepoden* (teils wählend, teils filtrierend).

- 1) *Cyclops Leuckartii* mit Wahl Organismen „vom Mikro- bis Mesotypus“ aufnehmend (Allesfresser teils mit Raubnahrung) = „Typus der wählerisch arbeitenden Greifer mit nebensächlicher Grobfiltration“
- 2) *Diaptomus gracilis* ohne Wahl „alle Nährkörper über einige μ groß bis zu solchen vom Mikrotypus“ aufnehmend = „Typus der nicht wählerisch arbeitenden Fein- und Grobfiltrationen. Untere Grenze der Feinfiltration $< 1 \mu$ “

¹⁵ Die noch allzu umstrittene (s. VARGA 1934) PÜTTERSCHER Theorie braucht im Gr.H.M. zur Erklärung der Zooplanktonproduktion nicht herangezogen zu werden.

- 3) Nauplien ohne Wahl „Nährkörper des kleineren Nannotypus“ aufnehmend = „Typus der schwach wählerisch arbeitenden Feinfiltratoren. Untere Grenze der Feinfiltration $< 1 \mu$ “
- b) *Rotatorien* = „aktive Sedimentatoren“¹⁶.
- 1) *Asplanchna* arbeitet nur mit einem Seston, das über etwa 15μ Größe liegt. Als die kleinsten in Frage kommenden Nährkörper sind etwa *Cyclotellen* anzuführen. Als die größten kommen höchstens kleine *Bosminen* in Frage.
 - 2) *Conochilus* arbeitet nur mit einem Seston, das etwa unter 10μ Größe liegt. Als Nährkörper kommen kleine Nannoplanktonalgen nebst dem unbelebten Seston vom Mikro- und Ultratypus in Frage. Das unbelebte Seston scheint hier besonders reichlich aufgenommen zu werden.
 - 3) *Anuraea*, *Notholca*, *Polyarthra*, *Synchaeta* arbeiten ebenfalls nur mit einem Seston, das unter etwa 10μ Größe liegt. Als Nährkörper kommen der Hauptsache nach eben die Algen vom Nannotypus in Frage.
 - 4) *Triarthra* arbeitet überhaupt nur mit dem kleinsten Seston. Als Nährkörper kommen demnach in erster Linie die Elemente des Ultra-sestons in Betracht.

Wichtig für das Gr.H.M. sind die Versuche, die NAUMANN (1923) mit durch Eisen denaturiertem Detritus ausführte:

Tier	Farbe des Darminhaltes unmittelbar nach der Durchführung der Reaktion ¹⁷
<i>Rotiferen</i>	
<i>Asplanchna</i>	Keine Blaufärbung
<i>Conochilus</i>	Starke
<i>Anuraea</i> , <i>Notholca</i> , <i>Polyarthra</i>	Sehr schwache oder keine Blaufärbung
<i>Cladoceren</i>	
<i>Bosmina</i>	Sehr starke Blaufärbung
<i>Copepoden</i>	
<i>Cyclops</i>	Schwache Blaufärbung
<i>Diaptomus</i>	Starke
<i>Heterocope</i>	Schwache „ „
<i>Nauplien</i>	Ziemlich starke Blaufärbung

Die angeführten Versuchsergebnisse lassen erkennen, daß die Mehrzahl der Zooplankter den mit Fe... angereicherten Humusdetritus nicht verwerten können.

¹⁶ Punkt 1—4 nach NAUMANN 1923, S. 13.

¹⁷ = Berlinerblaureaktion auf Fe... (Tab. nach NAUMANN 1923 S. 16).

Die vorstehenden Ausführungen, welche zur Beurteilung der Befunde im Gr.H.M. herangezogen wurden, zeigen wohl eindeutig, daß NAUMANN die Bedeutung des Nannoplanktons für die Ernährung des Zooplanktons nicht bestreitet; daß er vielmehr als erster systematisch für die Hauptgruppen des Zooplanktons die Art ihres Nahrungserwerbes festlegt, und dabei gleichzeitig einige Ergebnisse über die Auswahl und die Größenordnung der aufgenommenen Nährkörper auf Grund experimenteller Untersuchungen mitteilt (1921 und 1923).

Über den Einfluß des Ultraplanktons auf die Ernährung der pelagischen Zooplankter ist noch sehr wenig bekannt geworden. Einige besonders auffällige Maxima der *Rotatorien* (s. S. 95 und S. 96) im Gr.H.M. können m.E. auf die Hochproduktion an *Eisenbakterien* im oberen Hypolimnion zurückgeführt werden. Im Epilimnion des Gr.H.M. haben die Bakterien neben den ziemlich großen Mengen an Detritus (im Winter) und an Nannoplankton (im Frühjahr und im Sommer) (s. bes. BAIER 1935/36 S. 238 und Tabelle 13) keinen bedeutenden Einfluß auf das Zooplankton.

Der jahreszeitliche Ablauf der Produktion an Organismen im Pelagial des Gr.H.M. bei Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Zusammenhänge.

Bei einem See ist es nicht möglich, seine Produktion und ihre Bedingungen in einer einzigen übersichtlichen Abbildung für den zyklischen Ablauf innerhalb eines Jahres darzustellen, wie es WEIMANN (1935 S. 631) für den Poppelsdorfer Weiher getan hat. Die beim See notwendige Berücksichtigung seiner mannigfaltigen vertikalen Schichtungsverhältnisse zwingt dazu, aus den vorliegenden 30 Gesamtbildern der Produktion des Pelagials nur einige der charakteristischsten Ausschnitte genauer zu behandeln.

Die Abbildungen 26 a bis f* sollen folgende wichtige Jahresabschnitte im Produktionsablauf des Pelagials des Gr.H.M. verdeutlichen. Es stellen dar:

- a): Das Produktionstief im Winter.
- b): Den Produktionsanstieg während der Winterstagnationsperioden (Zeiten kurzer Eisbedeckung des Gr.H.M.) und während der Frühjahrsteilzirkulation.
- c): Das Produktionstief der Zeit beginnender Schichtenstabilisierung.
- d): Das Produktionshoch während der Sommerstagnation.
- e): Die Produktionsabnahme in der Zeit der Sprungschichtwanderung zur Tiefe.
- f): Das Produktionstief der herbstlichen Vollzirkulation.

* Abb. 26 a—f siehe Tafel III im Anhang.

Diese sieben Grundbilder des Reaktionsablaufes sind so gewählt, daß auch die zeitlich zwischen ihnen liegenden Phasen des Produktionsablaufes durch sie in ihrem Wesen wiedergegeben werden¹⁸.

In den Abbildungen sind außer den biologischen und den Temperatur-Verhältnissen noch diejenigen Stoffe in Profilen dargestellt, welche nach den Ausführungen der vorhergehenden Abschnitte die Produktion bestimmen, oder welche auf den produktionsbestimmenden Stoff einen maßgeblichen Einfluß ausüben. Die diesbezüglichen Feststellungen für das Pelagial des Gr.H.M. seien hier noch einmal zusammengefaßt:

Für das Gr.H.M. wurde Phosphor als Minimumstoff der pflanzlichen Produktion erkannt.

Ausgeflocktes Eisenhydroxyd verstärkt diese Minimumwirkung im Epilimnion, da es durch adsorptive Bindungen einen Teil des Phosphors für die Assimilation unangreifbar macht. Hohe Eisenkonzentrationen sind außerdem giftig für die meisten Plankter. Der Sauerstoffhaushalt des Gr.H.M. beeinflußt besonders durch den starken Schwund im Sommer entscheidend die Löslichkeit des Fe und damit auch des P. Weiterhin schließt der Sauerstoffmangel das Hypolimnion während des Sommers von der tierischen Besiedlung aus.

Für die Darstellung der Temperaturverhältnisse und der chemischen Schichtung wurden die in ihren Vorzügen auf S. 28 besprochenen Profile gewählt, wobei ganz besonders die Möglichkeit der getrennten Behandlung der einzelnen Componenten auf engstem Raum ausschlaggebend war. Außerdem heben die Profile die Grenzschichten gleichartiger Verhältnisse gut heraus, in denen häufig (s. BEHRENS 1914 S. 93 zit. nach NABER 1933 S. 115) auffällige Maxima bestimmter Organismen beobachtet werden konnten.

Das Produktionstief im Winter.

Die Abbildung 26 a kennzeichnet die physikalischen, chemischen und biologischen Verhältnisse, wie sie von November bis Februar im Pelagial des Gr.H.M. anzutreffen sind: Die Durchmischung ist in dieser Zeitspanne meist eine vollständige, und dementsprechend sind bei der Verteilung von O₂, Fe und P (s. z. B. 11. 12. 36) keine irgendwie bemerkenswerten oder dauerhaften Schichtungsbilder anzutreffen. Die Existenzbedingungen der Organismen sind um diese Jahreszeit folgendermaßen festgelegt:

a) Günstige Faktoren:

- 1) P ist besonders mit Fortschreiten des Winters in ziemlichen Mengen „angreifbar“ vorhanden (Abb. 18).

¹⁸ Diese Behauptung kann an Hand der in den vorhergehenden Kapiteln besprochenen Daten und Kurven, durch die gleiche Zusammenstellung für einige andere Untersuchungstage leicht nachgeprüft werden.

Die Mineralisationsprozesse im Litoral und im Profundal, und der Einfluß der Meerbecke sind die Hauptlieferanten von Phosphor während dieser Zeit.

- 2) SiO_2 , die im Sommer im Hypolimnion gespeichert wurde, ist in größeren Mengen in der ganzen Wassermasse seit der Herbstzirkulation verteilt (s. S. 55 und Tabelle XV).
- 3) Sauerstoff ist in allen Wasserschichten in ausreichendem Maße für Tiere und Pflanzen vorhanden.
- 4) Alle Sinkstoffe schweben bei der starken Durchmischung des Wassers lange Zeit. Die Nahrungsverhältnisse mancher Zooplankter (bes. *Bosmina* und *Diaptomus*) erfahren dadurch eine Aufbesserung, da der Gehalt des Sestons an Detritus (s. S. 81 ff.) für einige Formen als Nahrungsquelle gelten kann (NAUMANN 1921 und 1923).

b) Ungünstige Faktoren:

- 1) Die Intensität der Assimilation wird gehemmt durch die winterliche Lichtarmut unserer Breiten,
- 2) desgleichen durch die geringe Sichttiefe (Abb. 8),
- 3) desgleichen durch die kräftige Durchmischung der Wassermassen in der Senkrechten,
- 4) desgleichen durch die Wasserkälte, welche sich außerdem auf die Entwicklung und Auslese aller Plankter ungünstig auswirkt.
- 5) Den Zooplanktern stehen nur geringe Mengen von Phytoplankton als Nahrung zur Verfügung.

Die Ausprägung der quantitativen, biologischen Verhältnisse und deren Abhängigkeit von der durchzuführenden Wertung der oben erwähnten Wirkungen und Gegenwirkungen ergibt folgendes Gesamtbild:

Die Kurven, welche die gesamte Produktion der Phyto- und Zooplankter wiedergeben, zeigen während des Winters in allen Tiefen gleiche, geringe Werte. Eine leichte Ansammlung der *Crustaceen* und *Rotatorien* über dem Boden stört diese, durch die ständige Zirkulation der Wassermassen bedingten Verhältnisse hin und wieder, wie z. B. am 20. 1. 36 betreffs der *Crustaceen*. Die Tiefenmaxima im Winter zu Zeiten ruhiger Witterung wurden von NABER (1933) genauer in ihrem Zustandekommen untersucht. Für die im Gr.H.M. im Winter vorkommenden Arten schließe ich mich seiner Ansicht an, daß der Nahrungsgehalt der Wasserschichten in der Nähe des Schlammes größer ist, als in den übrigen Zonen. Produzenten wie Consumenten sind im Winter im Gr.H.M. nur mit wenigen Arten vertreten. Die angetroffene spezielle Auswahl ist bei den Phytoplanktern vor allem auf die Kälte des Wassers als negativen, und seinen hohen Kieselsäuregehalt als positiven Faktor zurückzuführen. Beide Faktoren sind aber für viele planktische *Diatomeen* Vorbedingung zu einer, den übrigen Verhält-

nissen angepaßten maximalen qualitativen und quantitativen Entfaltung. Übereinstimmend damit erreichen (s. Tab. XX) alle im Pelagial des Gr.H.M. vorkommenden *Diatomeen* (außer *Cyclotella operculata*) ihre Höchstentwicklung im Winter. Daß dieses „Maximum“ der betreffenden Arten gegenüber der sommerlichen Gesamtproduktion des Gr.H.M., und vor allem gegenüber den wirklichen winterlichen Maxima in anderen norddeutschen Seen (s. z. B. UTERMÖHL 1925) ein Produktionsminimum ist, beruht meines Erachtens auf folgenden Tatsachen:

Die Besonderheiten des Eisenhaushaltes des Gr.H.M. bringen es mit sich (s. S. 23 ff.), daß, abweichend von den üblichen Verhältnissen, die winterliche Lichtarmut unserer Breiten eine intensive Verstärkung durch die minimale Sichttiefe des Gr.H.M. in dieser Zeit erfährt.

