

# DIE METHODEN DER QUANTITATIVEN PLANKTONFORSCHUNG

Mit 5 Abbildungen

Von PROF. DR. FRANZ RUTTNER  
(Biologische Station Lunz der Österreichischen  
Akademie der Wissenschaften)

Die ökologische Forschung, deren Aufgabe es ist, die Abhängigkeiten der natürlichen Pflanzen- und Tiergesellschaften von den wechselnden Bedingungen ihrer Umwelt zu erfassen, ist bei der Beantwortung vieler Fragen genötigt, zu statistischen Methoden zu greifen. Denn nur auf diesem Wege ist es möglich, den durch exakte physikalische und chemische Messungen ermittelten örtlichen und zeitlichen Veränderungen der Umweltfaktoren zahlenmäßig festgelegte Angaben über die Zusammensetzung und Volksdichte der einzelnen Populationen gegenüberzustellen und eine gesicherte Grundlage für kausale Betrachtungen zu gewinnen.

Auf dem Gebiet der Landökologie, bei der Untersuchung der terrestrischen Pflanzen- und Tierbestände und ebenso auch bei den litoralen und benthalen Lebensgemeinschaften der Gewässer ist jedoch die Anwendung statistischer Methoden mit erheblichen Schwierigkeiten und Fehlerquellen behaftet, was durch die meist sehr unregelmäßige und schwer kontrollierbare Verteilung der Lebewesen innerhalb der einzelnen Biotope bedingt wird. Anders liegen die Dinge beim Plankton, der Lebensgemeinschaft der im freien Wasser der Meere und Seen schwebend lebenden Organismen. In der freien Wassermasse eines tieferen Gewässers — im Pelagial — sind innerhalb ein und derselben horizontalen Schicht nicht nur die physikalischen und chemischen Eigenschaften — die Temperatur, Dichte und der Gehalt an gelösten Stoffen —, sondern auch die Volksdichten des Planktons weitgehend ausgeglichen. Daher können Beobachtungen, die an einem bestimmten Punkte gewonnen wurden, mit weit größerer Wahrscheinlichkeit, als es in anderen Lebensräumen möglich ist, verallgemeinert und als kennzeichnend für die gesamte Schicht der gleichen Tiefe angesehen werden, wofern die Entfernungen nicht zu groß sind, oder andere, die Verteilung beeinflussende Faktoren (wie z. B. eine allzu große Gliederung oder zu geringe Tiefe des Beckens) störend eingreifen.

Diese dem Lebensraum des freien Wassers eigentümlichen Verhältnisse fordern die Anwendung statistischer Methoden geradezu heraus, wenn es sich darum handelt, die großen Veränderungen, welche die Zusammensetzung und Volksdichte des Planktons in verschiedenen Binnengewässern oder Meeresteilen bzw. in verschiedenen Tiefen oder zu verschiedenen Zeiten in ein und demselben Gewässer aufweist, kausal zu erforschen. Man war deshalb schon frühzeitig bestrebt, die Gesamtmenge des in einem bestimmten Wasservolumen enthaltenen Planktons und den Anteil der einzelnen Arten an derselben quantitativ zu bestimmen. So hat schon in den Achtzigerjahren des vorigen Jahrhunderts besonders der Kieler Physiologe V. HENSEN (1887, 1901), der Begründer der ökologischen Planktonforschung, mit Hilfe

der damals üblichen Fangmethoden ein quantitatives Verfahren ausgearbeitet und auf der von ihm geleiteten „Deutschen Planktonexpedition“ (1889) in großem Umfang angewendet. HENSEN benützte Netze aus Seidengaze (Beuteltuch, Müllergaze der Mühlenindustrie), wie sie schon um die Mitte des vorigen Jahrhunderts der berühmte Physiologe Johannes MÜLLER zum Erbeuten von Planktonorganismen verwendet hatte und führte damit, um alle Schichten zu erfassen, Vertikalzüge aus. Wenn man ein solches Netz durch das Wasser zieht, so ist die filtrierte Wassermenge naturgemäß (wegen des Filtrationswiderstandes des Netzbeutels) geringer als das Volumen der durchfahrenen Wassersäule (vom Durchmesser der Netzöffnung). Diesen Fehler suchte HENSEN dadurch zu kompensieren, daß er oberhalb der Netzöffnung einen kegelstumpfförmigen Aufsatz aus nichtfiltrierendem Stoff anbrachte, wodurch die Eintrittsöffnung im Verhältnis zur filtrierenden Fläche wesentlich verkleinert wurde. Aber auch dies brachte noch keinen befriedigenden Ausgleich, und man war genötigt, als Korrekturfaktor für die bei der Durchzählung des Fanges gewonnenen Zahlen den „Netzkoefizienten“ zu bestimmen, d. h. das Verhältnis der in der durchfischten Wassersäule tatsächlich vorhandenen Planktonmenge zu der erbeuteten. Dieser Netzkoefizient bleibt jedoch leider nicht immer gleich, er ist von verschiedenen Umständen abhängig, so vom Alter des Netzes (neue Netze filtrieren besser als alte) und von der Beschaffenheit des Planktons, das mitunter durch Verlegung der Maschen das Netz undurchlässig macht.

