

Bemerkungen und Zahlen zur Pütter'schen Hypothese.

Von Dr. Kurt Lantzsich, München.

(Aus der biologischen Versuchsanstalt für Fischerei, München.)

In jüngster Zeit ist die Pütter'sche Hypothese mehrmals Gegenstand der Diskussion gewesen.

Einar Naumann¹⁾ zieht sie in den Kreis seiner Betrachtungen. Seine Beobachtungen über Nannoplankton. Hochfrequenzen in vegetationsgefärbten Gewässern lassen ihn zu einem modifizierten Standpunkte dieser Hypothese gegenüber kommen.

Was besagt nun die Anschauung Pütter's²⁾: „Die Ernährung eines großen Teiles der Formen aller Stämme vollzieht sich nicht in der Weise, wie man es bisher, in grober Analogie mit den Säugetieren und Vögeln annahm; d. h. daß geformte Nahrung aufgenommen, durch die Verdauung gelöst und gespalten und in diesem Zustande resorbiert wird, sondern eine große Anzahl von Tieren, speziell die absolut kleinen Formen aller Stämme nehmen, soweit sie im Wasser leben, ihre Nahrung direkt in gelöster Form aus dem Wasser auf.“

Diese These trägt die Voraussetzung in sich, daß die in jedem natürlichen Gewässer gelöste organische Substanz als Nahrungsquelle von den konsumierenden Zooplanktonten ausgenutzt, diese organische Lösung durch die Oberfläche der Konsumenten aufgenommen wird. Nicht die Volumina der Nahrungsorganismen mit den darin enthaltenen Brennstoffen werden betrachtet, sondern es wird die Oberflächenentwicklung der Nahrungsproduzenten herangezogen zur Erklärung des Stoffzusatzes in den Gewässern. Aller Stoffwechsel vollzieht sich durch Flächen. Durch permeable Wände treten Stoffe, die vorheriger Auflösung anheimfallen. Es ist dabei gleichgültig, ob diese Auflösung inner- oder außerhalb des Körpers, extra- oder intrazellulär sich vollzieht. Im letzteren Falle sind es Verdauungsvakuolen oder ausgesandte Fortsätze, im ersteren Flächen, die bei kleinen Formen durch die nach außen begrenzende Oberfläche dargestellt, bei großen durch Einfaltung, Darm, Niere gewonnen werden.

Pütter bezieht die Intensität des Stoffwechsels, in dem die Atmungskraft und die Betriebsenergien enthalten sind, nicht auf die Körpermasse als solche, sondern es werden die wirksamen Flächen, die stoffaustauschend, filtrierend sich betätigen, als Grundmaß herangezogen.

Er sagt³⁾: „Man kann nun aber die ganze Frage nach dem Ausmaß des Stoffumsatzes, nach dem Verhältnis von Produktion und Kon-

1) Einar Naumann: Beiträge zur Kenntnis des Teichnannoplanktons. Biologisches Zentralblatt. 39. Bd. 1919.

2) Pütter: Die Ernährung der Wassertiere. Jena 1909. S. 147.

3) l. c. S. 127.

sum in der Weise behandeln, daß man ganz absieht von der absoluten Menge organischer Substanz, die die Tiere verbrauchen und einfach den Ansatz macht: 1 qm wirksamer Oberfläche der Konsumenten verbraucht pro Zeiteinheit soviel Substanz, wie unter gleichen Bedingungen 1 qm wirksamer Oberfläche der Produzenten an organischer Substanz liefert.

Die prinzipielle Berechtigung dieses Ansatzes geht ohne weiteres aus dem Nachweis hervor, daß die Entwicklung der Oberfläche, nicht jene der Massen, das Maßgebende für die Größe des Umsatzes der Organismen ist.

Die Vergleichung der Algenmengen mit den Mengen der Konsumenten, oder richtiger der Vergleich des disponiblen Algenquantums mit dem Bedarf der Konsumenten geht ja von der Voraussetzung aus, daß der Nährwert der Algen proportional ihrer Masse sei. Ein Vergleich zwischen den Flächen der Algen einerseits und jenen der Tiere und Bakterien andererseits, geht dagegen von der Voraussetzung aus, daß die Algen Stoffe produzieren, und zwar proportional der Größe ihrer Oberfläche, diese an das Meerwasser abgeben, und daß dann die Tiere diese gelösten Stoffe ausnutzen, wobei der Bedarf wiederum proportional der Konsumentenfläche ist.“

Einar Naumann kommt in seinen Untersuchungen über Stoffwechsel im Süßwasser zum gleichen Standpunkt mit der Modifikation, daß sich nach seinen Beobachtungen die Sekrete der produzierenden Algen durch chemischen Umsatz ausflocken, und dieser feinste organische Detritus als Nahrungsquelle für die konsumierenden Planktonten aufzufassen sei.