Zusammenhängend damit ist die starke, durch den Wind verursachte und mangels einer Temperaturschichtung vollständige, vertikale Durchmischung des Sees als bedeutende Verschlechterung des Lichtgenusses der Pflanzen zu berücksichtigen. Unter den gegebenen Verhältnissen ist die untere Grenze der trophogenen Schicht des Gr.H.M. bei 3 m Tiefe (doppelte bis dreifache Sichttiefe) im Winter anzusetzen. Alle Produzenten verbringen also im Winter die Hälfte bis Zweidrittel ihres Lebens in der tropholytischen Region (s. S. 14: Quotient $\frac{\text{Epil.}}{\text{Hypol.}}$).

Da, wie schon (unter a 1) erwähnt, die chemischen Voraussetzungen für eine stärkere Entwicklung der Produzenten vorhanden sind, kann nur das außerordentlich schlechte Lichtklima des Pelagials des Gr.H.M. im Winter das ausgeprägte Produktionsminimum dieser Zeit verursachen. Diese Behauptung erfährt ihre indirekte Bestätigung durch die später genauer zu besprechende Beobachtung eines deutlichen Anstieges der Produktion in den für das Gr.H.M. nur kurzen Perioden der Winterstagnation, in welchen wegen des Fehlens der Turbulenz eine Steigerung der Assimilation möglich wird.

Dem qualitativen und quantitativen Minimum der Produzenten entspricht ein solches bei den Consumenten, da ja viele der planktischen *Rotatorien* und *Crustaceen* die Produzenten oder deren Assimilate als hauptsächliche Nahrungsquelle benutzen (s. NAUMANN 1921 und 1923). 1935/36, wie 1936/37 zeigt sich aber darüber hinaus übereinstimmend, daß die *Rotatorien* im Winter eine (auf ihr sommerliches Maximum bezogen) viel stärkere Einbuße erleiden, als die *Crustaceen* (s. Abb. 23). Die Untersuchungen NAUMANN'S (1921 und 1923) über die Ernährungsbiologie der planktischen Consumenten geben die Erklärung des erwähnten Unterschiedes: *Triarthra longiseta* unter den *Rotatorien*, *Bosmina longirostris* und *Diaptomus gracilis* unter den *Crustaceen* setzen nämlich in der Hauptsache das winterliche Zooplankton zusammen und erreichen außerdem im Winter ihr zahlenmäßiges Maximum. Diese Formen sind die Gleichen, für welche NAUMANN experimentell nachwies, daß sie auch eisenimprägnierten und

feinstverteilten Detritus in ihren Darm aufnehmen können. *Triarthra* ist bei dieser Art der Ernährung aber wesentlich schlechter gestellt als die betreffenden *Crustaceen* und bleibt daher stark hinter der Entwicklung von *Bosmina* und von *Diatomus* zurück. Von den *Rotatorien* sind es überhaupt nur sehr wenige Arten, die ausgeflockte organische Substanzen verwerten können. (NAUMANN führt nur *Conochilus* und *Triarthra* an), während unter den *Crustaceen* fast alle *Cladoceren* und dazu einige *Copepoden* (*Diatomus gracilis*) diesen Typus des Nahrungserwerbes aufzeigen. Das Fehlen von *Diaphanosoma* und *Daphnia cucullata* ist im Winter durch die andersgearteten Temperaturansprüche dieser Arten bedingt, während für die *Cyclopiden* außerdem, als wühlende und grob greifende Formen, im Winter im Gr.H.M. zu geringe Mengen an Phytoplanktern vorhanden sind. *Diaphanosoma* verschwindet im Winter vollkommen aus dem Plankton des Gr.H.M., die *Cyclopiden* und *Daphnia cucullata* überdauern mit einigen Stück i. L.

Der Produktionsanstieg während der Winterstagnationsperioden und während der Frühjahrsteilzirkulation.

Bei einer durchschnittlichen Dauer der Eisbedeckung des Gr.H.M. von 3 bis 4 Wochen je Winter kommt der Winterstagnation als jahreszeitlich ausgeprägtem Lebensabschnitt des Pelagials nur geringe Bedeutung zu. Diese Einschätzung wird besonders dadurch unterstrichen, daß die genannte Zeit der Eisbedeckung in den meisten Jahren noch in 2 oder 3 kurze, voneinander getrennte Abschnitte zerfällt. Das in der Abb. 26 b der Frühjahrzirkulation vorangestellte Beispiel der Winterstagnation (19. 2. 36) wurde deshalb mit der ersten in einer Abbildung zusammengegeben, weil die chemischen und physikalischen Verhältnisse beider Abschnitte prinzipiell die Gleichen sind. Diese Kongruenz konnte schon rein durch Überlegung gefunden werden, da ja beide Perioden erste Andeutungen einer Temperaturschichtung nach Zeiten der Vollzirkulation erkennen lassen (s. auch 15. 12. 35). Die ähnliche Entwicklung der chemischen und physikalischen Verhältnisse bedingt auch eine gleichgerichtete, wenn auch nicht gleich starke Vermehrung der Produzenten während der beiden Zeiträume.

Gegenüber den oben genauer geschilderten winterlichen Verhältnissen haben sich die Produktionsbedingungen folgendermaßen verschoben:

a) Günstige Veränderungen:

- 1) P erreicht im Epilimnion die höchsten Werte des Jahres. Es ist dabei nach wie vor nur zum Teil unangreifbar für die Phytoplankter.
- 2) Der Lichtgenuß der Phytoplankter wird durch die Minderung der Zirkulation wesentlich gebessert, wozu im Frühjahr die jahreszeitlich positive Veränderung des Lichtklimas als weitere Vergünstigung hinzukommt.

3) Den Zooplanktern stehen größer werdende Mengen an Phytoplankton als Nahrung zur Verfügung.

b) Ungünstige Veränderungen:

- 1) Die Kieselsäure beginnt zum Frühjahr hin durch das Absinken der *Diatomeen* langsam aus dem Epilimnion zu verschwinden.
- 2) O₂ beginnt im Hypolimnion zu schwinden.
- 3) Mit 2) gekoppelt ist die Anreicherung von Fe im Hypolimnion (s. S. 43 ff.).
- 4) Der hohe CO₂-Gehalt des Hypolimnions zeigt die mit steigender Bodenwassertemperatur stärker werdende Bodengasausscheidung an.

Die Veränderungen der biologischen Verhältnisse in ihrer Abhängigkeit von den oben angeführten Verschiebungen zeigen folgendes Bild:

Die Produzenten beantworten die starken Aufbesserungen des Lichtklimas mit einem lebhaften quantitativen Anstieg im Epilimnion. Dort wurde am 6. 4. 36, mit rund 2500 Nannoplanktern (5—8 μ) im ccm eine der phytoplanktischen Hochproduktionen des Pelagials des Gr.H.M. festgestellt. Die Zooplankter vermögen wegen ihrer gegenüber den Nannoplanktern langsamen Entwicklung die für sie außerordentlich günstigen Ernährungsbedingungen nicht mit einem auffälligen „Augenblickserfolg“ auszunutzen. Ihre Produktion an Embryonen und Eiern steigt aber stark an. Die Auswirkungen der damit eingeleiteten Vermehrung erstrecken sich bis Anfang Juni.

Die Artenauslese der Phytoplankter untersteht für die Winterstagnation und die Frühjahrsteilzirkulation noch fast den gleichen Grundbedingungen wie im Winter. Die Kieselsäure ist noch nicht ins „Minimum“ geraten, die *Diatomeen* sind daher an der Zusammensetzung der Produzenten-Gesellschaft dieser Zeit maßgeblich beteiligt. Die Hauptmasse der Produktion wird mit dem Fortschreiten des Frühjahrs von nannoplanktischen *Flagellaten* (*Chromulina pseudonebulosa*, *Chrysococcus* und andere) gestellt. Für die starke quantitative Zunahme dieser Formen können m. E. mehrere Gründe angeführt werden. *Chromulina* stellt, außer der von UTERMÖHL (1925 S. 392) betonten Stenothermie, nach den Befunden im Gr.H.M. ziemlich hohe Ansprüche betreffs des Lichthaushaltes. Das Gleiche gilt auch für die Gattung *Chrysococcus*, welche durch den hohen Eisengehalt des Epilimnions des Gr.H.M. gefördert wird, während *Mallomonas caudata* durch den SiO₂-Gehalt des Wassers begünstigt zu sein scheint.

Die Consumenten haben gegenüber dem Winter ihre Artenzusammensetzung nicht wesentlich geändert. Die Nahrungsbedingungen haben sich, wie schon erwähnt, im Frühjahr auch für Arten, die auf das Nannoplankton angewiesen sind, sehr verbessert. Die Kälte des Wassers und die langsame Entwicklung der betreffenden *Crustaceen* und *Rotatorien* verhindern aber

die quantitativ stärkere Beteiligung dieser Arten an der Gesamtzahl der Consumenten gegenüber den kalt stenothermen Arten, wie *Bosmina longirostris*, *Diaptomus gracilis* und *Triarthra longiseta*.

Das Produktionstief der Zeit beginnender Schichtenstabilisierung.

Die thermische und damit die chemische Schichtung zeigt im Gr.H.M. mit dem weiteren Fortschreiten des Jahres zum Vorsommer eine starke Festigung. Um die Mitte des Mai konnte zum ersten Male eine typische Sprungschicht festgestellt werden. Die sommerliche Schichtenstabilisierung ist damit eingeleitet. Gegenüber den gleitenden Übergängen zwischen der Frühjahrszirkulation und der Sommerstagnation bezüglich der physikalischen und chemischen Veränderungen zeigen die biologischen Verhältnisse, besonders die der Produzenten, ein völlig abweichendes Verhalten. Die maßgeblichen Veränderungen der produktionsbiologischen Bedingungen in dieser Periode sind folgende:

a) Günstige Faktoren:

- 1) Die Verbesserung des Lichtklimas durch den höheren Sonnenstand und durch die größer werdende Sichttiefe.
- 2) Die zunehmende Erwärmung des Epilimnions.

b) Ungünstige Faktoren:

- 1) Fe beginnt in starkem Maße abzusinken.
- 2) Das absinkende Eisen entzieht dem Epilimnion große Mengen adsorptiv gebundenen Phosphors.
- 3) Im Hypolimnion herrscht schon starker Sauerstoffschwund.

Das Verhalten der Organismen unter den gekennzeichneten Verhältnissen dieser Zeit ist ein überaus auffälliges und verschiedenartiges:

Die Abbildung 26 c erfaßt den Höhepunkt einer Entwicklung, die noch im Vorsommer zu einer fast vollständigen Vernichtung der Produzenten führt; während gleichzeitig bei den Consumenten die im Frühjahr durch die Produktion an Eiern und Embryonen eingeleitete Zunahme erst jetzt, in einer gewissen Unabhängigkeit von der Produktion des Phytoplanktons, zu einem quantitativen Maximum besonders der Crustaceen führt. Beim Abwägen der die Organismen fördernden und hemmenden Wirkungen ergibt sich die folgende Wertung: Die physikalischen Bedingungen sind in dieser Zeit selbst für eine starke Vermehrung der Produzenten als gut zu bezeichnen. Mitbestimmend für das Produktionsminimum ist aber die schnelle Erwärmung des Epilimnions, durch welche die kaltstenothermen Arten, wie z. B. *Chromulina pseudonebulosa*, unvermittelt aus dem Epilimnion verschwinden, während die jetzt begünstigten wärmeliebenden Phytoplankter

außerstande sind, den „plötzlichen Verlust“ zu decken. Dieses Unvermögen der „Sommerarten“ ist seinerseits begründet in den unzulänglichen chemischen Vorbedingungen ihrer Assimilation. Der die Produktion bestimmende Minimumstoff, Phosphor, wurde nämlich schon während der vorhergehenden Frühjahrszirkulation weitgehend aufgezehrt. Die im Winter angesammelten Vorräte wurden durch die phytoplanktische Hochproduktion dieser Zeit wohl völlig verbraucht, sodaß zu Beginn der Stagnationsperiode der Phosphor fast ausschließlich in seiner festen adsorptiven Bindung an $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (den Phytoplanktern unangreifbar) vorliegt. Diese Verhältnisse können die folgende, ständige Abnahme der Phytoplankter allein nicht erklären, da aus der Umgebung des Gr.H.M. und aus seinem Litoral nach wie vor Phosphor an sein Pelagial abgegeben wird. Erst das mit der Stagnation stärker einsetzende Absinken der Eisenhydroxydflocken aus dem Epilimnion (s. Abb. 8) gibt die gesuchte Erklärung. Die sinkenden Flocken sind nämlich dem Phosphor gegenüber noch außerordentlich aufnahmefähig. Auf ihrem Weg ins Hypolimnion reißen sie daher allen im Wasser gelösten Phosphor an sich, und bevor er von den Phytoplanktern, für die dieser Teil ja angreifbar bleibt (s. S. 77), verwertet werden kann, ist er der trophogenen Schicht entzogen. Die stärkste Entfaltung der Produzenten ist beim Beginn der Sommerstagnation im Gr.H.M. an der Oberfläche anzutreffen (s. auch Abb. 23 e und d). Diese Verteilung mag damit zusammenhängen, daß das nahrungsreiche Meerbeckewasser sich oberflächlich einschichtet (S. 20), und daß in den Oberflächenschichten die Adsorption des Phosphors an Eisenflocken am schnellsten abklingen muß. Im Hypolimnion ist über dem Grund beim Beginn der Sommerstagnation, im mikroaerophilen Bereich der O_2 -Schichtung, zum ersten Male eine deutliche Ansammlung von Eisenbakterien zu beobachten, was mit den schon sehr hohen Eisenkonzentrationen der betreffenden Zonen gut übereinstimmt.