An Stelle der Vertikalzüge mit dem quantitativen HENSEN-Netz wurde bei einigen Untersuchungen, um die Fehlerquelle des Netzkoefizienten auszuschalten, mittels langer Schläuche Wasser aus den zu untersuchenden Tiefen heraufgepumpt und eine bestimmte Menge (z. B. 50 Liter) durch ein Planktonnetz filtriert; oder es wurde während des Pumpens das an einer Schnur befestigte Schlauchende langsam über die ganze zu untersuchende Tiefe gehoben und gesenkt, um, wie beim Vertikalzug, den Planktongehalt einer Wassersäule zu erfassen.

Eine weitere Fehlerquelle, welche das HENSENsche quantitative Netz für die Verfolgung bestimmter Probleme unbrauchbar macht und die von HENSEN zwar erkannt, aber mit den damaligen Mitteln nicht in ihrem vollen Umfang nachgewiesen werden konnte, ist die, daß vom Planktonnetz nur jene Formen vollständig zurückgehalten werden können, welche größer sind als die Maschenweite der verwendeten Seidengaze. Die Maschenweite der dichtesten, im Handel befindlichen Seidengaze ist etwa 0,07 mm. Organismen, die kleiner sind, werden beim Fischen mit Netzen zum Teil oder zur Gänze durch die Maschen schlüpfen und dem Fang entgehen. Man hatte lange Zeit keine rechte Vorstellung darüber, in welchem Ausmaß Formen von so geringer Größe das freie Wasser der Meere und Binnenseen bevölkern und war geneigt, anzunehmen, daß diese Arten nicht zahlreich genug vertreten sind, um trotz ihrer Kleinheit eine nennenswerte Rolle in der Gesamtproduktion zu spielen. Es sind daher fast alle älteren Ergebnisse der Planktonstatistik bis in die ersten Jahre nach der Jahrhundertwende auf



Abb. 1a.

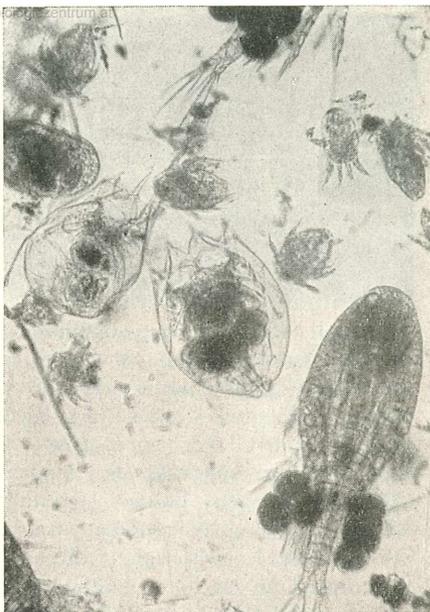


Abb. 1b.

Abb. 1a Nannoplankton (Sediment), Abb. 1b Netzplankton, gleichzeitige Fänge aus derselben Tiefenschicht des Rann Lamongan auf Java. Das Nannoplankton (76% des Gesamtplanktonvolumens) wurde vom Netz nicht zurückgehalten.

Fängen mit dem HENSENschen quantitativen Netz aufgebaut. Einzelne Versuche, an Stelle der Müllergaze dichtere Filter (Taft, Schafleder, gehärtetes Filtrierpapier oder — bei kleinen Wassermengen — Cella-Filter) zu verwenden, ergaben wohl in speziellen Fällen brauchbare Ergebnisse, konnten sich aber, hauptsächlich wegen der Abspülverluste, nicht allgemein durchsetzen.

Erst die Beobachtungen LOHMANNs in der Kieler Förde brachten auf dem originellen Umwege der Untersuchung des überaus feinmaschigen Fangapparates der Appendikularien und seines Inhaltes durch neue Methoden den Nachweis, daß selbst im Meere das von den Netzen nicht zurückgehaltene Zwergplankton („Nannoplankton“) in so großer Menge vorhanden ist, daß es das Netzplankton nicht nur an Individuenzahl, sondern auch an Masse oft übertrifft und daher bei produktionsbiologischen Überlegungen nicht vernachlässigt werden darf (vgl. Abb. 1). LOHMANN ersetzte den Fangapparat der Appendikularien durch die Zentrifuge und fand im Rückstand kleiner Wassermengen von nur 10—15 ccm in großer Menge die gleichen Formen, welche er in den Appendikulariengehäusen festgestellt hatte. Auf Grund dieser Ergebnisse führte nun LOHMANN mit großem Erfolg die Zentri-

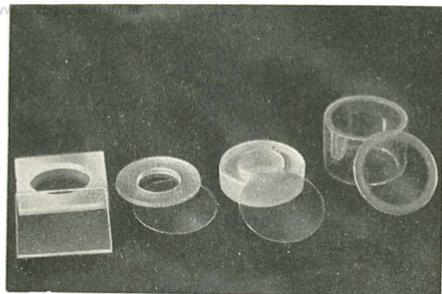
fugierung geschöpfter Wasserproben in die quantitative Planktonforschung ein und stellte so neben die bisher ausschließlich gehandhabte Filtration die Sedimentierung.