In einem Autorreferat weist Pütter diese Anschauung zurück und verteidigt seine These.

Von verschiedener Seite wurden Einwände theoretischer und experimenteller Art gegen die vorgebrachten Sätze aufgeworfen. Lipschütz⁴⁾ bestreitet die Möglichkeit der Ausnutzung gelöster organischer Substanz für die Wirbeltiere des Wassers und stützt sich auf seine Untersuchungen und auf die Ergebnisse von Petersen und Blegvad. „Die neuen Befunde enthalten somit keine Momente, die im Sinne der Pütter'schen Theorie von der Verwertung gelöster organischer Verbindungen sprächen.“ Vielmehr kommt Lipschütz zu dem Satze: „Die Befunde von geformter Nahrung im Verdauungskanal der Fische waren im Durchschnitt so groß, daß sie über die Anforderungen des Betriebsstoffwechsels, wie sie aus den Atmungsversuchen von Pütter und Lipschütz zu erblicken sind, weit hinauszugehen scheinen.“

Wir stoßen auf bedeutende Schwierigkeiten, wie wir uns bei den Fischen den Mechanismus der Aufnahme gelöster Stoffe — es kommen nur die Kiemenflächen in Betracht — vorzustellen haben.

Über die Beziehungen des Netz- oder Zooplanktons, der Copepoden,

4) Lipschütz: Bemerkungen zur Frage über die Ernährung der Wassertiere. Biologisches Zentralblatt, 38. Bd. 1918.

Cladoceren, Rotatorien zu dem Nannoplankton geben drei Arbeiten Aufschluß, die drei verschiedenen Süßwassergebieten entstammen:

Dieffenbach, H. und Sachse, R.: Biologische Untersuchungen an Rädertieren in Teichgewässern. Intern. Revue d. gesamt. Hydrobiologie und Hydrographie. Biolog. Supplemente III. Serie, Heft 2, 1912.

Colditz, V.: Beiträge zur Biologie des Mansfelder Sees. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie Bd. CVIII, 1914, Heft 4.

Lantzs, K.: Studien über das Nannoplankton des Zugersees und seine Beziehung zum Zooplankton. Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie Bd. CVIII, Heft 4, 1914.

Diese Arbeiten geben die bisher genauesten Zahlen für Süßwasser, die wir mit Hilfe unserer Untersuchungsmethoden ermitteln können.

Die Nannoplanktonquantitäten wurden durch Zentrifugieren bestimmt, das Zooplankton durch Filtrieren mittelst Netz gewonnen. Die Kugelkurven der Rotatorien, die Dieffenbach für flache Teichgewässer, Colditz für den mitteltiefen Mansfelder See aufstellte, zeigen einen überzeugenden Parallelismus mit der Quantität des Nannoplanktons, dessen Zahl ebenfalls in Kugelradien ausgedrückt ist. Steigt die Menge der Nahrungsorganismen, so erfolgt mit einer gewissen zeitlichen Differenz von 3—5 Tagen das Anschwellen der Individuendichte der Rotatorien (Dieffenbach, Tafel VIII, Fig. 1—6. Colditz, S. 583). Liegt hier direkte Abhängigkeit vor? Ernähren sich die Rädertiere unmittelbar aus den gebotenen Jagdgründen oder ist es die erhöhte Algensekretion, die eine Vermehrung der Rotatorien nach sich zieht.

Dieffenbach und Colditz bestreiten die Pütter'sche Hypothese; sie nehmen eine direkte Abhängigkeit der Konsumenten von der Quantität der geformten Nahrung an. In den Zahlen, als auch in den Kurven für das Nannoplankton sind alle farblosen Flagellaten und andere Protisten mit enthalten, die als Heterotrophe nicht exkretorisch tätig sein können, wohl aber als geformte Nahrung in Betracht kommen. Dies spricht für eine direkte Abhängigkeit.

Die zeitliche Differenz von 3—5 Tagen, mit der die Maxima der Rotatorien hinter denen des Nannoplanktons nachbleiben, ist als durchschnittliche Lebensdauer der Rädertiere aufzufassen. Sachse gibt als mittlere Lebensdauer für *Brachionus pala* 5 Tage an, als Extreme 2 und 8 Tage, für *Brachionus quadratus* var. *amphiceros* durchschnittlich 5 Tage, für *Brachionus quadratus* var. *tridentatus* reichlich 15 Tage.