Die Entwicklung der Zooplankter verläuft, wie schon erwähnt, weitgehend unabhängig von der Abnahme der Produzenten. Die *Rädertiere* lassen eine ständige, wenn auch nicht allzu schnelle Vermehrung seit der Frühjahrszirkulation erkennen, und die *Crustaceen* erreichen in dieser Zeit sogar ihr Jahresmaximum. Der jeweilige quantitative Stand der Consumenten hängt in den seltensten Fällen von den gleichzeitig angetroffenen Ernährungsbedingungen ab. Vor allem bei den *Rotatorien* und *Crustaceen* ist rückschauend die Zeit ihrer Embryonalentwicklung in Betracht zu ziehen, wenn ihr zahlenmäßiges Auftreten geklärt werden soll. An dem hier erörterten Fall ist deutlich zu erkennen, daß eine solche Betrachtungsweise den Widerspruch zwischen der beobachteten Phyto- und Zooproduktion zu klären vermag (s. ELSTER und GESSNER 1935 S. 13). Gerade die Frühjahrs-Teilzirkulation hat ja die für die Ernährung der Zooplankter günstigste Phytoproduktion hervorgebracht, und ihre Auswirkungen sind es, die das Produktionsmaximum der Consumenten beim Beginn der Sommerstagnation im Gr.H.M. ermöglichen.

Die vertikale Schichtung der Zooplankter ist in dieser Zeit und während der folgenden Sommerstagnation vor allem von dem starken Sauerstoffschwund über dem Grund einheitlich beeinflusst. Am Ende des Mai fehlen nämlich zum ersten Male die Consumenten in den Schichten über dem Grund. Dort ist dann der Sauerstoffvorrat fast ganz erschöpft, und außerdem beginnen die hohen Eisenkonzentrationen dieser Schichten die Plankter zu schädigen.

Bei der Veränderung der Artenzusammensetzung des Planktons der hier besprochenen Periode ist die steigende Erwärmung des Wassers der ausschlaggebende Faktor.

Vor allem sind es die bis dahin die Produktion an Phytoplanktern beherrschenden kleinen *Flagellaten* und die *Diatomeen* *Asterionella formosa* und *Tabellaria flocculosa*, welche bis auf geringe Reste verschwinden. Ein nennenswerter Ausgleich dieses Verlustes durch wärmeliebende Formen ist wegen des oben gekennzeichneten Mangels an Phosphor nicht möglich. *Ceratium hirudinella*, *Peridinium cinctum*, *Cyclotella operculata* und *Staurastrum paradoxum* sind mit nur sehr kleinen Zahlen als Vorläufer der kommenden Entwicklung in den Zähllisten angeführt (s. Tab. XX). Da bei der Auswahl der Zooplanktonarten, genau wie bei ihrer quantitativen Entwicklung, ein rückbezügliches Moment stark wirksam ist, können wir bei ihnen neben der negativen Beeinflussung durch die Wasserwärme auch schon eine deutlich positive erkennen. Dem Verschwinden der kaltstenothermen Art *Triarthra longiseta* steht bei den *Rotatorien* das auffällige Hervortreten von *Polyarthra platyptera*, *Anuraea cochlearis* und *Notholca longispina* gegenüber (s. Abb. 26 c und Tabelle XXI). Die *Crustaceen* werden beim Beginn der Sommerstagnation in ihrem Artenbestand so ausgelesen oder gefördert, wie die *Rotatorien*. Dementsprechend verlieren *Bosmina longirostris* und *Diaptomus gracilis* an Bedeutung, während *Daphnia cucullata*, die *Cyclops*-Arten und die Nauplien stark zunehmen. *Diaphanosoma brachyurum* als ausgesprochen warmstenotherme Form wird in dieser Zeit zum ersten Male wieder beobachtet (s. Tab. XXII).

Betreffs aller neu oder stärker erscheinenden Arten des Zooplanktons ist zu bemerken, daß ihre Förderung neben dem Temperaturfaktor sehr stark der günstigen und gegenüber dem Winter stark veränderten Ernährungsgrundlage der Frühjahrsteilzirkulation zu verdanken ist.

Das Produktionshoch während der Sommerstagnation.

Auf die Periode der Stabilisierung der Wasserschichten im Frühjahr folgt in den Seen unserer Breiten die Zeit der Sommerstagnation. Dieser Abschnitt im jahreszeitlichen Wechsel der Vorgänge im Pelagial ist durch die in bestimmter Tiefe festliegende, wohlausgeprägte Sprungschicht gekennzeichnet (s. Abb. 9). Die primäre Dichteschichtung des Wassers ist, wie ja schon in den vorhergehenden Abschnitten zum Ausdruck kam, der

Anlaß zur Ausprägung der chemischen Schichtungen. Die Abbildung 26 d belegt diese Beziehungen und Abhängigkeiten für das Gr.H.M. auf das Beste. Die scharfe Ausprägung der im Gr.H.M. bestehenden Schichtung bestimmt im Sommer weitgehend die Ausprägung der biologischen Verhältnisse des Pelagials. Die wichtigsten der auf die Produktionsbiologie zur Zeit der Sommerstagnation bezogenen Feststellungen im freien Wasser sind unten zusammengestellt:

a) Günstige Befunde:

- 1) Das Epilimnion zeigt bei größter Sichttiefe (Absinken der Eisenflocken beendet!) und gleichzeitiger stärkster Sonneneinstrahlung das Maximum seines Lichtklimas.
- 2) Die hohen Wassertemperaturen begünstigen den Stoffwechsel und die Vermehrungsgeschwindigkeit der Sommerformen des Planktons.
- 3) Die Zufuhr an Phosphor kommt im Epilimnion völlig den Produzenten zugute, da einerseits das Absinken der Eisenflocken ins Hypolimnion beendet ist, und da andererseits der feinstverteilte Rest des Eisens nur einen P-Gehalt von ungefähr 5 mg/cbm für die Phytoplankter unangreifbar werden läßt (s. S. 77).
- 4) Die P-Anreicherung im Hypolimnion erfaßt in ziemlichem Ausmaß auch dessen oberste, eisenärmere Schichten. Einige Phytoplankter (denen die übrigen Bedingungen zusagen) erreichen hier außerordentlich hohe Werte. Einige Consumenten folgen wieder den Produzenten und Bakterien (s. Punkt 5).
- 5) *Eisenbakterien* finden in den O₂-armen Schichten bis zum Boden günstige Lebensbedingungen.

b) Ungünstige Befunde:

- 1) Der Nährstoffersatz ist im Pelagial des Gr.H.M. im Sommer sehr mangelhaft wegen der regionalen Eigenheiten seiner Lage (s. S. 10).
- 2) Der Lichtmangel und die Temperaturerniedrigung in und unter dem Metalimnion hemmen die Entwicklung der typischen Sommerarten in diesen Wasserschichten.
- 3) Der völlige Sauerstoffschwund im Hypolimnion des Gr.H.M. verhindert, zusammen mit dem extrem hohen Eisengehalt, seine Besiedlung mit Planktern.

Im Gegensatz zur letzten besprochenen Periode überwiegen während der Sommerstagnation im Epilimnion die produktionsbiologisch günstigen Faktoren: Die Abbildung 26 d vermittelt davon eine Vorstellung. Das Hypolimnion ist jedoch, was z.B. die Consumenten angeht, völlig leblos. Nur *Eisenbakterien* vermögen dort während des Sommers durchzuhalten (s. Abb. 23). Die gesamte Produktion erreicht während der Sommerstagnation

im Gr.H.M. ihren Höhepunkt. Vegetationsfärbungen konnten aber in keinem der beiden Beobachtungsjahre festgestellt werden. Die wichtigste Veränderung der Produktionsbedingungen betrifft den Phosphor (s. unter a) 3), dessen Zufuhr zum Pelagial völlig von den Produzenten ausgewertet wird. Die Analysen des gelösten Phosphors (s. Abb. 18 und 19) lassen die prinzipielle Richtigkeit dieser Behauptung erkennen; denn P ist während der ganzen Dauer der Sommerstagnation im Epilimnion nur als unangreifbar, an Fe adsorbiert, festzustellen. Gleichzeitige Analysen des Gesamtphosphorgehaltes, deren Ausführung an der Station leider unmöglich war, hätten allein genauere Unterlagen über die Mengen des von den Phytoplanktern aufgenommenen Phosphors geben können.

Produzenten und Consumenten zeigen in ihrer Vertikalverteilung im Epilimnion keine Besonderheiten gegenüber den Ergebnissen früherer Untersuchungen; anders dagegen im Metalimnion oder im oberen Hypolimnion. Dort kommt nämlich zu der epilimnischen Zufuhr an P noch eine solche aus dem Hypolimnion, das ja sehr hohe Phosphorkonzentrationen während der Sommerstagnation aufzuweisen hat (s. S. 53 und Abb. 19). Diese Phosphorzufuhr kann aber nur im mikroaerophilen Bereich wirksam werden, da in den höher gelegenen Wasserschichten die gefundenen P-Konzentrationen an das dort vorhandene Eisenhydroxyd durch Adsorption fest gebunden sind. Diejenigen Produzenten, welche die günstigen Bedingungen betreffs des Minimumstoffes im oberen Hypolimnion ausnützen, müssen in ihrem übrigen Milieuspektra eine außerordentliche Widerstandskraft gegen Schädigungen durch die niedrigen O₂-Spannungen und gegen Vergiftungen durch gelöstes Eisen aufweisen. Ihre Ansprüche an die Temperaturverhältnisse und an das Lichtklima müssen ebenfalls sehr niedrig sein.

Nach den Befunden im Gr.H.M. sind es unter den Produzenten die *Eisenbakterien* (besonders *Siderococcus limoniticus*), das *Schwefelbakterium Macromonas bipunctata* und *Mallomonas caudata*, die den geforderten speziellen Ansprüchen genügen.

Das von mir für die Darstellung der Sommerstagnation gewählte Beispiel (Abb. 26 d) zeigt die chemische und die biologische Schichtung des Hypolimnions in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit: Die Thermokline nimmt ihre Hauptlage zwischen 4 und 6 m ein. Der völlige O₂-Schwund reicht bis an die 6 m-Stufe, während die Eisenkonzentrationen ab 5 m (abwärts) stark zunehmen. P und SiO₂ (s. Tabelle XV) zeigen schon ab 4 m, und CO₂ sogar ab 3 m innerhalb der obersten stabilen Temperatursprünge ein der F-Schichtung gleichgerichtetes Anwachsen. Zwischen 5½ und 6 m Tiefe liegt demnach, bezüglich der Verwertung des Phosphors, die günstigste Zone. O₂ ist dort nur noch in geringen Mengen vorhanden, sodaß ein großer Teil des Eisens als Bikarbonat, und damit auch der entsprechende Teil des Phosphors, in Lösung gegangen ist. Außer den Eisenbakterien, welche diese Zone dicht erfüllen, war es im Sommer 1936 *Mallomonas caudata*, das die

Lebensbedingungen dieser Schicht auszunutzen vermochte. Am 13. 8. 36 und am 29. 8. 36 gelten für *Mallomonas caudata* folgende Zahlen pro ccm:

13. 8. 36	29. 8. 36	29. 8. 36 P
5 m : 0 Stück	2 Stück	0,018 mg/l
6 m : 5 936	747	0,013 mg/l
7 m : 16	27	0,030 mg/l
10 m 2	0	0,200 mg/l

Tabelle XXIV. *Mallomonas caudata* am 13. 8. und 29. 8. 36 und die dazugehörigen P-Analysen vom 29. 8. 36.