Die Zentrifugenmethode hat sich in der Folgezeit ausgezeichnet bewährt und unsere Kenntnisse über die Zusammensetzung, Massenproduktion und das ökologische Verhalten des Nannoplanktons in den Meeren und Binnengewässern sehr gefördert. Einer ihrer Vorteile besteht darin, daß sie völlig intaktes, lebendes Material zu liefern vermag, während bei der Verwendung dichter Filter empfindliche Organismen (besonders Flagellaten und Ziliaten) entweder durch die vorherige Konservierung der Wasserproben oder durch den Filtrationsprozeß selbst oft bis zur Unkenntlichkeit zerstört werden. Ein Nachteil der Zentrifugenmethode besteht darin, daß im allgemeinen nur kleine Wassermengen verwendet werden können, daß also größere und in geringerer Zahl vorkommende Formen gar nicht oder in nicht genügender Menge erbeutet werden. Es sind wohl von der Wisconsin Lake Survey (JUDAY 1916, 1926, 1929) in USA Durchlaufzentrifugen mit hoher Umdrehungszahl (mit ringförmigem Drehkörper, ähnlich wie bei den Milchzentrifugen) beschrieben und erfolgreich benützt worden, welche die Zentrifugierung gepumpter Wassermengen bis etwa 50 Liter gestatten. Wegen der Kostspieligkeit dieser Anlage und ihrer Bindung an ein festes Laboratorium ist diese Methode anderswo bisher nicht angewendet worden — bedauerlicherweise, denn sie ist geeignet, auf zahlreiche Fragen, insbesondere der Produktionsbiologie, die zuverlässigsten Antworten zu geben.

Ein Nachteil bei den gebräuchlichen Zentrifugen (vor allem bei denen mit Handbetrieb und daher nicht sehr großer Umdrehungszahl) ist der Umstand, daß die kleinsten und zartesten Formen des Nannoplanktons nicht vollständig sedimentiert werden, daß also gewisse Verluste eintreten. Ferner ist noch zu berücksichtigen, daß an dem distalen zugespitzten Ende des Zentrifugengläschens nur jene Formen sedimentiert werden, welche spezifisch schwerer sind als Wasser, während die spezifisch leichteren sich unter der Wasseroberfläche an der Öffnung des Glases ansammeln müssen. Ein wichtiger Bestandteil des Phytoplanktons vieler Seen, die mit Gasvakuolen ausgestatteten Zyanophyzeen, ist aber leichter als Wasser. PASCHER (1912) trug diesem Umstand dadurch Rechnung, daß er durch einen Schliff verbundene Doppelzentrifugengläser verwendete, aus denen sowohl der zentrifugal als auch der zentripetal sedimentierte Rückstand gewonnen werden kann.

Die Anwendung der Zentrifuge für quantitative Planktonuntersuchungen wurde jedoch allmählich durch ein anderes, sehr einfaches Verfahren verdrängt, ohne daß sie für die Gewinnung lebenden Phytoplanktons (zur genauen Feststellung der vorhandenen Arten oder für zytologische Untersuchungen) an Bedeutung eingebüßt hätte. Dieses Verfahren benützt die von KOLKWITZ (1907, 1911) angegebene Planktonkammer und deren spätere Abänderungen. Die ursprüngliche KOLKWITZ-Kammer (Abb. 2, links) ist ein kreisförmig ausgeschnittener Glasblock mit aufgekittetem

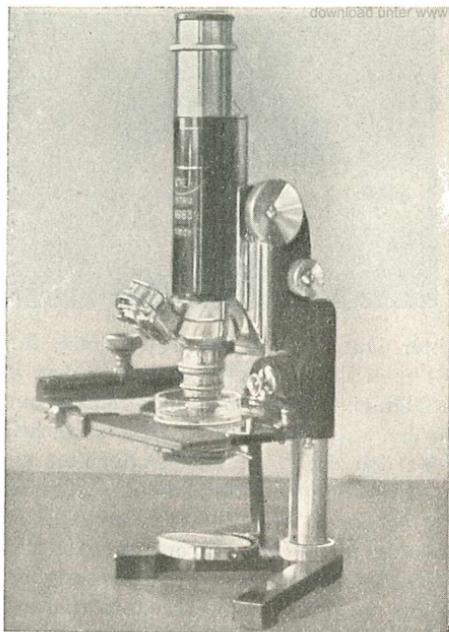
Abb. 2. Planktonkammern; von links nach rechts: KOLKWITZ-Kammer, Ringkammern 0,5, 2 und 10 ccm.



Boden und loser Deckplatte. Ihr lichter Durchmesser beträgt 22 mm, ihre Tiefe 2,6 mm und ihr Fassungsraum 1 ccm. Die Kammer wird mit dem zu untersuchenden Wasser, das mit einer kleinen Menge Jod-Jodkalium-Lösung (bis zu weingelber Farbe) versetzt worden war, gefüllt und der Deckel luftblasenfrei aufgesetzt. Durch das Jod werden die Organismen abgetötet und in den meisten Fällen in recht gutem Erhaltungszustand fixiert. Läßt man die Kammer 1—3 Stunden unberührt stehen, so tritt infolge der geringen Schichtdicke und der raschen Abbremsung turbulenter Strömungen in dem völlig abgeschlossenen Wasserkörper eine vollständige Sedimentierung des schwebenden Inhaltes ein, wobei sich die spezifisch schwereren Körper auf der Bodenplatte, die spezifisch leichteren unter der Deckplatte ansammeln. Unter dem Mikroskop können nun die in diesen beiden Ebenen liegenden Objekte leicht ausgezählt werden.