Colditz bringt S. 585 seiner Arbeit noch eine Kugelkurve, die die Abhängigkeit der Cladoceren von ihrer Nahrungsquelle, dem Zentrifugen- oder Nannoplankton, klar darlegt. Nur zeigt sich hier eine zeitliche Verschiebung von ca. 3 Wochen, die durch die längere Entwicklung dieser Formen bedingt ist. Bei Dieffenbach finden wir die gleichen Verhältnisse in seinen Figuren 1—3; hier folgen die Cladocerenmaxima 2—3 Wochen der stärksten Entwicklung der Produzenten. Dadurch ist es möglich, daß, wie Colditz zeigte, Cladocerenmaximum zeitlich mit Nannoplanktonminimum und umgekehrt zusammenfallen kann; doch doku-

mentiert die Betrachtung der Jahreskurve deutlich die Abhängigkeit beider Formengruppen.

Für die Copepoden ist aus den Kurven von Colditz keine so strenge Abhängigkeit herauszulesen. Ziehen wir daher die Verteilung der Cruster in tiefen Süßwasserseen zu Rate. Der Vierwaldstätter- und der Zuger-See zeigen die weitgehendste Übereinstimmung in der Zusammensetzung der biologischen Komponenten, der physikalischen Faktoren. Die Fauna ist die gleiche, das saisonelle Auftreten der Maxima und Minima ebenfalls, wie aus den Angaben Burckhardt's⁵⁾ und eigenen Untersuchungen⁶⁾ hervorgeht.

Burckhardt schreibt:

„Folgendes Resultat ist über allen Zweifel erhaben:

Zooplankton von 100—200 m Juli—Sept. 0 oder höchstens 0,2 %,
Januar—März 10—20 % des Totalquantums. Im Zuger-See fand ich für das Nannoplankton Juli—Nov. 0 % oder etwas mehr.

22. Febr. 12
8 %

6.—8. März 12
12 %

2.—3. April
11,5 %

des Totalquantums unter Ausscheidung leerer Cyclotellenschalen.

Diese beiden Zahlenreihen illustrieren recht gut die Abhängigkeit des Netzplanktons von ihrer Nahrungsquelle, den Zentrifugenplanktonen. Oder kann hier noch die Pütter'sche Hypothese aufrecht erhalten werden?; kann man annehmen, daß in Tiefen unter 100 m das Phytoplankton noch Sekrete ausscheidet, die den Crustern das Leben fristen lassen? Es wird den Algen in diesen Tiefen kaum so viel Sonnenenergie zur Verfügung stehen, um verschwenderisch mit ihren Assimilaten umgehen zu können. Der tiefe Stand der Sonne, die kalte Temperatur des Wassers lassen sich nicht durch die erhöhte winterliche Transparenz ausgleichen. Und die Annahme, daß die Konvektionsströmungen genügend gelöstes Material aus den oberen dichter bevölkerten Schichten in die Tiefe tragen, wird ebenfalls nicht ausreichen, da die Verdünnung immer stärker wird und die gelöste organische Substanz für die wenig angepaßten Copepoden und anderen Kleinkrebse kaum nutzbar sein wird.

Außerdem dringen die Copepoden nach Burckhardt eher in die Schichten unter 100 m ein, als die Konvektionsströmungen dahin gelangen. Dieser Widerspruch klärte sich. Sein Schließnetz brachte bedeutende Mengen bräunlich-grüner Algenmassen aus großen Tiefen herauf, die sich schon durch den Geruch als abgestorben erkennen ließen.

Für die Fische, Copepoden, Cladoceren und Rotatorien lassen sich noch Einwände anatomisch-physiologischer Natur gegen Pütter's Auffassungen erheben. Noch ist unbewiesen, daß diese Gruppen imstande sind, gelöste organische Substanzen durch die Oberfläche zu resorbieren.

5) Burckhardt, G.: Quantitative Studien über das Zooplankton des Vierwaldstättersees. Mittlg. d. Naturf. Gesellsch. Luzern 1900.

6) Lantzsich: Studien über das Nannoplankton des Zugersees und seine Beziehung zum Zooplankton. Zeitschrift für wissensch. Zoologie Bd. CVIII Heft 4.

Denken wir an jene Organismen, an die Bakterien, an die Protozoen, bei denen der Stoffaustausch durch die Oberfläche ihres Körpers sich vollziehen kann, so sind diese im Verhältnis von Oberfläche zu Volumen günstig gestellt, und die Möglichkeit einer weitgehenden Ausnutzung gelöster Stoffe leuchtet ein.

Zweifellos müßten die Zooplanktonen eine größere Oberflächenentfaltung aufweisen, um wirksam die dünne Nährlösung ausnutzen zu können, denn der eingefaltete Darm trägt wenig zur Flächenvergrößerung bei. Wozu noch ein Darmrohr? Ein Vergleich mit den parasitisch lebenden Cestoden, deren Darm reduziert ist, darf nicht stattfinden, denn diese leben unter günstigsten Umständen. Jedoch wollten die in verdünnter Nährlösung, 10--20 mg pro Liter Wasser, lebenden Entomotraken ihr Medium wirksam ausnutzen, so müßten sie zweifellos entsprechende Einrichtungen aufweisen.