Die größte im Gr.H.M. beobachtete Ansammlung der Produzenten ist durch diese Zahlen gekennzeichnet. Besonders interessant ist es, die Abhängigkeit des Phosphatgehaltes von den biologischen Verhältnissen dieser Schichten zu verfolgen. Beim Zugrundelegen des in allen anderen Fällen beobachteten (Abb. 19) gleichsinnigen Ansteigens der Phosphorwerte zur Tiefe hin, war für die 6 m-Stufe theoretisch ein Wert von 0,024 mg/l P zu erwarten. Die Differenz von 0,011 mg/l stellt also in diesem speziellen Falle die angreifbare und auch wirklich verwertete Menge des P dar, während 0,013 mg/l P unter den gegebenen Verhältnissen unangreifbar bleiben. Das Verhalten der 5 m- und der 7 m-Schichten gegenüber der Besiedlung durch *Mallomonas* ist vielleicht wie folgt zu erklären: bei 5 m ist wegen der höheren O₂-Spannung nur Eisenhydroxyd anzutreffen. Die festgestellte P-Konzentration von 0,018 mg/l ist daher wohl völlig unverwertbar, P ist also der begrenzende Minimumstoff. Bei 7 m ist dagegen P in noch höherem Maße angreifbar als bei 6 m. Die übrigen Lebensbedingungen sind aber außerordentlich schlecht: Das Licht ist im Minimum, O₂ fehlt vollkommen, und Eisen hat mit 8 mg/l so hohe Konzentrationen erreicht, daß es als starkes Pflanzengift zur Wirkung kommt (UPSENSKI 1927). UTERMÖHL wies für *Mallomonas caudata* (1925 Kurventafel 17 und 21 und S. 200) ähnlich stark ausgeprägte Schichtungsbilder im Metalimnion nach, wie sie mir an dessen unterem Rand entgegen traten. Seine Vermutung, „daß chemische Einflüsse hierbei eine Rolle gespielt haben können“, ist für das Gr.H.M. durch die gleichzeitige Ausführung entsprechender Analysen oben nachgewiesen worden. Die Befunde UTERMÖHLs können aber, da in den betreffenden Seen die hohen Eisenkonzentrationen des Gr.H.M. zu fehlen scheinen, nicht ohne nähere chemische Untersuchungen mit den oben erläuterten Vorgängen verglichen werden. Dazu kommt außerdem, daß je nach dem Witterungscharakter der einzelnen Jahre die betreffenden Verhältnisse nicht gleich gut ausgeprägt zu sein brauchen. Im Jahre 1935 wurde z. B. zur entsprechenden Zeit eine weit schwächere Ausbildung dieser Verhältnisse festgestellt. An Stelle von *Mallomonas caudata* übernahm sogar ein anderer Organismus, *Macromonas bipunktata*, die zeitlich kurze Hochproduktion in

der mikroaerophilen Zone (b. 7 m 5660 Stück am 16. 9. 35). Außer den Produzenten zeigen aber auch die Consumenten während der Sommerstagnation häufig größere Ansammlungen in den obersten Schichten des Hypolimnions oder im Metalimnion (s. Abb. 23 a und d). In den meisten Fällen sind diese Maxima, wie auch NABER 1933 annimmt, als Verkehrsstauung der wandernden Arten an ihren lebensfeindlichen Wasserschichten zu deuten. Am 28. 9. 35 gilt diese Erklärung aber nicht für das Massenaufreten von *Anuraea aculeata* im Gr.H.M. in 8 m Tiefe. Dieses Rotator zeigt nach NABER (1933) keine oder nur schwache Vertikalwanderungen und eine Vorliebe für die kühlen Wasserschichten über dem Grund oder über den O₂-armen Zonen, in welchen Schichten von NABER günstige Nahrungsbedingungen durch Bakterienmaxima vermutet werden (s. UTERMÖHL 1925). Die entsprechenden Daten für das Gr.H.M. enthält die Tabelle XXV.

m	An. acul im 1	O ₂ mg/l	Produzentenzahl im ccm
7	80 Stück	7,50	~ 30
8	2 660	2,66	20 + } Massenentfaltung von <i>Siderococcus</i>
9	20	0,—	2 + } <i>limoniticus</i>

Tabelle XXV. Das Maximum von *Anuraea aculeata* im Gr.H.M. am 28. 9. 1935.

Nach ihren Angaben ist es sehr wahrscheinlich, daß die *Anuraeen* in diesem Falle die *Eisenbakterien* des Hypolimnions, die ihnen mit dem am Beginn der Sprungschichtwanderung erfolgenden Vordringen des Sauerstoffs zugänglich wurden, zu ihrer Ernährung benutzen, und dadurch, während einer eingeschobenen Ruhelage der Sprungschicht, an die 8 m-Stufe gebunden waren.

Die geringe Zahl der anderen Produzenten tritt gegenüber der, das Wasser bräunlich trübenden Massenenwicklung von *Siderococcus* völlig zurück. Andererseits wurde der sehr gute Ernährungszustand der *Anuraeen* dadurch gekennzeichnet, daß über 40% von ihnen Eier trugen.

Einen zweiten ähnlichen Fall zeigt die Abb. 26 d für *Gastropus stylifer*. Tabelle XXVI enthält dazu die wichtigsten Daten:

m	Gastr. styl. Stück im 1	O ₂ mg/l ¹⁹ s. S. 31	Fe (26. 8.) mg/l	Produzentenzahl im ccm
5	5	3,4 ¹⁹	0,7	101
6	2 500	0,— ¹⁹	3,4	794 + } Massenenwicklung von <i>Side-</i>
7	0	0,— ¹⁹	8,—	43 + } <i>rococcus limoniticus</i>

Tabelle XXVI. Das Maximum von *Gastropus stylifer* am 29. 8. 1936.

¹⁹ Korrigierte O₂-Werte; s. S. 31.

Trotzdem mir aus der Literatur nicht bekannt geworden ist, ob *Gastropus stylifer* erhebliche Vertikalwanderungen im Laufe des Tages ausführt, möchte ich wegen der folgenden Gründe annehmen, daß das angeführte Maximum durch die günstigen Ernährungsbedingungen der betreffenden Wasserschicht verursacht wurde: *Gastropus stylifer* war vor und nach dieser Höchstentwicklung kaum im Pelagial des Gr.H.M. vertreten; das Maximum war am 29. 8. 36 ganz außerordentlich scharf ausgeprägt, sodaß über und unter der 6 m-Stufe *Gastropus stylifer* kaum noch zu finden war. Für einen längeren Aufenthalt in der betreffenden Schicht sprach vor allem der bei den älteren Individuen angetroffene rotbraune Bewuchs mit *Eisenbakterien*, der die Tiere ähnlich stark färbte, wie es von *Arcella* bekannt ist; die Menge der Produzenten der 8 m-Stufe war eine außerordentlich hohe. *Mallomonas* scheint aber, wohl wegen seiner Größe und Sperrigkeit, nicht aufgenommen worden zu sein, da sonst das Maximum oder dessen Beginn schon bei den Untersuchungen am 31. 7. oder 13. 8. (dem Höhepunkt der *Mallomonas*-Entwicklung) hätte ausgebildet sein müssen. Eine Auswertung der ausgeflockten Assimilate von *Mallomonas caudata* scheint aus den gleichen, zeitlichen Gründen auch nicht erfolgt zu sein. Wie am 28. 9. 1935 für *Anuraea aculeata*, so verursachte die Massenentwicklung der *Eisenbakterien* mit großer Wahrscheinlichkeit das Maximum von *Gastropus stylifer* am 29. 8. 1936 im mikroaerophilen Bereich des Pelagials des Gr.H.M.

Der günstigen quantitativen Entwicklung der Plankter während der Sommerstagnation entspricht die Vielzahl der zu dieser Zeit angetroffenen Arten (s. Tabellen XX, XXI und XXII). Besonders charakteristische, teils wärmeliebende Formen sind: *Cyclotella operculata*, *Staurastrum paradoxum*, *Pedalion mirum* und *fennicum*, *Pomphylox sulcata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cucullata*, *Ceriodaphnia pulchella*, *Cyclops Leuckarti*, *Cyclops Dybowskii*, *Leptodora kindtii* und *Corethra*-Larven. Der Artenzuwachs der Phytoplankter ist vorwiegend durch die hohe Wasserwärme während des Sommers bedingt. Demgegenüber ist bei der großen Zahl der in ihrer Höchstentwicklung stehenden Zooplankter neben diesem Faktor das Vorhandensein größerer Nahrungsmengen für die sedimentierenden (bes. *Rotatorien*) und die greifenden Formen (bes. *Copepoden*) sehr wichtig (s. NAUMANN 1923).

Die Produktionsabnahme in der Zeit der Sprungschichtwanderung zur Tiefe.

Die Zeit der Sprungschichtwanderung im Gr.H.M. hat am wenigsten von den oben besprochenen Jahresabschnitten einen wirklich eigenen Charakter. Trotzdem diese Periode noch in die der Sommerstagnation einbezogen werden kann, wurde doch in der Abbildung 26 e ein Bild von ihr entworfen, um den weiten Sprung Sommerstagnation — Herbstzirkulation nicht allzu verbindungslos werden zu lassen.

Die Produktionsbedingungen im Epilimnion sind denen der Sommerstagnation sehr ähnlich. Durch das stärkere Fließen der Meerbecke nehmen P und Fe im Epilimnion zu. Der Phosphorgewinn kann aber nicht zur Auswirkung kommen, da das Verhältnis $P : Fe = 1 : 100$ bestehen bleibt (s. S. 79). Die Schichtung im abwärts wandernden Metalimnion ist eine außerordentlich scharfe. Die Zooplankter können z. B. wegen des bleibenden O_2 -Schwundes unter der jeweiligen Lage des Metalimnions nur langsam in die Tiefe vordringen. Geht das stetige Wandern der Sprungschicht während einer Reihe von warmen und windstillen Tagen, wie Ende September 1935, zwischendurch in eine Stillstandslage über, so nähern sich die Lebensbedingungen im Metalimnion wieder denen der Sommerstagnation. (Die Hochproduktion von *Anuraea aculeata* vom 28. 9. 35 wurde daher auch schon im vorhergehenden Abschnitt besprochen.)

Die Gesamtmenge der Produzenten und *Rotatorien* nimmt bis zur Herbstzirkulation langsam ab, während die *Crustaceen* in beiden Beobachtungsjahren eine Zunahme erfahren. Das Ansteigen der Zooplanktonproduktion beruhte (s. Tab. XXII) auf einer starken Vermehrung von *Bosmina longirostris* und *Diaptomus gracilis*. Unter den Zooplanktern des Gr.H.M. sind diese beiden Arten diejenigen, welche nach NAUMANN (1921 und 1923) als „Filtratoren“ imstande sind, feinst verteilten Detritus aus dem Wasser aufzunehmen. Diese Tatsache kann im Gr.H.M. zu dem gleichzeitigen Sinken der Sichttiefe um fast 3 m in Beziehung gesetzt werden, da (s. S. 24) die Veränderungen seiner Sichttiefe völlig vom Seston-Gehalt des Wassers abhängen. Für die positive Wirkung des Sestons des Gr.H.M. auf die Ernährung der betreffenden *Crustaceen* spricht weiterhin das Verhalten dieser Arten während der Herbstzirkulation und während des Winters (s. auch S. 85 und Abb. 26 a auf Taf. III), denn die möglichen Wirkungen eines sich hier einschaltenden Fortpflanzungszyklus können das Maximum von *Bosmina* und *Diaptomus* während einer monatelangen, an Phytoplankton äußerst armen Zeit, nicht erklären.

Das Produktionstief der herbstlichen Vollzirkulation.

Die herbstliche Vollzirkulation, die 1935 und 1936 in den letzten Tagen des Oktobers eintrat, veränderte schlagartig die chemisch-biologischen Verhältnisse im Gr.H.M. Die durchschnittlich starke Windbewegung und Auskühlung der vorhergehenden Tage beschleunigt das Absinken der Sprungschicht außerordentlich. Erreicht diese den Seeboden, so haben wir mit den im Folgenden aufgezeigten Grundlagen der Produktion zu rechnen:

a) Günstige Faktoren:

- 1) Die Ernährungsbedingungen von *Bosmina* und *Diaptomus* sind durch die gleichmäßige Verteilung des Detritus verbessert worden (s. auch S. 81 und S. 82 und Tabelle XVI).