Bei geschlossener Kammer kann man die Untersuchung nur mit verhältnismäßig schwach vergrößernden Objektiven durchführen, d. h. mit solchen, deren Objektabstand größer ist als die Tiefe der Kammer. Für die Beobachtung der meisten Vertreter des Nannoplanktons ist jedoch die Verwendung starker Systeme, häufig sogar von Immersionsobjektiven, nötig. Man kann sich da in der Weise helfen, daß man nach erfolgter Sedimentierung die Deckscheibe der Kammer (durch seitliches Verschieben) vorsichtig entfernt und sodann eine Wasserimmersion (z. B. REICHERT X\*, Eigenvergrößerung 88) in die Kammer eintaucht. Bei diesem Verfahren kann allerdings der Kammerboden nicht bis zum Rande durchmustert werden. Man ritzt auf der Innenseite des Kammerbodens zwei parallele Linien im Abstand von 1 cm ein und zählt einige Streifen von Gesichtsfeldbreite (oder der Breite der Teilung eines Okularmikrometers) und je 1 cm Länge durch. Das Ergebnis wird sodann auf die ganze Fläche umgerechnet. Ein naheliegender Einwand, daß durch das Eintauchen des Objektives das Sediment wieder aufgerührt werden könnte, trifft nicht zu, wie man sich leicht überzeugen kann. So erwies sich diese Eintauchmethode, die zuerst von UTER-MÖHL (1925) und später während der deutschen limnologischen Sunda-Expedition und bei den Lunzer Untersuchungen verwendet wurde, als durchaus brauchbar. Sie ist besonders für Exkursionen und Forschungsreisen zu empfehlen, da jedes mit einem einfachen Kreutztisch ausgerüstete Reise-

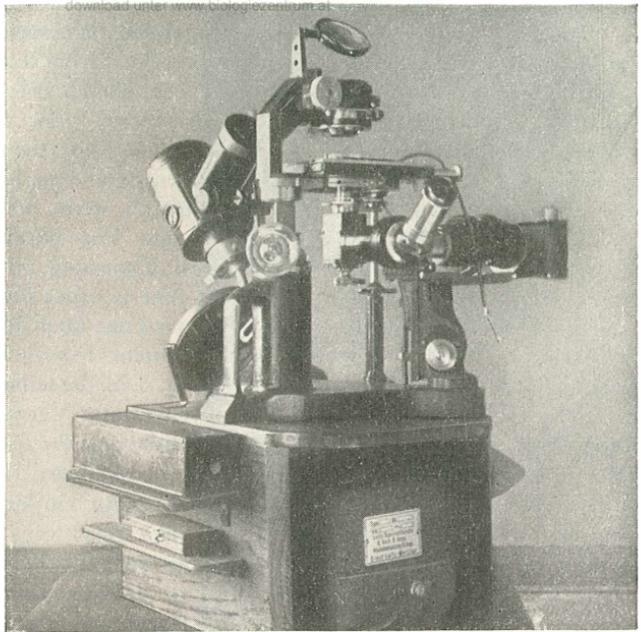
Abb. 3. Heimdal-Reisemikroskop, Wasserimmersion  $X^*$  in eine 10 ccm Planktonkammer eintauchend.



mikroskop (z. B. das ganz hervorragend geeignete „Heimdal“-Stativ von REICHERT (Abb. 3) benützt werden kann. Auch bei Kammern von größerem Fassungsraum kann dieses Verfahren angewendet werden. So wurden für die Untersuchung von planktonarmen Alpenseen Kammern von 10 ccm Inhalt benützt, deren Tiefe 1 cm eben noch die Durchmusterung des Gesamtsedimentes (bei geschlossener Kammer) mit schwacher Vergrößerung (z. B. mit dem Spezialobjektiv  $8\times$  des Heimdal-Mikroskopes) gestattet. Sodann wird die Deckplatte entfernt, vorsichtig ein Teil des Wassers abgesaugt (um die Schichthöhe zu verringern) und nach dem Eintauchen der Wasserimmersion ein beliebiger Bruchteil der Bodenfläche in der oben angegebenen Weise durchgezählt.

Durch die Einführung des sog. „umgekehrten Mikroskopes“ in die Technik der Planktonuntersuchung durch UTERMÖHL (1931) erfuhr die Anwendungsmöglichkeit der KOLKWITZ-Kammer eine wesentliche Erweiterung. Es handelt sich um ein Mikroskop, bei dem durch ein Prisma die Betrachtung der Objekte von unten ermöglicht wird, eine Type, die schon seit langem besonders bei der Untersuchung der Erze und Metalle Verwendung findet. Benützt man Kammern, deren Boden aus einem aufgekitteten Deckgläschen besteht, so kann man das Sediment bis zum äußersten Rand der Bodenfläche mit den stärksten Vergrößerungen (auch Öl- oder Wasserimmersionen) durchmustern, ohne, wie bei der Eintauchmethode, den Deckel abheben zu müssen. Außerdem gestattet das umgekehrte Mikro-

Abb. 4. „Umgekehrtes Mikroskop“ von REICHERT, am 2. Tubus angesetzte „Leica“.



skop die Verwendung von Kammern größerer Schichthöhe und daher auch von bedeutendem Volumen. Im allgemeinen wird man aber, wenn es sich um die quantitative Erfassung der kleinsten Nannoplankter handelt, über die Schichthöhe von 1 cm nicht hinausgehen, da die einem größeren Volumen kaum auszuschaltenden turbulenten Strömungen eine vollständige Sedimentation kleinster Teilchen allzu sehr verzögern.