In den Darmuntersuchungen stehen sich die Meinungen schroff gegenüber. Pütter und Naumann leugnen die Möglichkeit eines exakten Nachweises, Colditz u. a. bejahen sie. Ein Kompromiß wäre denkbar, daß im Darmkanal besonders N- und P-haltige Substanzen aufgenommen würden, die von den Algen nicht ausgeschieden werden; denn als Sekretstoffe kommen nur Kohlehydrate, zuckerähnliche Stoffe in Betracht.

Damit wäre auch eine Schwierigkeit umgangen, die vom kolloidchemischen Standpunkt eingeworfen werden muß. In welcher Form befinden sich die gelösten organischen Substanzen im Wasser? Haben wir eine Lösung kristalloider oder kolloider Art vor uns. Sind es Eiweiße oder Körper, die, wie Naumann nachwies, ausflockbar sind, so deutet dies auf kolloide Natur hin. Kolloide treten aber durch keine Membran, sondern müssen vor ihrer Resorption in Kristalloide umgewandelt werden. Dazu bedarf es der abbauenden und spaltenden Tätigkeit der Fermente. Es muß also die Forderung erhoben werden, daß auch bei diesen höheren Tiergruppen von der Leibesoberfläche Enzymwirkungen ausgehen, wie wir es von den Bakterien genau kennen; oder wir müssen uns zu obigem Kompromiß bequemen, der genug der Unwahrscheinlichkeit in sich trägt. Für Zucker und zuckerähnliche Stoffe, soweit sie kristalloider Art sind, fallen diese Schwierigkeiten weg.

Das Reich der Einzeller und Bakterien bleibt noch übrig für die Betrachtung. Hier liegen bedeutend weniger Schwierigkeiten für die Annahme der Pütter'schen These vor. Von den Bakterien wissen wir bestimmt, wie weitgehend organische Nährlösung ausgenützt wird. Sind diese Organismen doch am günstigsten gestellt im Verhältnis ihres Volums zur wirksamen, stoffaustauschenden Oberfläche. Wir kennen die weitgehenden Anpassungen, die umfassenden Spaltungen, die kolloidge lösten Nahrungsquellen zu erschließen, sie auf osmotischem Wege aufzunehmen.

Für Protozoen liegen experimentelle Daten vor, die uns zurückhalten, die Pütter'schen Anschauungen für das Protistenreich allgemein anzunehmen.

Öhler⁷⁾ wies nach, daß von 5 Amoebenspezies keine „flüssiges Eiweiß und Pepton, sowie gelösten Zucker zum Wachstumsansatz verwenden könne“. Es mußte den Amoeben lebende oder tote Bakterien, also geformte Nahrung geboten werden, um sie lebensfähig zu erhalten, obwohl nach Öhler alle 5 Formen peptische Fermente ausscheiden. In einer zweiten Arbeit⁸⁾ konnte Öhler für 2 Flagellatenformen, *Bodo* und *Prowazekia*, und für einen Ciliaten, *Colpoda Steini*, das gleiche Verhalten nachweisen. „Die genannten Protozoen sind auf körnige Bakteriennahrung eingestellt. Gelöste Nahrung wird nicht oder wenigstens nicht in genügender Menge aufgenommen, um das Leben zu fristen und eine gedeihliche Weiterzucht zu ermöglichen.“ Wichtig erscheint mir noch die Beobachtung, daß diese Formen, Ciliaten und Flagellaten „Verdauungskünstler“ sind. „Sie bewältigen in kürzester Zeit eine unglaubliche Menge von Bakteriennahrung.“

Sind diese Formen, die durch das Verhältnis Oberfläche:Volum relativ günstig stehen, bereits an geformte Nahrung gebunden, so müssen die bedeutend größeren Formen der Rotatorien und Cruster viel schlechter abschneiden.

Es drängt sich mir die Ansicht auf, daß ein Organismus, der seinen Stoffwechsel auf rein osmotischem Wege bewältigt, an enge Grenzen seiner Größenentwicklung gebunden ist, sei er nun selbständig wie ein Bakterium, oder einem höheren System eingeordnet wie ein Blutkörperchen. Es wird die Relation: Oberfläche zu Volum, genauer: stoffaustauschende Fläche zu Volum eine gewisse Grenze nicht überschreiten können, da vielleicht die Regulation des Stoffaustausches, die Selbststeuerung der Zelle unmöglich würden. Es scheint mir, daß da, wo die Erscheinung der Diffusion, der Quellung und Entquellung beim Stoffaustausch in den Hintergrund treten, wo osmotische Prozesse dominieren, eine gewisse Größenordnung nicht überschritten werden kann, mit anderen Worten, daß Organismen von einer gewissen Größenklasse an auf geformte Nahrung angewiesen sind.