- 2) SiO_2 , die im Sommer im Hypolimnion gespeichert wurde, ist wieder in größeren Mengen in der ganzen Wassermasse vorhanden (s. Tab. XV).
- 3) Sauerstoff ist in allen Wasserschichten in ausreichendem Maße für Tiere und Pflanzen anzutreffen.

b) Ungünstige Faktoren:

- 1)—5) wie auf S. 85 für den Winter angegeben.
- 6) Entgegen den Befunden EINSELES (1936 S. 666) steigt die Phosphorkonzentration der Oberflächenwässer des Gr.H.M. während der Herbstzirkulation praktisch nicht an. Die Verschiedenheit des Verhaltens von Schleinsee und Gr.H.M. ist durch die absolut und besonders bezüglich des P vielfach größere Eisenmenge des Gr.H.M. bedingt (s. S. 78 f.).
- 7) Während der Herbstzirkulation sinken nämlich beträchtliche Eisenmengen durch die ganze Wassersäule auf den Seeboden. Vor der im Dezember erfolgenden Stabilisierung des Eisenstandarts kann die Zufuhr an gelösten Phosphaten zum Epilimnion (aus Litoral, Profundal, der Umgebung und den abgestorbenen Planktern) nicht zur Geltung kommen, da die absinkenden Eisenflocken allen freien Phosphor mitreißen.

Unter den angeführten Faktoren sind die produktionsbiologisch ungünstigen großenteils schlagartig während der Herbstzirkulation zur Wirkung gekommen. Der Licht- und Wärmeverlust, der Mangel an P und die Giftwirkungen der hohen Eisenkonzentrationen im Epilimnion (bis 4,— mg/l Fe!) haben 1935 wie 1936 übereinstimmend und überraschend schnell (s. Abb. 23 a und e auf Taf. II) das über den Winter anhaltende Produktionsminimum verursacht. Der einzige Unterschied zu den auf S. 84 ff. geschilderten Verhältnissen des Winters ist im Fehlen der erst während des Winters sich ansammelnden, angreifbaren Phosphors gegeben. Produktionsbiologisch wird aber während der Herbstzirkulation der Anschluß an die winterlichen Verhältnisse schon vollkommen erreicht, da die erwähnten Mengen von angreifbarem Phosphor im Winter selbst nicht verbraucht werden können. Selbst die Vergesellschaftung der Plankter stimmt schon mit derjenigen des Winters überein, wie es ja bei der Gleichheit der auslesenden Wirkungen nicht anders zu erwarten war.

Der Jahreskreislauf der Produktionsbiologie des Gr.H.M. schließt sich an dieser Stelle, um gleichzeitig den nächsten Zyklus in der, ich möchte sagen, phänotypischen Variationsbreite seiner regional festgelegten Grundform anzustoßen und abrollen zu lassen.

Versuch der Verallgemeinerung eines Teiles der Ergebnisse und die Einordnung des Gr.H.M. in die Systeme der Seetypenlehre.

Die oben erwähnte regionale Gebundenheit aller Vorgänge in einem See soll nun noch für das Gr.H.M. näher umrissen werden, wobei der ihm „erblich“ anhaftende, also jährlich im Grundschema wiederkehrende biologische Zyklus, als Grundlage der Typisierung besondere Beachtung finden wird.

In einem kleinen See, wie dem Gr.H.M., unterliegen die Lebensäußerungen im Pelagial einem umso schnelleren Wechsel der qualitativen und quantitativen Produktion innerhalb eines Jahres, je nahrungsreicher er ist. Wegen der Nahrungsarmut des Gr.H.M. und wegen des spezialisierten Kreislaufes des Minimumstoffes P, können quantitative Gesetzmäßigkeiten nach 16 monatiger, intensiver Beobachtung schon in verhältnismäßig weitem Umfang gefunden werden. Auch bei vorsichtiger Wertung der oben geschilderten Verhältnisse sind alle die auf S. 90 angeführten jahreszeitlichen Abschnitte der Produktion an Organismen im Gr.H.M. als ihm „genotypisch“ zugeordnet zu betrachten (wenn hier von den in langen Zeiträumen sich abspielenden Vorgängen der natürlichen Reifung der Seen abgesehen wird).

Von den angeführten 6 Zeiträumen des Jahres sind es zwei (Sommer und Winter), die als Hauptperioden zu gelten haben, während die übrigen im jährlichen Ablauf der Produktion nur die verschiedenen, gut ausgeprägten Übergänge und kurzen Zwischenstufen einnehmen.

Zusammenfassend sei ein Abriss der regional fest bestimmten produktionsbiologischen Zusammenhänge entworfen, als Versuch, die während meiner Untersuchungszeit im Gr.H.M. angetroffenen quantitativen Verhältnisse auch auf andere Jahre zu übertragen:

Die Hauptperioden, Sommer und Winter, zeigen in den Beobachtungen zweier Jahre völlig übereinstimmend als primär produktionsbestimmenden Faktor den Eisengehalt des Epilimnions.

Die allgemein hemmende Wirkung des Eisens im Winter beruht auf seiner hohen Konzentration: die großen Mengen suspendierter Eisenflocken lassen das Licht und zeitweise auch P durch Adsorption ins Minimum geraten. Die ungünstigen winterlichen Verhältnisse überdecken und beeinflussen im Gr.H.M. noch drei der auf S. 83 angeführten Perioden, die damit und auch wegen ihrer zeitlichen Kürze nur nebensächliche Bedeutung im gesamten Ablauf der Produktion erlangen:

Die Verhältnisse der Herbstzirkulation gleichen völlig denen des Winters. Licht und P stehen sogar in noch geringerer Menge zur Verfügung.

Die Winterstagnation und die frühjahrliche Teilzirkulation sind vor allem gegenüber dem Winter durch die größere Lichtfülle ausgezeichnet, die eine Produktionssteigerung während dieser Zeiträume ermöglicht. Das starke quantitative Anwachsen der phytoplanktischen Nannoplankter erlangt besonders während der Teilzirkulation im Frühjahr hohe Bedeutung für die Entwicklung der Consumenten.

Die Zeit beginnender Schichtenstabilisierung bringt wieder ein kurzes, aber intensives Minimum der phytoplanktischen Produktion, das durch die plötzliche Erschöpfung der P-Vorräte des Epilimnions hervorgerufen wird.

Das Absinken des Eisens aus dem Epilimnion während des Stagnationsbeginnes bricht dort dessen, die Produktionsbiologie beherrschende, Schlüsselstellung. Das Licht erreicht damit im Gr.H.M. sein (für andere Seen „normales“) Maximum, während P fast ungehindert verwertet und von Planktongeneration zu Planktongeneration weitergegeben werden kann. Das langdauernde sommerliche Produktionshoch des gesamten Planktons des Gr.H.M. während des Sommers ist die Folge.

Steigender Gehalt an Fe und Abfall der Lichtintensität kennzeichnen die kurze Periode der Sprungschichtwanderung als in ihren chemischen und physikalischen Verhältnissen abhängig vom Hypolimnion, das auch während des Sommers in winterlicher Erstarrung verblieben ist. Die Folge ist ein langsamer Abfall der Produktion, welcher zur Zeit der stärksten chemischen Veränderungen, kurz vor der Vollzirkulation, beinahe sprunghaft das Produktionstief des Winters erreichen läßt.

Innerhalb eines Jahres stehen im Gr.H.M. sieben Monaten ausgeprägten Produktionsminimums fünf Monate mit sehr schwach eutropher Entwicklung des Planktons gegenüber. Vegetationsfärbungen oder Wasserblüten treten nicht auf. Der Einordnung des Gr.H.M. in das von THIENMANN (1921, 1925, 1928) ursprünglich entwickelte System der Seetypen stehen einige Schwierigkeiten entgegen. Die drei Haupttypen THIENMANN'S (1925 S. 199 ff.) sind aber nicht als starre und unnachgiebige Schemata zu betrachten. Die Seetypen sollen vielmehr „Idealfälle darstellen, die in der Natur individuell gestaltet auftreten und durch Zwischenstufen verbunden sind“ (THIENMANN 1925 S. 204).

Eine solche Zwischenstufe nimmt auch das Pelagial des Gr.H.M. ein. Seine Produktion neigt wohl ausschlaggebend zur (wenn auch nicht ausgeprägtesten) Oligotrophie (leichte Eutrophierung besonders im Litoral und Profundal), während die chemischen Verhältnisse weitgehend eutrophe Züge tragen.

Die Ausweitung der Seetypenlehre durch die Einbeziehung der Untersuchungen in skandinavischen (NAUMANN 1921, 1929, 1932) und tropischen Ländern (THIENEMANN 1931) setzte an die Stelle des zweigliedrigen Systems von NAUMANN (1919) und des dreigliedrigen von THIENEMANN (1921) die Vielgliederung der Gewässertypen (NAUMANN 1929, THIENEMANN 1931). Dieser Wechsel ist vor allem auf die in den Arbeiten NAUMANNs begründete „regionale Limnologie“, als „die Erklärung des Seetypus als Ausdruck der produktionsbiologischen Voraussetzungen der Umgebung“ (1932 S. 121) zurückzuführen. Pflanzenphysiologische Gesichtspunkte gewannen damit besondere Bedeutung. Der Gehalt der Gewässer an wichtigen Nährstoffen (besonders N und P) schien rein zahlenmäßig schon wichtige Aufschlüsse über ihre Produktion geben zu können. Die Untersuchungen der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition zeigten aber, daß „nicht nur der Reichtum an notwendigen Nährstoffen, also in erster Linie N und P, sondern die Gesamtentfaltung des Lebens“ (THIENEMANN 1931 S. 206) unter Berücksichtigung der besonders durch klimatische Gründe verschiebbaren Schnelligkeit der Generationsfolge, den Trophiegrad eines Sees bestimmt.

Wie NAUMANN (1932 S. 123) zum Ausdruck bringt, sind die im vorläufigen Endpunkte dieser Entwicklung stehenden Systeme der Seetypen (NAUMANN 1929 und THIENEMANN 1931) nur noch durch unbedeutende Verschiedenheiten getrennt.

Nach dem vielgliedrigen System THIENEMANNs (1931) ist das Gr.H.M. zur Gruppe der:

„Einseitig charakterisierten Seetypen“ mit „im allgemeinen oligotropher Entwicklung des Lebens“ zu stellen. Die Einseitigkeit ist im Gr.H.M. durch seine starke Siderotrophie gegeben (Fe im Polytypus), der sich schwache Wirkungen des Mesotypus (Oligotypus im sommerlichen Epilimnion) der Humussubstanzen (KMnO_4 -Verbrauch) zugesellen.

Ein gleich starker Polytypus des Fe ist bisher nur vom Takasuka-Pond in Japan durch YOSHIMURA (1930/31) bekannt geworden. 1932 nennt YOSHIMURA in seiner Arbeit über die Phosphate und die Stickstoffverbindungen des Takasuka auf S. 161 die Hauptvertreter des Phytoplanktons dieses Gewässers und schreibt über ihr quantitatives Auftreten: „All the above form water bloom in their Maximum flourish.“ Die Beteiligung von *Anabaena* an der Zusammensetzung des Planktons, die langdauernde Vegetationsfärbung des Wassers, starke kulturelle Einflüsse, der mehr teichartige Charakter (s. S. 16) und die klimatisch günstigere (wärmere!) Lage

des Takasuka lassen starke Verschiedenheiten zwischen ihm und dem Gr.H.M. erkennen, sodaß ohne nähere Kenntnis seiner produktionsbiologischen Verhältnisse ein eingehender Vergleich der beiden Gewässer unterbleiben muß. Die eutrophe Entwicklung des Phytoplanktons scheint im Takasuka durch regionale (besonders kulturelle!) und klimatische (größere Wärme = schnellere Folge der Generationen und schnellerer Ablauf der Mineralisation) bedingt zu sein. Starke Einflüsse der Siderotrophie, wie sie im Gr.H.M. beobachtet wurden, scheinen sich unter diesen Verhältnissen nur schwer in produktionsbestimmendem Ausmaß durchsetzen zu können.

Angeführtes Schrifttum*

* Abkürzungen:

A.f.H. = Archiv für Hydrobiologie.

I.V.L. = Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie.

I.R. = Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie.