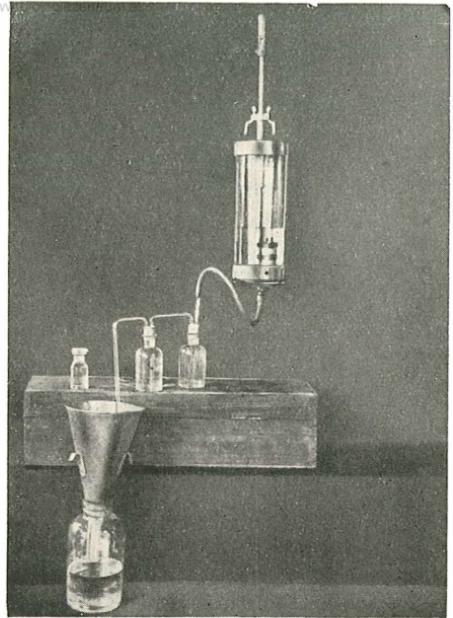
Abb. 4 zeigt ein für Planktonuntersuchungen eingerichtetes „umgekehrtes Mikroskop“, das sich bei den Untersuchungen in Lunz vorzüglich bewährt hat. Es ist die alte Type eines „Metallmikroskopes“ von REICHERT, an dem oberhalb des Kreuztisches ein Beleuchtungsapparat mit auswechselbaren Kondensoren angebracht wurde. Als Lichtquelle dient eine „Monla“-Lampe von LEITZ (6 Volt, 5 Amp.) mit Reguliertransformator. Als Kammern werden Glasringe von 30 mm Außendurchmesser verwendet, deren Boden durch ein mit (eingedicktem) venetianischem Terpentin aufge kittetes Deckgläschen gebildet wird. Auch als abnehmbarer Deckel dient ein Deckgläschen. Die für die Untersuchung der Alpenseen am häufigsten verwendete Type hat bei 16 mm Innendurchmesser und 10 mm Höhe einen Inhalt von 2 ccm. Für Proben von hohem Organismengehalt wird eine Type von nur 2,5 mm Schichthöhe und 0,5 ccm Inhalt (bei sonst gleichen Dimensionen) verwendet. Für manche Zwecke leisten auch Kammern von 25 mm lichter Weite und 20 mm Schichthöhe, die einen Fassungsraum von 10 ccm haben, gute Dienste (Abb. 2).

So vielseitig brauchbar die Planktonkammer auch ist, so kann doch wegen der kleinen, zur Untersuchung gelangenden Wassermengen das gesamte Plankton mit ihr allein nicht erfaßt werden. Größere und daher auch meist in geringerer Volksdichte auftretende Organismen erfordern Verfahren, bei denen reichlichere Wassermengen sedimentiert oder filtriert werden. Das größere Phytoplankton und die Mehrzahl der Rädertiere, ja, in produktionsreichen Gewässern auch die Massenformen unter den Krebsen, gewinnt man sehr einfach in meist ausreichender Anzahl, wenn man Wasserproben von 0,5—1 Liter, welche mit einer geeigneten Vorrichtung in der zu untersuchenden Tiefe geschöpft wurden, nach Fixierung mit Formol oder (noch besser) mit Jod in einem Standzylinder oder in einer nicht zu weiten Flasche mehrere Tage sedimentieren läßt. Dann wird das über dem Sediment stehende Wasser vorsichtig abgehebert, der in einem Fläschchen von 20—30 ccm gesammelte Rückstand (oder ein aliquoter Teil desselben) in eine Planktonkammer von passender Größe (z. B. 10 ccm) unter Vermeidung von Verlusten übergeführt und nach neuerlicher Sedimentierung die Zählung vorgenommen.

Es bleiben nun noch die großen und in geringer Individuenzahl auftretenden Tiere, für deren quantitative Erfassung ein dritter Untersuchungsgang angewendet werden muß. Es sind dies durchwegs Formen, welche von engmaschiger MÜLLER-Gaze vollständig zurückgehalten werden, und man kann daher, ohne Verluste befürchten zu müssen, zur Filtration durch ein geeignetes kleines Planktonnetz (oder durch ein eigens für diesen Zweck hergestelltes, trichterförmiges Blechsieb mit MÜLLER-Gazeboden) greifen. Man holt mit dem Wasserschöpfer beliebig viele Proben (meist genügen etwa 5 Liter) aus der zu untersuchenden Tiefe herauf, läßt das Wasser durch das Filter laufen, spült den Rückstand sorgfältig in ein Gläschen und konserviert mit Formol. Die Zählung erfolgt auf dem Kreuztisch des Mikroskopes entweder mit Hilfe der schon von HENSEN angegebenen Zählplatte oder, noch einfacher, in der 10-ccm-Kammer. Dabei wird man, besonders in planktonreichen Gewässern, oft nicht den ganzen Rückstand auf einmal durchzählen können, sondern mehrmals einen Bruchteil, z. B. dreimal je 1 ccm des in 10 ccm gleichmäßig verteilten Rückstandes. Zur Entnahme dieses Kubikzentimeters kann man die HENSENsche Stempelpipette verwenden, es genügt aber auch ein entsprechend geteiltes Glasrohr, mit dem man 1 ccm aus der Aufschwemmung gewissermaßen heraussticht. Aus den durchgeführten Teilzählungen wird das Mittel genommen und auf den Gesamtfang umgerechnet. Für die Zählung seltenerer Formen wird natürlich der Gesamtrückstand verwendet.