Zum Schlusse möchte ich noch die Zahlen, die in den drei genannten Arbeiten niedergelegt sind, sprechen lassen. Berechnen wir aus den in diesen Arbeiten angeführten Tabellen den Wohnraum, der auf ein Individuum entfällt, mit dem darin enthaltenen Nannoplankton, so kommen wir auf Zahlen, die für das Nannoplankton schwanken von 1100—1200 als untere, bis 18000 Nannoplanktonten als obere Grenze für ein Rädertier, enthalten in Räumen, deren Maße sich bewegen zwischen 0,7 ccm bis 150 ccm.

7) Öhler: Amoebenzucht auf reinem Boden. Archiv für Protistenkunde. 37. Bd. 1917.

8) Öhler: Flagellaten und Ciliatenzucht auf reinem Boden. Archiv für Protistenkunde. 40. Bd. Heft 1. 1919.

Das Jagdgebiet variiert um das 100—200fache, die darin enthaltene Individuenzahl etwa um das 10fache. Mit diesen Werten läßt sich nicht viel anfangen.

Nehmen wir den Satz Pütter's: Oberfläche der Produzenten gleich Oberfläche der Konsumenten, der im Anfang dieser Zeilen zitiert wurde, als richtig an, so gibt uns das in den drei Arbeiten niedergelegte Zahlenmaterial die Möglichkeit, die These mit Hilfe dieser gefundenen Werte für das Süßwasser zu prüfen.

Ich will den Weg rückwärts verfolgen. Durch Überschlagsrechnung setze ich die Oberfläche eines Rotators fest und stelle den Ansatz auf:

Oberfläche der Rotatorien in bestimmtem Räume gleich Oberfläche des Nannoplanktonen und dessen Individuenzahl im gleichen Raume. Die Oberfläche eines Nannoplanktonen als Kugel vorgestellt ist hierbei die gesuchte, unbekannte Größe, x also der Durchmesser eines Nannoplanktonen. Auf welche Größenordnung komme ich, und welche Schlüsse erlauben die Resultate?

In Dieffenbach's Tabellen sind die Zahlen für Cladoceren und Copepoden, die in jenen Teichgewässern ebenfalls vorhanden sind und Nahrungskonkurrenten der Rotatorien darstellen, nicht vorhanden. Das wird das Resultat beeinflussen. Ein Vergleich mit Colditz' und eigenen Angaben läßt dies auch erkennen, doch wird sich das Resultat nicht entkräften lassen.

Dieffenbach, S. 26, Tab. 5 vom 1. IX. 10. Im September sind die Maxima der Cladoceren in derartigen Gewässern meist geschwunden, sodaß deren Einfluß möglichst ausgeschaltet sein soll.

$$\frac{\text{Rotat. Zahl} \times \text{Oberfläche}}{10000} = \frac{\text{gesuchte Oberfl.} \times \text{Zahl d. Nannopl.}^9}{15}$$

Wir müssen noch die Rädertier-Oberflächen berechnen; es wird angenommen als Kugel von 120 μ Durchmesser. (*Thriarthra* 100—120 μ , *Polyarthra* 120—160 μ , *Anuraca* ohne Dornen bis 100 μ Länge. Die großen Asplanchnen gleichen sich gegen die dünnen, schlanken Rotiferen aus.) Vielleicht ist dieser Durchmesser etwas zu gering.

$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} &= 4\pi r^2 = 4\pi 3600 \mu^2 \\ &= 45200 \mu^2 \end{aligned}$$

45 000 μ^2 wird als Rotatoroberfläche in Rechnung geführt.

Dieffenbach S. 26. Tab. 5 vom 1. IX. 10.

$$\text{Oberfläche } x^2 = 2 \mu^2$$

x nahe bei 1 μ , als Durchmesser eines Nannoplanktonen, gedacht als Kugel.

$$\begin{array}{l|l} \frac{1}{2} \text{ m I } & x^2 = 1,3 \mu^2 \\ & x \text{ etwas unter } 1 \mu. \end{array} \quad \begin{array}{l|l} 1 \text{ m I } & x^2 = 3 \mu^2 \\ & x = 1 \mu. \end{array}$$

Die Durchmesser sind abgelesen oder geschätzt nach Pütter's, Tabelle S. 14 seines Werkes.

Dieffenbach, Tab. 8, S. 27.

9) Dieffenbach filtrierte 10 l Wasser für Zooplankton und zentrifugierte 15 cem.

Ufer 7. Sept. $x^2 = 5\mu^2$
 x zwischen 1
 und 2μ ,
 näher bei 1μ

$\frac{1}{2}$ m 7. Sept. $x^2 = 6,8\mu^2$
 x zwischen 1 und 2μ ,
 näher bei 1μ

Oberfläche 7. Sept. $x^2 = 3\mu^2$
 x nahe bei 1μ

1 m 7. Sept. $x^2 = 9\mu^2$
 x zwischen 1 und 2μ ,
 näher bei 1μ .