- 1925 **Abderhalden, E.**: Handbuch der biol. Arbeitsmethoden, Abtlg. IX. Teil 2. —
1924 **Alsterberg, G.**: Die Nahrungszirkulation einiger Binnenseetypen. A.f.H. 15. —
1926 **Alsterberg, G.**: Die Winklersche Bestimmungsmethode für in Wasser gelösten elementaren Sauerstoff, sowie ihre Anwendung bei Anwesenheit oxydierbarer Substanzen. Biochem. Zeitschrift 170, 30. — 1927 **Alsterberg, G.**: Die Sauerstoffschichtung der Seen. Bot. Notiser. Lund. Heft 4. — 1930 **Alsterberg, G.**: Die thermischen und chemischen Ausgleiche in den Seen zwischen Boden- und Wasserkontakt, sowie ihre biologische Bedeutung. I.R. 24. — 1931 **Alsterberg, G.**: Die Ausgleichsströme in den Seen bei Abwesenheit der Windwirkung I.R. 25. — 1931 **Antonescu, C. S.**: Über das Vorkommen eines ausgesprochenen metalimnischen Sauerstoffminimums. A.f.H. 22. — 1896 **Apstein, C.**: Das Süßwasserplankton. Kiel und Leipzig. — 1907 **Aschan, O.**: Die Bedeutung der wasserlöslichen Humusstoffe (Humussole) für die Bildung der See- und Sumpferze. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 15. — 1923 **Atkins, W. R. G.**: The Phosphate Contents of Sea-Water to the Growth of the algal Plankton. Journ. of the Marine Biological Association. 13. — 1929/30 **Atkins, W. R. G.**: Seasonal Variations in the Phosphate and Silicate Content of Seawater in Relation to the Phytoplankton Crop. desgl. 16. — 1905 **Aufsess, O.**: Die physikalischen Eigenschaften der Seen. Braunschweig. — 1935/36 **Baier, C. R.**: Studien zur Hydrobakteriologie stehender Binnengewässer. A.f.H. 29. — 1914 **Behrens, H.**: Die vertikale Verteilung des Crustaceenplanktons. Berlin. — 1934 **Beyer, H.**: Die Tierwelt des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“. Natur u. Heimat 1. Sonderheft. — 1934 **Brauer, H.**: Die Süßwasserfauna Deutschlands. — 1926 **Brehm, V.**: Einführung in die Limnologie. Berlin, Julius Springer. — 1925 **Bresslau, E.**: Ein einfacher, für hydrobiologische, zoologische und botanische Zwecke geeigneter Apparat zur Messung der Wasserstoffionenkonzentration. A.f.H. 15. — 1926 **Bresslau, E.**: Die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration für die Hydrobiologie. I.V.L. 3. — 1930 **Budde, H.**: Die Algenflora der Ruhr. A.f.H. 21. — 1935 **Burckhard, A.**: Die Ernährungsgrundlagen der Copepodenschwärme der Niederelbe. I.R. 32. — 1914 **Colditz, F. V.**: Beiträge zur Biologie des Mansfelder Sees. Zeitschr. f. wiss. Zool. 108. — 1921 **Dénigés, G.**: Détermination quantitative des plus faibles quantités de phosphates dans les produits biologiques par la méthode cérolemolybdique. C. R. d. l. Soc. de Biologie. Vol. 84. Nr. 17. — 1934 **Dorff, P.**: Die Eisenorganismen. Pflanzenforschung Heft 16. — 1935/36 **Einsele, W.**: Über die Beziehungen des Eisenkreislaufes zum Phosphatkreislauf im eutrophen See. A.f.H. 29. — 1936 **Einsele, W.**: Über die Bedeutung des Eisens, des pH und der Fäulnisvorgänge für den Kreislauf des Phosphates. Fischereizeitg. Nr. 52, Band 39. — 1935 **Elster, H.-J.** und **Gessner, F.**:

Die chemische und biologische Sommerschichtung im Bodensee. Produktionsbiologische Vorstudien. — 1935 **Falter, A., Goethe, F. und Kriegsmann, F.**: Vogelbeobachtungen in Westfalen (I.). *Natur u. Heimat* 2. Jahrgang. — 1937 **Falter, A. und Kriegsmann, F.**: Vogelbeobachtungen in Westfalen (II.). *Natur u. Heimat* 4. Jahrgang. — 1918 **Fischer, L.**: Tabellen zur Bestimmung einer Auswahl von Thallophyten und Bryophyten. Bern. — 1907 **Fox, J.**: On the coefficients of absorption of the atmospheric gases in distilled Water and sea-water. Pt. I. Nitrogen and Oxygen. *Public. de Circonstance* No. 41. — 1935 **Fritz, F.**: Die Sinkgeschwindigkeit einiger Phytoplanktonorganismen. *I.R.* 32. — 1933 **Gessner, F.**: Die Nährstoffaufnahme der Submersen. *Ber. der Deutschen Botanischen Ges.* — 1934 **Gessner, F.**: Nitrat und Phosphat im dystrophen See. *A.f.H.* 27. — 1935 **Gessner, F.**: Phosphat und Nitrat als Produktionsfaktoren der Gewässer. *I.V.L.* 7. — 1930 **Graebner, P.**: Die Pflanzengesellschaften des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“ bei Hopsten. *Abhandlg. aus dem Westfälischen Provinzialmuseum für Naturkunde*, 1. — 1934 **Graebner, P.**: Die Pflanzenwelt des Naturschutzgebietes „Heiliges Meer“. *Natur und Heimat*, 1. Sonderheft. — 1932 **Halbfaß, W.**: Über japanische Seen. *I.R.* 27. — 1933/34 **Halbfaß, W.**: Besitzt der Wasserhaushalt eines Sees einen Einfluß auf seine biologische Einstellung? *I.V.L.* 6. — 1935 **Halbfaß, W.**: Der Begriff Strom oder Strömung in Binnenseen. *I.V.L.* 7. — 1923 **Hustedt:** Süßwasserdiatomeen Deutschlands. *Frankh, Stuttgart*. — 1930 **Kemper, H.**: Beitrag zur Fauna des Großen und Kleinen Heiligen Meeres und des Erdbruches bei Hopsten. *Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinzialmuseum für Naturkunde*, 1. — 1927 **Klähn, H.**: Was bezweckt ein hydrogeologisches Institut? *A.f.H.* 18. — 1892 **Klocke, E.**: Zur Cladocerenfauna Westfalens. *Jahresber. der Zool. Sektion des Westf. Provinzial-Vereins für Wissenschaft und Kunst*. — 1893/94 **Klocke, E.**: Die Winterfauna des Heiligen Meers. *Ebenda*. — 1922/24 **Koppe, F.**: Die Schlammflora der ostholsteinischen Seen und des Bodensees. *A.f.H.* 14. — 1937 **Kriegsmann, F.**: Das freie Wasser unserer Seen. *Natur und Heimat*, 4. Jahrgang. — 1928 **Kühl, F.**: Untersuchungen über das Zentrifugenplankton und das Netzplankton des Walchensees und des Kochelsees in den Jahren 1921 bis 1923. *A.f.H. Suppl.-Bd. VI.* — 1935 **Kusnetzow, S. L.**: Mikrobiological resarches in the study of the oxygenous regimen of lakes. *I.V.L.* 1935, 7. — 1914 **Lantzsch, K.**: Studien über das Nannoplankton des Zugersees und seine Beziehungen zum Zooplankton. *Zeitschr. für wissenschaftl. Zoologie*. — 1928 **Lenz, F.**: Einführung in die Biologie der Süßwasserseen. *Springer Berlin*. — 1926 **Lundbeck, J.**: Die Bodentierwelt norddeutscher Seen. *A.f.H.* — 1934 **Lundbeck, J.**: Über den „primär oligotrophen“ Seetypus und den Wollingster See als dessen mitteleuropäischen Vertreter. *A.f.H.* 27. — 1932 **Maucha, R.**: Hydrochemische Methoden in der Limnologie. *Die Binnengewässer*. XII. — 1929 **Minder, L.**: Chemische Untersuchungen am Stausee Wäggital. *I.V.L.* 4. — 1933 **Müller, H.**: Limnologische Feldmethoden. *I.R.* — 1933 **Naber, H.**: Die Schichtung des Zooplanktons in holsteinischen Seen und der Einfluß des Zooplanktons auf den Sauerstoffgehalt der bewohnten Schichten. *A.f.H.* 25. — 1921 **Naumann, E.**: Spezielle Untersuchungen über die Ernährungsbiologie des tierischen Limnoplanktons. *I. Lunds Universitets Arsskrift. N.F. Avd. II. Bd. 17. Nr. 4.* — 1921 **Naumann, E.**: Einige Grundzüge der regionalen Limnologie. *Ebenda* 17. Nr. 8. — 1923 **Naumann E.**: Spezielle Untersuchungen über die Ernährungsbiologie des tierischen Limnoplanktons. *II. Ebenda* 19. Nr. 6. — 1924 **Naumann, E.**: Über einige neue Begriffe der Sestonkunde. *Ebenda* Bd. 20. — 1929 **Naumann, E.**: Einige neue Gesichtspunkte zur Systematik der Gewässertypen. Mit besonderer Berücksichtigung der Seetypen. *A.f.H.* 20. — 1930 **Naumann, E.**: Die Eisenorganismen. *I.R.* 24. — 1932 **Naumann, E.**: Grundzüge der regionalen Limnologie. *Die Binnengewässer* 11. — 1933/34 **Naumann, E.**: Zur Charakterisierung eines limnologischen Laboratoriums. *I.V.L.* 6. — 1919 **Odén, S.**: Die Humussäuren. *Kolloidchemische Beihefte. Dresden*. — 1933/34 **Ohle, W.**: Über organische Stoffe in Binnen-

seen. I.V.L. 6. — 1933/34 **Ohle, W.**: Chemische und physikalische Untersuchungen norddeutscher Seen. A.f.H. 26. — **Ohle, W.**: Chemische und physikalische Charakteristik einiger Teiche des Militsch-Trachenberger Grenzkreises. Zeitschr. für Fischerei. — 1935 **Ohle, W.**: Organische Kolloide in ihrer Wirkung auf den Stoffhaushalt der Gewässer. Die Naturwissenschaften 23. — **Pascher, A.**: Die Süßwasserflora Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. — 1934 **Poelmann, H.**: Geologisches vom Naturschutzgebiet „Heiliges Meer“ Natur und Heimat. 1. Sonderheft. — 1935 **Rossolimo, L.**: Die Bodengasausscheidung und das Sauerstoffregime der Seen. I.V.L. 7. — 1929/30 **Ruttner, F.**: Das Plankton der Lunzer Seen. I.R. 23. — 1934 **Ruttner, F.**: Über den Einfluß des Wetters auf das Leben im See. Bioklimatische Beiblätter H. 1. — 1936 **Ruttner, F.**: Die Bedeutung der Mikrochemie für die limnologische Forschung. Mikrochemie 1936 Molisch Festschrift. — 1937 **Ruttner, F.**: Stabilität und Umschichtung in tropischen und temperierten Seen. A.f.H. Suppl.-Bd. XV. — 1931 **Rylov, W. M.**: Über das Triptonproblem. I.V.L. 5. — 1935 **Rylov, W. M.**: Das Zooplankton der Binnengewässer. Die Binnengewässer XV. — 1916 **Schädel, A.**: Produzenten und Consumenten im Teichplankton. A.f.H. 11. — 1910 **Steuer, A.**: Planktonkunde. Teubner, Leipzig. 1918 **Thienemann, A.**: Lebensgemeinschaft und Lebensraum. Naturw. Wochenschrift. N.F. 17. — 1921 **Thienemann, A.**: Seetypen. Die Naturwissenschaften. — 1925 **Thienemann, A.**: Der See als Lebensinheit. Die Naturwissenschaften 13. — 1926 **Thienemann, A.**: Die Binnengewässer Mitteleuropas. Die Binnengewässer. I. — 1926 a **Thienemann, A.**: Holopedium gibberum in Holstein. Zeitschrift für Morphologie und Oekologie der Tiere. 5. H. 4. — 1926 b **Thienemann, A.**: Limnologie. Eine Einführung in die biologischen Probleme der Süßwasserforschung. Breslau. — 1928 **Thienemann, A.**: Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. Die Binnengewässer. 4. — 1930/31 **Thienemann, A.**: Der Produktionsbegriff in der Biologie. A.f.H. 22. — 1931 **Thienemann, A.**: Tropische Seen und Seetypenlehre. A.f.H. Suppl. Bd. IX. — 1913 **Tietze, O.**: Der Erdfall vom 14. April 1913 in der Gemeinde Hopsten. Jahrbuch der Preuß. Geol. Landesanstalt für 1913. — 1925 **Ule, W.**: Physiographie des Süßwassers. Enzyklopädie der Erdkunde. Leipzig und Wien. — 1927 **Uspenski, E.**: Eisen als Faktor für die Verbreitung niederer Wasserpflanzen. Pflanzenforschung Heft 9. — 1925 **Utermöhl, H.**: Limnologische Phytoplankton-Studien. A.f.H. Suppl. Bd. V. — 1927 **Utermöhl, H.**: Untersuchungen über den Gesamtplanktongehalt des Kanarenstromes. A.f.H. 18. — 1931 **Utermöhl, H.**: Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. I.V.L. V. — 1934 **Varga, L.**: Wandlung und heutiger Stand der Pytterschen Theorie. A.f.H. 26. — 1901 **Volk, R.**: Methoden zur quantitativen Ermittlung des Planktons der Elbe. Mitteilungen des Naturhistorischen Museums in Hamburg. 18. Jahrgang. — 1906 **Volk, R.**: Studien über die Einwirkung der Trockenperiode im Sommer 1904 auf die Elbe. Desgl. 23. Jahrg. — 1934 **Wasmund, E.**: Die physiologische Bedeutung des limnischen Hydroklimas. A.f.H. 27. — 1913 **Wegner, T.**: Der Erdfall von Hopsten. Naturwissenschaftliche Wochenschrift. N.F. 12. — 1935 **Weimann, R.**: Chemisch-Biologische Untersuchungen an einem Teich. A.f.H. 28. — 1931 **Werescagin, G. J.**: Methoden der hydrochemischen Analyse in der limnologischen Praxis. Stuttgart. Arbeiten der Standardisations-Kommission der I.V.L. — **Winkler, L.**: siehe Literatur-Zusammenfassungen von Maucha und Werescagin. — 1908 **Woltereck, R.**: Die natürliche Nahrung pelagischer Cladoceren und die Rolle des Zentrifugenplanktons im Süßwasser. I.R. I. — 1908 **Woltereck, R.**: Über natürliche und künstliche Varietätenbildung bei Daphniden. Verhdlg. der Deutschen Zool. Ges. — 1909 **Woltereck, R.**: Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphniden. Desgleichen. — 1928 **Woltereck, R.**: Über die Spezifität des Lebensraumes, der Nahrung und der Körperformen bei pelagischen Cladoceren und über „ökologische Gestaltsysteme“. Biologisches Zentralblatt 48. — 1930 **Yoshimura, S.**: Seasonal Variation of Silica in Takasuka-numa, Saitama. Jap. Journ. of Geol. and Geogr. 7.