Diese Kombination von Sedimentierung und Filtration gestattet es also, mit einfachen Mitteln den gesamten Planktongehalt eines bestimmten Wasservolumens ohne erhebliche Fehlerquellen festzustellen. Sie leistet insbesondere dort gute Dienste, wo es darauf ankommt, die Abhängigkeit der Zusammensetzung des Planktons in einer bestimmten Tiefe von den dort herrschenden Umweltbedingungen zu studieren. Es ist sogar möglich, die wichtigsten Umweltfaktoren in der gleichen Wasserprobe zu messen, die man für

Abb. 5. Gleichzeitige Entnahme von Proben für chemische und biologische Untersuchungen aus einem Schöpferinhalt. Erklärung im Text.



die Bestimmung des Planktongehaltes verwendet, wenn man sich bei der letzteren auf die Sedimentierung in verschiedenen großen Kammern und auf die Filtration einer kleineren Wassermenge beschränkt. Dies ist vor allem bei scharf ausgeprägter biochemischer Schichtung sehr wichtig, also dort, wo die Temperatur und der Chemismus sich vertikal im Bereich weniger Dezimeter gewaltig ändern. Denn unter solchen Verhältnissen wird man bei nacheinander heraufgeholtten Proben in größeren Tiefen (infolge der Schrägstellung der Leine durch Strömungen oder durch Bewegungen des Bootes) selten die gleiche Schicht treffen.

Ein Beispiel (vgl. Abb. 5): Der häufig verwendete sog. „Lunzer Wasser schöpfer“ faßt 1,25 Liter. Das eingebaute, in Zehntelgrade geteilte Thermometer gestattet nach dem Aufholen die exakte Messung der in der untersuchten Tiefe herrschenden Temperatur. Dann werden etwa 25 ccm in ein Fläschchen abgefüllt und mit Jod-Jodkali-Lösung versetzt, eine Wassermenge, die ausreicht, um eine Planktonkammer von 2 ccm (zur Bestimmung des Gehaltes an kleinstem Nannoplankton) und 2 Kammern von je 10 ccm für das größere Phytoplankton und mitunter auch für die Massenformen unter den Tieren (Ziliaten, Rädertiere) zu füllen. Der Rest der im Schöpfer enthaltenen Wassermenge durchspült beim Abfließen zunächst luftblasenfrei 1—2 Winklerflaschen zur O<sub>2</sub>- bzw. CO<sub>2</sub>-Bestimmung, passiert das oben erwähnte MÜLLER-Gazefilter, welches das größere Plankton zurückhält, und wird in einer Flasche aufgefangen. Diese etwa 1 Liter betragende

Wassermenge kann zur Bestimmung des elektrolytischen Leitvermögens, der Alkalinität, des  $p_H$  sowie für weitere chemische Untersuchungen (z. B. auf Fe, Mn, P, N) verwendet werden. Auf diese Weise hat man die Gewähr, jene Milieubedingungen erfaßt zu haben, unter denen das untersuchte Plankton im Augenblick der Probenentnahme tatsächlich gelebt hat.

Selbstverständlich ist auch das hier geschilderte Verfahren der quantitativen Planktonuntersuchung nicht vollkommen und weist verschiedene Mängel auf. Einer derselben ist in den kleinen zur Untersuchung gelangenden Wassermengen begründet, welche die auch bei einer im großen gleichförmigen Verteilung auf engem Raum vorkommenden Inhomogenitäten in der Zusammensetzung des Planktons um so störender hervortreten lassen, je weniger Wasser zur Untersuchung gelangt. Diese Fehlerquelle ist bisher nur bei Verwendung der oben erwähnten Durchlaufzentrifuge von JUDAY weitgehend vermieden worden. Ein weiterer Nachteil ist der, daß man auf diese Weise nur Stichproben gewinnt, welche lediglich über die Verhältnisse in bestimmten Tiefen Aufschluß geben und die Ermittlung des Planktongehaltes einer von der Oberfläche bis zum Grund reichenden Wassersäule nur durch Interpolation gestatten. In dieser Beziehung sind Vertikalzüge mit dem HENSENschen quantitativen Netz oder ein Pumpverfahren, bei dem das Schlauchende während des Pumpens langsam gehoben bzw. gesenkt wird, überlegen.

Eine universelle Methode, welche für alle mit Hilfe der Statistik lösbaren Probleme der Planktologie geeignet ist, gibt es nicht, und der Untersucher wird je nach der Fragestellung und der im einzelnen Fall erforderlichen Genauigkeit unter den vorhandenen Verfahren wählen bzw. sie modifizieren und kombinieren müssen.