Zusammengefaßt: Aus Dieffenbach's Angaben lassen sich Werte berechnen, die einen Durchmesser von 1—2 μ für einen Nannoplanktonen als Kugel gedacht ergeben.

Ich gehe zu den Tabellen von Colditz über und mache den gleichen Ansatz. Dort sind alle Gruppen zahlenmäßig vertreten: Rotatoroberfläche = 45 000 μ^2 .

1 Copepode wird vorgestellt als Säule von 2 mm Länge, 0,25 mm Breite.

$$\begin{aligned} \text{Oberfläche} &= 2r\pi \cdot h \\ &= 2 \cdot 120\mu \cdot 3,14 \cdot 2000\mu \\ &= 1,5 \text{ mm}^2 = 1500000 \mu^2. \end{aligned}$$

Diese Zahl ist zu hoch angesetzt, weil kein Unterschied gemacht wird zwischen Nauplien und erwachsenen Exemplaren. Sie wirkt auch ungleichmäßig gegen die vielleicht zu klein angesetzte Rotatoroberfläche. Es wird sich gleichgültig für das Resultat erweisen!

$$\begin{aligned} 1 \text{ Cladocere gleichgesetzt zwei Kreisflächen Radius} &= \frac{1}{2} \text{ kürzester} \\ \text{Schalendurchmesser} &= \frac{1}{2} \cdot 500\mu \text{ Cladoceren-Oberfläche} \\ &= 2r^2\pi\mu^2 \\ &= 2 \cdot 250^2 \cdot 3,14\mu^2 \\ &= 386000\mu^2. \end{aligned}$$

Ich setze

$$\frac{\text{Rot. Oberfl.} + \text{Cop. Oberfl.} + \text{Clad. Oberfl.}}{20000} = x^2 \frac{\text{Nannoplankton}^{10)}}{10}$$

Colditz Tab. 17, S. 601, 26. IX. 12.

Oberfl. $x^2 = 10\mu$ x wenig unter 2μ	1 m Tiefe $x^2 = 30\mu^2$ x sehr wenig über 3μ
7 m $x^2 = 12\mu^2$ x sehr nahe 2μ .	

Als Stichproben seien noch herausgegriffen:

Colditz, Tab. 18, S. 602 nachts
 Oberfläche $x^2 = 9\mu$
 x wenig unter 2μ .

Colditz, Tab. 22, S. 607
 Eisdecke Oberfläche $x^2 = 11\mu^2$
 x wenig unter 2μ .

Aus den Tabellen von Colditz läßt sich als Durchmesser eines

10) Colditz filtrierte 20 l und zentrifugierte 10 cem.

Nannoplanktonten ein Wert berechnen, schwankend zwischen 1—2 μ (—3 μ).

Als letzte Werte sollen solche eines tiefen Seengebietes herangezogen werden. Die ersten stammen aus Flachteichen, die Tabellen von Colditz geben die Verhältnisse mitteltiefer Seen.

Für tiefe Seen, für den Zuger-See, ist die Betrachtung eine schwierige. Es müssen die starken Wanderungen der Entomostraken, die geringeren der Rotatorien berücksichtigt werden. Die negativ-heliotaktischen Formen weichen tagsüber in die Tiefe; die Hauptmasse der Entomostraken befindet sich in den Tagesstunden in den Schichten unter 15—20 m, nachts zwischen 0—15 m. Die Rotatorien zeigen tags eine zonare Schichtung mit maximaler Anhäufung zwischen 2—5 m, nachts erfüllen sie die oberen 10 m ziemlich gleichmäßig, vermutlich unter dem Drucke der konkurrierenden, nach oben drängenden Entomostraken. Tagsüber sind die oberen Schichten vom Zooplankton entvölkert, nachts stark belebt bis überhäuft, wie die Zahlenreihen zeigen werden.

Lantzs, Tab. S. 682, 3. Aug 12 für Rotatorien.

3. Aug. 12 0 m $x^2 = 0,5\mu^2$ x stark unter 1 μ	1 m $x^2 = 1,5\mu^2$ x unter 1 μ
2 m $x^2 = 3\mu^2$ x nahe 1 μ	5 m $x^2 = 1,2\mu^2$ x unter 1 μ .
optimale Zone der Rotatorien	

Lautzsch, zusammengefaßte Tabellen S. 670 für Entomostraken
S. 685 für Rotatorien.