— 1930/31 **Yoshimura, S.:** Seasonal Variation of Iron and Manganese in the Water of Takasuka-numa, Saitama. ebenda 8. — 1931/32 **Yoshimura, S.:** Contribution of the Knowledge of the Stratification of Iron and Manganese in Lake Water of Japan. Desgleichen Bd. 9. — 1932 **Yoshimura, S.:** Seasonal Variation in Content of Nitrogenous Compounds and Phosphate in the Water of Takasuka-Pond, Saitama-Japan. A.f.H. 24. — 1932/34 **Yoshimura, S.:** Seasonal Variation in Content of Sodium (Na) in the Water of Takasuka-Pond, Jap. Journ. of Geol. and Geogr. 10—11. — 1931/32 **Zih, A.:** Beiträge zur Bakteriologie der Lunzer Seen. I.R. 26.

Tafel I

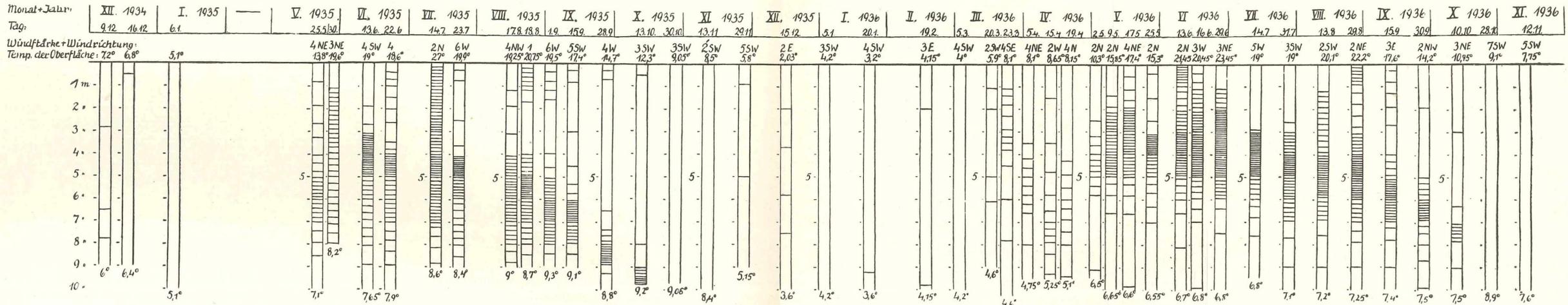


Abb. 9. Temperatur-Schichtung des Gr.H.M. In den Profilen entspricht $\frac{1}{3}$ dem Zwischenraum von zwei Horizontalstrichen.

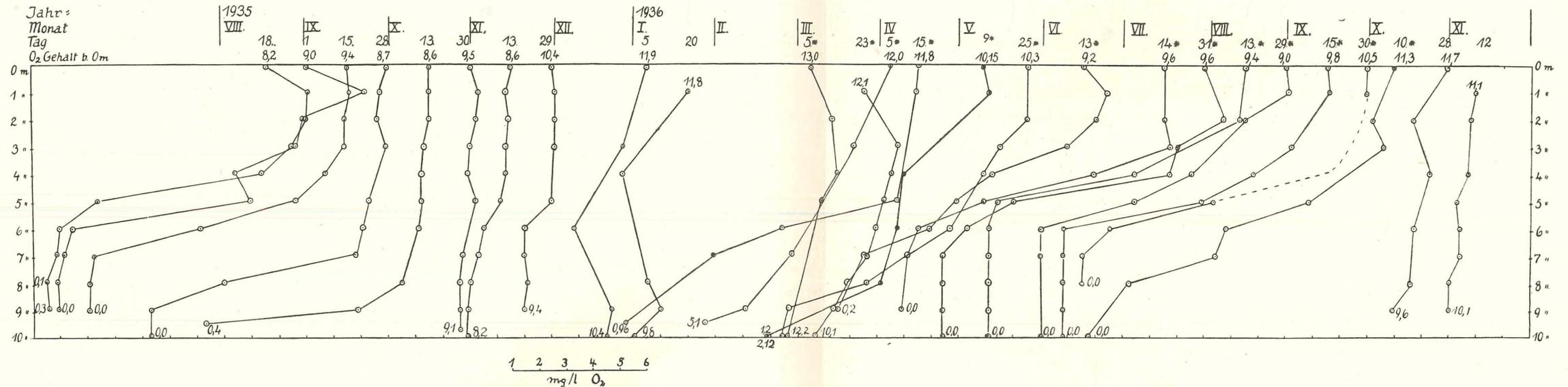


Abb. 10. Sauerstoffkurven des Gr.H.M. 1935—1936. * = Korrigierte Bestimmungen s. S. 31.

Tafel II

Abb. 23. Die Planktonproduktion im Großen Heiligen Meer.

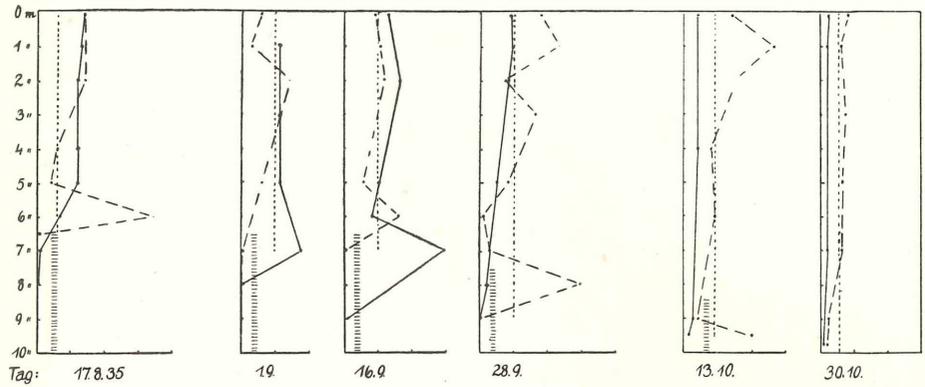


Abb. 23 a. Spätsommer und Herbst 1935.

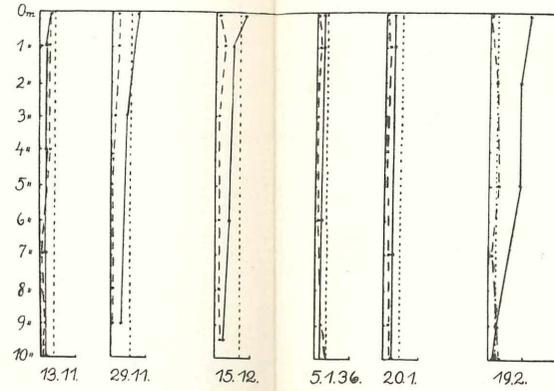


Abb. 23 b. Winter 1935/36.

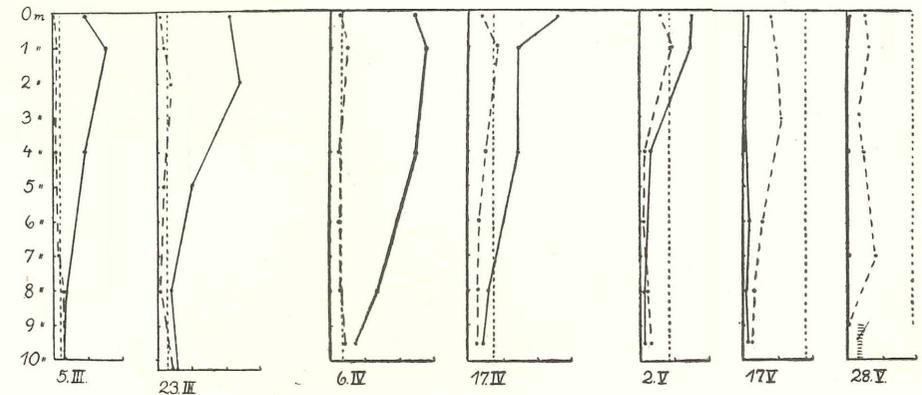


Abb. 23 c. Frühjahr 1936.

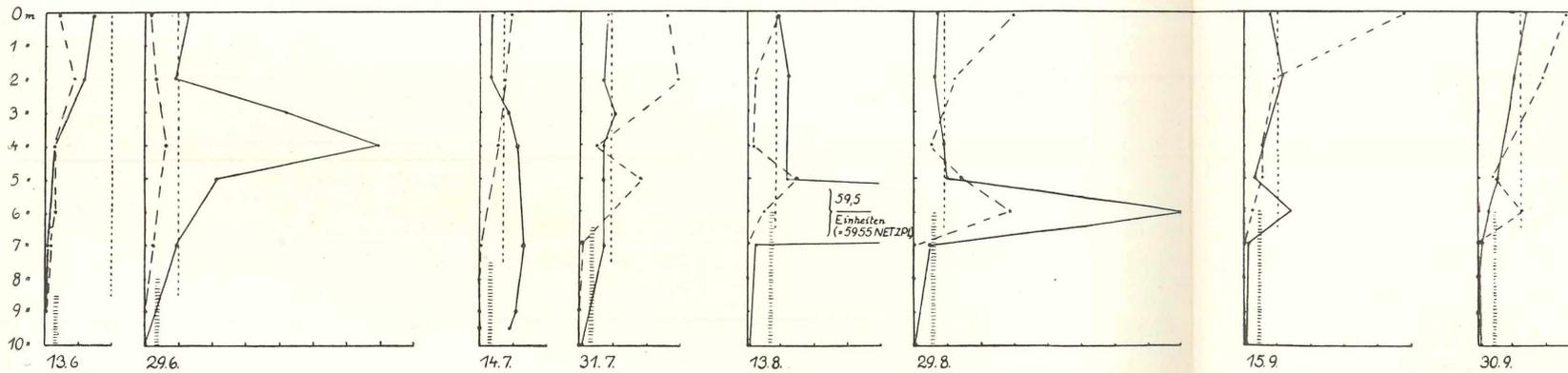


Abb. 23 d. Sommer 1936.

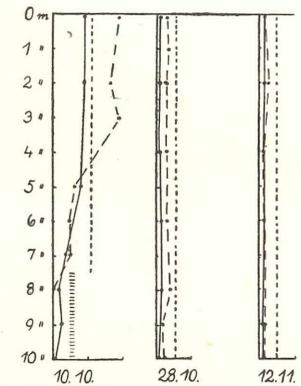


Abb. 23 e. Herbst 1936.