Einige Worte wären noch über die Auswertung der Zählungsergebnisse zu sagen. Dabei sei die rechnerische Behandlung der gewonnenen Zahlen, die Bildung von Mittelwerten und deren von der Anzahl der gezählten Individuen abhängige Zuverlässigkeit übergangen, da hier die allgemein für die statistische Behandlung von Beobachtungen geltenden Regeln maßgebend sind. Dagegen seien einige Fragen, die speziell für die Planktonforschung von Belang sind, kurz erörtert. Zunächst sei darauf hingewiesen, daß man bei der Auswertung von quantitativen Planktonbeobachtungen nicht den strengen Maßstab exakter physikalischer oder chemischer Messungen anlegen darf. Dies ist — von den Fehlerquellen der Entnahme und Verarbeitung der Proben ganz abgesehen — schon deshalb nicht möglich, weil die Verteilung der Organismen im Wasser einer unter gleichen Bedingungen stehenden Schicht nie absolut gleichförmig ist, sondern auf engem Raum die oben erwähnten Inhomogenitäten aufweist. Je größer das untersuchte Wasservolumen ist, desto weniger werden sie in Erscheinung treten, aber unter normalen Verhältnissen nur selten ganz verschwinden. Wir werden daher Unterschieden von 10—20 % nur dann Bedeutung beimessen, wenn sie sich harmonisch in den Gang der Verteilungskurve einfügen. Da die Veränderungen der Volksdichten in vertikaler Richtung und im Ablauf des Jahres

sehr groß sind, kann man die kleineren, unregelmäßigen Schwankungen bei der Beurteilung der Ergebnisse in den meisten Fällen als unwesentlich betrachten.

Die Zählungen ergeben unmittelbar nur die Anzahl der in einem bestimmten Wasservolumen (etwa in 1 Liter oder in 1 cbm) enthaltenen Individuen der das Plankton zusammensetzenden Arten. Wegen der außerordentlichen Größenunterschiede bilden jedoch Individuenzahlen eine sehr ungeeignete Vergleichsbasis, insbesondere bei produktionsbiologischen Untersuchungen. Man war daher frühzeitig bemüht, ein einwandfreies und für Vergleiche geeignetes Maß sowohl für die Gesamtmasse des Planktons, als auch für die seiner Teilkomponenten, der einzelnen Arten, zu verwenden. Das in den Anfängen der Planktologie häufig bestimmte „Setzvolumen“ konservierter Netzfänge erwies sich, vom Filtrationsverlust des Netzes ganz abgesehen, als wenig brauchbar, da das Plankton je nach der Gestalt der Arten, die es zusammensetzen, bei gleicher Masse im Absetzzyylinder ein sehr verschiedenes Volumen einnehmen kann.

Einwandfrei wäre die gesamte, in einem bestimmten Wasservolumen enthaltene Biomasse durch die Bestimmung des Trockengewichtes des Planktons festzustellen. Diesem Ziel sind die amerikanischen Forscher BIRGE und JUDAY durch die schon oben erwähnte Zentrifugierung großer Wassermengen (bis 50 Liter) recht nahegekommen. Der Zentrifugenrückstand wurde getrocknet, gewogen und darüber hinaus chemisch analysiert. Auf diese Weise wird jedoch nicht nur das lebende Plankton erfaßt, sondern alle im Wasser suspendierten Schwebstoffe, also auch der anorganische und organische Detritus. Und dieser nichtlebende Anteil an der Gesamtheit des Schwebenden, des „Sestons“ (= Plankton + Detritus) ist in allen Gewässern sehr erheblich, wie von RYLOV (1931) gezeigt wurde und wie sich jeder bei der Untersuchung von Kammerproben leicht überzeugen kann. Die Werte, die man durch Trocknen des Zentrifugenrückstandes erhält, sind also zu groß, wenn es darauf ankommt, die Produktion des lebenden Planktons allein zu ermitteln.

Einen anderen, auf den ersten Blick etwas umständlichen, in der Durchführung aber durchaus brauchbaren Weg hat schon zu Beginn dieses Jahrhunderts LOHMANN eingeschlagen. Er bestimmte das mittlere Volumen der einzelnen, das Plankton zusammensetzenden Arten. Bei vielen Vertretern des Phytoplanktons kann man das Volumen aus den (auf Grund von etwa 20 Messungen bestimmten) Mittelwerten der Hauptdimensionen leicht berechnen (als Kugel, Zylinder, Kegel usw.). Für die Bestimmung des Volumens komplizierterer Gebilde, insbesondere der Tiere, fertigte LOHMANN einfache Plastillinmodelle in entsprechender vergrößerten Maßen an und bestimmte deren Volumen durch Feststellung der Wasserverdrängung in einem Meßzylinder. In vielen Fällen, d. h. bei jenen Arten, deren mittlere Größe konstant ist, können die einmal ermittelten Volumina immer wieder verwendet werden, in anderen Fällen, z. B. bei den Diatomeenarten, deren Größe bekanntlich in den einzelnen Populationen große Schwankungen auf-

weist und bei den Krustazeen, wo sie vom Alter abhängt, müssen die Messungen bei jedem Fang neu durchgeführt werden (die Anfertigung neuer Plastillinmodelle ist jedoch meist nicht nötig, man rechnet das einmal bestimmte Volumen nach der 3. Potenz der maßgebenden Dimension um). Die Multiplikation des Einzelvolumens mit der Individuenzahl ergibt das Gesamtvolumen der betreffenden Art und die Summe dieser Teilvolumina das „Rechenvolumen“ (nach LOHMANN) des Gesamtplanktons. Damit ist auch ungefähr das Frischgewicht des Gesamtplanktons gegeben, da das spezifische Gewicht der Planktonorganismen von 1 nur wenig abweicht. Andererseits ist aus dem Rechenvolumen mit großer Annäherung auch das Trockengewicht zu schätzen, da der Wassergehalt des Planktons mit durchschnittlich 90% angenommen werden kann.