Nachtfang: 0 m $x^2 = 130\mu^2$ x nahe bei 6,5 μ	Übervölkerung.
Tagfang: 0 m $x^2 = 0,1\mu^2$ x weit unter 1 μ	Untervölkerung.
Nachtfang: 5 m $x^2 = 143\mu^2$ x nahe bei 6,5 μ	Übervölkerung.
Tagfang: 5 m $x^2 = 10\mu^2$ x nahe bei 2 μ	normal.
Nachtfang: 10 m $x^2 = 1370\mu^2$ x bei 20 μ	starke Übervölkerung.
Tagfang: 10 m $x^2 = 63\mu^2$ x wenig über 4 μ	

Nachts zeigen die oberen Seeschichten starke Übervölkerung durch Zooplankton. Ihr Vorrat an Nannoplankton muß also abnehmen, statt wie zu erwarten ist, zunehmen; denn in den Nachtstunden müßten die Teilungen des Phytoplanktons eintreten. Nichts dergleichen. wir haben vielmehr starke Abnahme zu verzeichnen.

Tabelle S. 670.

Cyclotellen bei 10 m Nachtfang : Tagfang = 430 : 1700.
 Gesamtnannoplankton " : " = 700 : 2375.

Tabelle S. 671 zeigt das gleiche Verhalten.

Gesamtnannoplankton bei 10 m
 Nachtfang : Tagfang = 1785 : 10150.

Für die Schichten des Zuger-Sees zwischen 5—10 m gilt tags ein Wert, der schwankt von 1—2 μ (— 4 μ), obere Schichten unter 1 μ .

Nachts dagegen ein ganz anderes Bild; es variieren die errechneten Werte zwischen 6,5—20 μ . Das bedeutet Übervölkerung und Inanspruchnahme des Stammkapitals, der Nahrungsreserven des Nannoplanktons, das in der Dämmerung und tagsüber wieder durch Teilung ergänzt werden muß.

Wie haben wir den Wert von 1—2 μ als Nannoplanktondurchmesser aufzufassen? Es ist ein ziemlich konstanter Faktor, trotz des abweichenden, schwankenden Bildes, das die tiefen Seen bieten. Es liegt in einer Größenordnung, wie ihn Bakterien aufweisen. Die Nannoplanktonten kommen in der Rechnung viel zu klein heraus, d. h. daß bedeutend mehr Nannoplankton den Konsumenten zur Verfügung steht, als theoretisch nach dem Oberflächensatz Pütter's zu erwarten ist. Das weist aber nachdrücklich darauf hin, daß wir nicht mit dem Oberflächengesetz, mit den Körperflächen rechnen dürfen, sondern die Körpervolumina das Ausschlaggebende sind.

Man könnte einwenden, die Oberfläche der Zooplanktonten sei zu klein angesetzt. Überschlagen wir deshalb die Oberfläche eines Nannoplanktonten.

Cryptomonas ovata	—30 μ	Länge, gleichgesetzt einer Kugel von 15 μ Durchmesser
Chroococcus	3—6 μ	" " " " " " " " " " " "
Cyclotella	12—30 μ	" " " " " " " " " " " "
Staurastrum	—25 μ	" " " " " " " " " " " "
		39 μ Durchmesser
als Durchschnittswert	$\frac{39}{4} \mu$	oder 10 μ .

Führe ich diesen Durchschnittswert von 10 μ als Durchmesser in obige Gleichung: Konsumoberfläche = Produzentenoberfläche ein, so kann ich die Oberfläche des Zooplanktons vergrößern im Verhältnis von $10^2 : 2^2 = 100 : 4$, d. h. etwa um das 25fache; sicher ist die Konsumoberfläche nicht um so viel zu klein angesetzt.

Wenn der Oberflächensatz Pütter's sich an den Zahlen, wie sie für das Süßwasser gefunden worden sind, nicht realisiert: es erweist sich die Konsumentenoberfläche zu klein im Verhältnis 1:25, oder die Produzentenoberfläche ist 25fach größer als die der Konsumenten, so drängt sich die Frage nach dem Verhältnis der Volumina auf. Es sei noch ein Voluminaüberschlag angeführt.

Ein Rotator wird gleichgesetzt einer Kugel mit 120 μ Durchmesser, wie oben.

$\begin{aligned} \text{Rot.-Volum} &= \frac{4}{3}\pi r^3 \\ &= \frac{4}{3}\pi \cdot 60^3 \mu^3 \\ &= 902900 \mu^3 \\ \text{oder angenähert} &= 1000000 \mu^3 \end{aligned}$		$\begin{aligned} \text{Copep.-Volum einer Säule gleich-} \\ \text{gesetzt:} &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\ &= 120 \mu^2 \pi \cdot 2000 \mu \\ &= 90500000 \mu^3. \end{aligned}$
---	--	--

Die Cladoceren machen Schwierigkeiten, um das Körpervolum zu berechnen. Nehmen wir an, daß sich die Länge zum Querdurchmesser wie 4:1 verhält, so können wir diese Organismen als runde diskusartige Scheibe auffassen.

$$\begin{aligned} \text{Volum} &= r^2 \cdot \pi \cdot h \\ &= 250 \mu^2 \cdot \pi \cdot 60 \mu \\ &= 11775000 \mu^3 \\ &= 12000000 \mu^3. \end{aligned}$$

Diese Zahlen werden eingesetzt, um das Zooplanktonvolum pro 1 ccm Wasser zu berechnen.