— = Produzenten; 1 Teilstrich = 1000 Nannoplankter = 100 Netzplankter im ccm.
 - - - = Rotatoria; 1 Teilstrich = 1000 Stück im Liter.

..... = Crustacea; 1 Teilstrich = 100 Stück im Liter.
 ||||| = Einflußzone der Eisenbakterien (bes. Siderococcus).

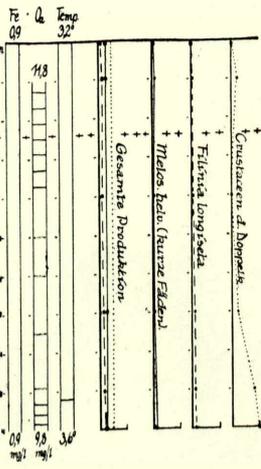


Abb. 26 a. Das Produktionsminimum im Winter (Ende November bis Februar).
20. 1. 36. Wind 4 um SW. ●

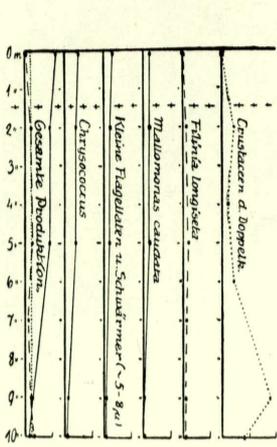


Abb. 26 b. Die Frühjahrs-Teilzirkulation (März bis April).
6. 4. 36. Wind 2 um N.

19. 2. 36. Wind 3 um O. ●

Biologische Verhältnisse nach 14-tägiger Eisbedeckung (Stagnation) am Tage des Eisbruchs. — Die chemischen Verhältnisse wie am 6. 4. 36.

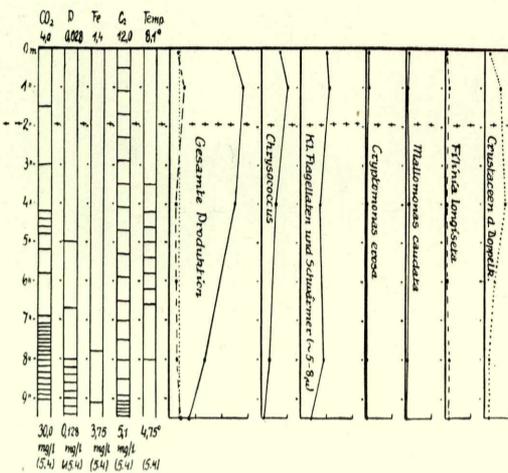


Abb. 26 c. Die Zeit beginnender Schichtenstabilisierung (Mai bis Mitte Juni).
28. 5. 36. Wind 2 um N. ●

Abb. 26 a-f. Der jahreszeitliche Ablauf der Produktion an Organismen im Pelagial des Gr.H.M. bei Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Verhältnisse.

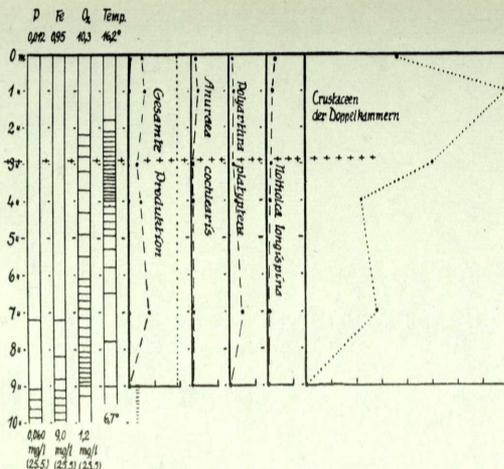


Abb. 26 d. Die Sommerstagnation (Ende Juni bis Mitte September).
29. 8. 36. Wind 2 um NO. ○

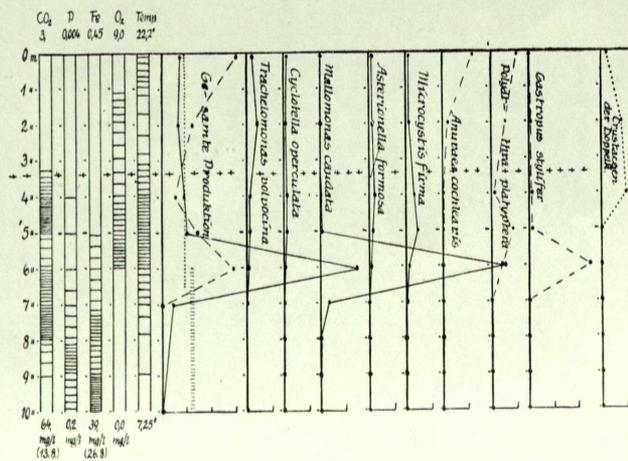


Abb. 26 e. Die Sprungschichtwanderung zur Tiefe (Ende September bis Mitte Oktober).
10. 10. 36. Wind 3 um NO. ○

Zeichenerklärung

In den Profilen ist ein Zwischenraum gleich:

- 0,33° C
- 0,33 mg/l O₂
- 1,— mg/l Fe
- 0,010 mg/l P
- 1,— mg/l CO₂

Im gepunkteten Bereich herrscht dabei invertierte Schichtung.

Für die Kurven gilt:

- = Produzenten
- - - = Rotatorien
- = Crustaceen (f. d. Doppelkammer s. S. 66.)

Ein Teilstrich der Wagerechten ist gleich:

- 1000 Nannoplankter im ccm
- 100 Netzplankter im ccm
- 100 Crustaceen im l
- 1000 Rotatorien im l
- ++++ = Sichttiefe
- ||||| = Einflußzone der Eisenbakterien.

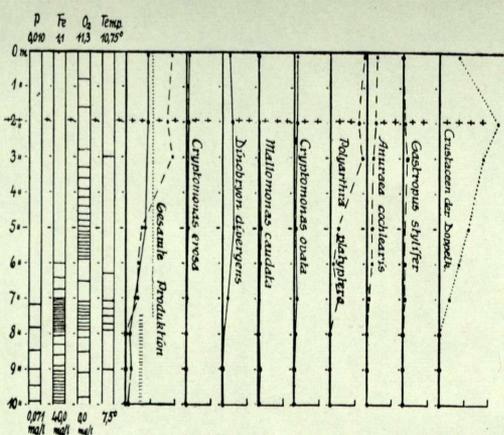


Abb. 26 f. Die Herbstzirkulation (Ende Oktober bis Mitte November).
12. 11. 36. Wind 5 um SW. ●

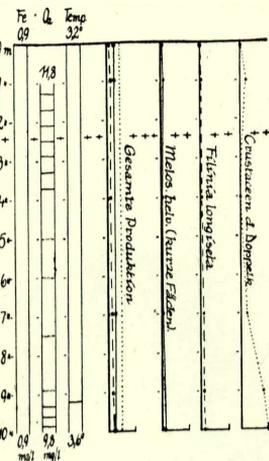


Abb. 26 a. Das Produktionsminimum im Winter (Ende November bis Februar).
20. 1. 36. Wind 4 um SW. ●

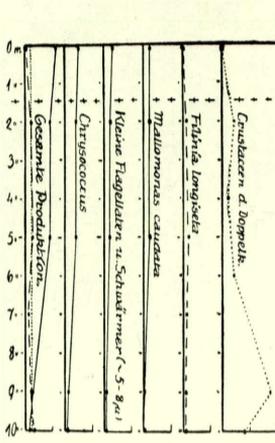


Abb. 26 b. Die Frühjahrs-Teilzirkulation (März bis April).
6. 4. 36. Wind 2 um N.

19. 2. 36. Wind 3 um O. ●

Biologische Verhältnisse nach 14-tägiger Eisbedeckung (Stagnation) am Tage des Eisbruches. — Die chemischen Verhältnisse wie am 6. 4. 36.

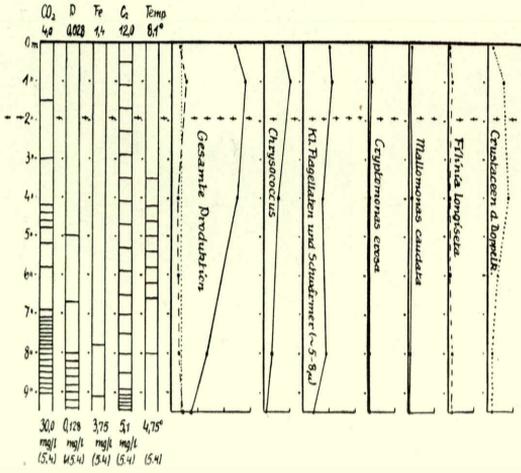


Abb. 26 c. Die Zeit beginnender Schichtenstabilisierung (Mai bis Mitte Juni).
28. 5. 36. Wind 2 um N. ●

Abb. 26 a-f. Der jahreszeitliche Ablauf der Produktion an Organismen im Pelagial des Gr.H.M. bei Berücksichtigung der physikalischen und chemischen Verhältnisse.

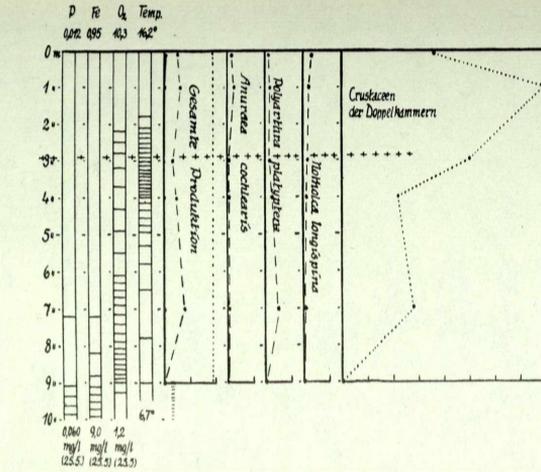


Abb. 26 d. Die Sommerstagnation (Ende Juni bis Mitte September).
29. 8. 36. Wind 2 um NO. ○

Zeichenerklärung

In den Profilen ist ein Zwischenraum gleich:

- 0,33° C
- 0,33 mg/l O₂
- 1,— mg/l Fe
- 0,010 mg/l P
- 1,— mg/l CO₂

Im gepunkteten Bereich herrscht dabei invertierte Schichtung.

Für die Kurven gilt:

- = Produzenten
- - - = Rotatorien
- = Crustaceen (f. d. Doppelkammer s. S. 66.)

Ein Teilstrich der Wagerechten ist gleich:

- 1000 Nannoplankter im ccm
- 100 Netzplankter im ccm
- 100 Crustaceen im l
- 1000 Rotatorien im l
- ++++ = Sichttiefe
- ||||| = Einflußzone der Eisenbakterien.

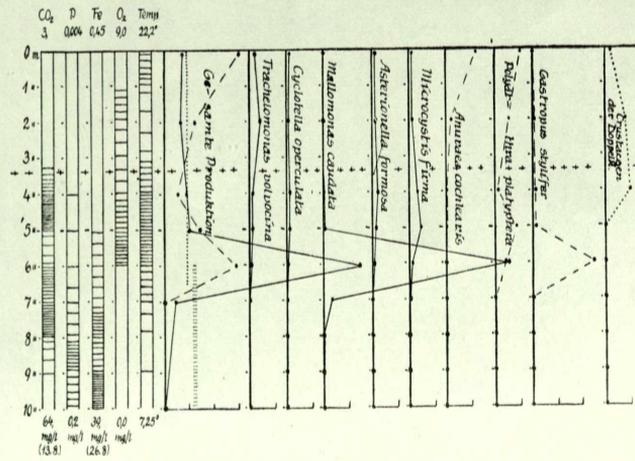


Abb. 26 e. Die Sprungschichtwanderung zur Tiefe (Ende September bis Mitte Oktober).
10. 10. 36. Wind 3 um NO. ○

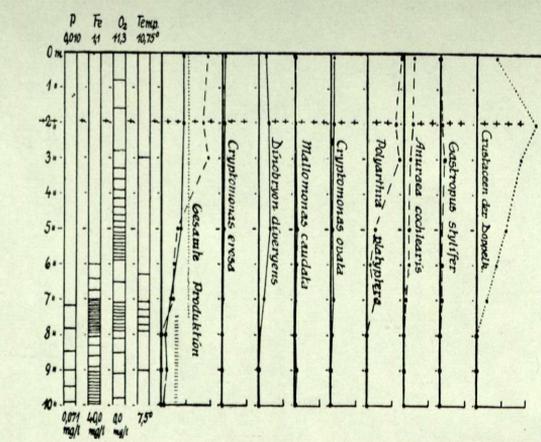


Abb. 26 f. Die Herbstzirkulation (Ende Oktober bis Mitte November).
12. 11. 36. Wind 5 um SW. ●