Bei der chemischen Wasseruntersuchung ist es üblich, den Gehalt an gelösten Stoffen in Milligramm oder  $\gamma$  (0,001 mg) in 1 Liter Wasser anzugeben. Der Einheitlichkeit halber ist es zweckmäßig, das Volumen (bzw. das Frisch- oder Trockengewicht) des Planktons in den entsprechenden Größen auszudrücken ( $1 \text{ mg} = 1 \cdot 10^9 \mu^3$  Wasser,  $1 \gamma = 1 \cdot 10^6 \mu^3$  Wasser).

Für die graphische Darstellung der Ergebnisse, z. B. für die räumliche und zeitliche Verteilung der einzelnen Planktonorganismen, hat LOHMANN (in Anlehnung an ein von dem Physiker KOHLRAUSCH angegebenes Verfahren der Darstellung der Ionendichte) die sogenannten „Kugelkurven“ vorgeschlagen. Er faßte die gefundenen Individuenzahlen als Kugelvolumen auf und berechnete den Radius, dessen Länge er zur Konstruktion der Kurven verwendete. Diese Diagramme geben ein anschauliches Bild von der Planktondichte in dem untersuchten Wasservolumen. Handelt es sich z. B. um die Darstellung der Vertikalverteilung einer Art, so denkt man sich auf den Durchmessern eines von der Oberfläche bis zum Grunde des Gewässers reichenden Wasserzylinders die Individuen der betreffenden Art horizontal in gleiche Entfernung verschoben. Die resultierende Figur ergibt die „Kugelkurve“. Diese Darstellungsart veranschaulicht somit die Planktondichte auf der Längeneinheit in der untersuchten Tiefe und entspricht somit der „Linearkonzentration“ nach KOHLRAUSCH. (Die ihr zugrunde liegende Größe muß natürlich nicht der Kugelradius sein, es genügt, die dritte Wurzel aus der Individuenzahl oder dem Rechenvolumen zu ziehen.) Sie bietet ferner den Vorteil, bedeutungslose Schwankungen zu unterdrücken und kleine Werte neben großen in ein und demselben Diagramm nicht verschwinden zu lassen. Legt man der Darstellung das Rechenvolumen zugrunde, so empfiehlt es sich, die gefundenen Individuenzahlen in die Figuren einzutragen, so daß beide Werte daraus entnommen werden können und die Diagramme die Vorteile graphischer Darstellungen mit jenen von Tabellen vereinigen.

Folgt man dem Vorschlage von KOHLRAUSCH und verwendet auch für die Darstellung der chemischen Analyseergebnisse die Linearkonzentration, so gewinnt man ein einheitliches und anschauliches Bild der Verteilung der für den Stoffhaushalt eines Gewässers maßgebenden Größen.

- Birge E. A. und Juday Ch.*, The Inland Lakes of Wisconsin. The Plankton I. Its Quantity and Chemical Composition. Wisc. Geol. and Nat. Hist. Survey **64** (1922).
- Hensen V.*, Über die Bestimmung des Planktons oder des im Meere treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. 5. Ber. Komm. wiss. Intern. dtsch. Meere 1882—1886, Kiel **12—16** (1887).
- Juday Ch.*, Limnological Apparatus. Transact. Wisc. Acad. of Sciences, Arts and Letters **12** (1916), 2.
- A Third Report on Limnological Apparatus. Ebd. **22** (1926).
- Limnological Methods. Arch. Hydrobiol. **20** (1929).
- Kolkwitz R.*, Entnahme- und Beobachtungsinstrumente für biologische Wasserunters. Mitt. Kgl. Prüfungsanst. Wasservers. u. Abwasserbeseit. **9** (1907).
- Über das Kammerplankton des Süßwassers und der Meere. Ber. dtsch. bot. Ges. **29** (1911).
- Lohmann H.*, Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton. Wiss. Meeresunters. N. F. Abt. Kiel **10** (1908).
- Pascher A.*, Versuche zur Methode des Zentrifugierens bei der Gewinnung des Planktons. Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrogr. **5** (1912).
- Ruttner F.*, Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. Arch. Hydrobiol. **32** (1937).
- Grundriß der Limnologie (Hydrobiol. Süßwassers). Berlin, 1940.
- Rylov M. W.*, Über das Tripton-Problem. Verh. Intern. Ver. theor. u. angew. Limnol. **5** (1931).
- Utermöhl H.*, Limnologische Phytoplanktonstudien. Arch. Hydrobiol. Suppl. **5** (1925).
- Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. Verh. Intern. Ver. theor. u. angew. Limnol. **5** (1931)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mikroskopie - Zentralblatt für Mikroskopische Forschung und Methodik](#)

Jahr/Year: 1948

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Ruttner Franz

Artikel/Article: [Die Methoden der quantitativen Planktonforschung. 39-51](#)