Colditz, Tab. XVII, S. 601. Oberfläche:

$$\frac{1000000 (8600 + 1000 \cdot 90,5 + 5500 \cdot 12)}{20000}$$

$$= 8255000 \mu^3 \text{ Zooplankton pro 1 ccm.}$$

Nannoplanktonvolum pro 1 ccm

$$= \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \frac{219000}{10}$$

$$= 11332000 \mu^3.$$

Das Volumverhältnis Zooplankton : Nannoplankton pro 1 ccm stellt sich also angenähert auf

$$1 : 1.$$

Gleiche Tabelle. 5 m Tiefe:

$$22300000 \mu^3 \text{ Zooplankton} \\ \text{pro 1 ccm}$$

$$10524000 \mu^3 \text{ Nannoplankton} \\ \text{pro 1 ccm}$$

oder angenähert 2 : 1.

Die übrigen Volumverhältnisse, wie sie aus den Tabellen von Colditz zu berechnen sind, müssen sich in den Grenzen des ersten Beispiels bewegen, also 1:1, da die Nannoplanktondurchmesser bei 2 μ liegen wie im ersten Beispiele.

Beim Zuger-See muß sich in den Fällen, wo die Durchmesser des Nannoplanktons unter 1—2 μ liegen, ein starkes Überwiegen des Nannoplanktonvolumens gegen das des Zooplanktons zeigen. Wie liegen die Verhältnisse in den nachts stark überfüllten Schichten.

Lantzs, Tab. S. 670 und 685.

5 m Tagfang:

$$\text{Zooplankton } 58850 \mu^3 \\ \text{pro 1 ccm}$$

$$\text{Nannoplankton } 58000 \mu^3 \\ \text{pro 1 ccm}$$

also 1 : 1.

5 m Nachtfang:

Zooplankton 646 800 μ^3
pro 1 ccm

Nannoplankton 40 200 μ^3
pro 1 ccm

16 : 1.

Es muß also das Stammkapital, die Nahrungsreserve, angegriffen werden. Um wieviel, frage ich.

Wenn wir annehmen, daß sich innerhalb 3 Tage und Nächte das Nannoplankton aufs Doppelte vermehrt — diese Teilungsgeschwindigkeit wird im allgemeinen angenommen —, so müßte die in Tab. S. 680 mit 5 m angegebene Nannoplanktonzahl sich um ein Drittel steigern, von 3355 auf 4450 Nannoplanktonten pro 30 ccm. Diese haben ein Volum von 77 200 μ^3 pro ccm. 646 800 μ^3 Zooplankton — es sei diese Ausdrucksweise gestattet — frißt also 77 200 — 40 200 μ^3 Nannoplanktonten = 37 000 μ^3 , das sind fast 6 % des Eigenvolums.

Gleiche Tabelle. Fang aus 10 m Tiefe:

Tagfang: Zooplankton 184550 μ^3
pro 1 ccm

Nannoplankton 41500 μ^3
pro 1 ccm

Nachtfang: Zooplankton 1127500 μ^3
pro 1 ccm

Nannoplankton 12000 μ^3
pro 1 ccm.

Machen wir wieder die gleiche Annahme, daß sich das Nannoplanktonvolum um ein Drittel in einer Nacht vermehre, so verzehren die Zooplanktonten eine Quantität, die annähernd 4 % ihres Eigenvolums entspricht.

In der Tabelle S. 670 folgt der Tagfang dem Nachtfang, in der Tabelle S. 671 ist das Verhalten des Nannoplanktons: Abnahme bei Nacht, zu konstatieren und hier geht der Tagfang voraus. Beide Tabellen zeigen in dem Verhältnis der Nannoplanktonquantitäten des Tages und der Nacht, wie die Algen nachts als Nahrungsquelle beansprucht, wie sie gefressen werden. Eine Regeneration des disponiblen Algenquantums muß von den oberen Schichten aus erfolgen, die tagsüber nicht beansprucht werden.

Das gleiche Verhalten, Abnahme des Nannoplanktons nachts, zeigt der Mansfelder-See, nur im abgeschwächteren Maße.

Colditz, Tab. XVII, S. 601. Tagfang vom 26. IX. 1912 12—1 p. m.

„ „ XVIII, S. 602. Nachtfang „ 27. IX. 1912 1—2 p. m. n.

Tagfang Oberfl.: Zooplankton 8255000 μ^3 Nannoplankton 11426000 μ^3
pro 1 ccm pro 1 ccm

Nachtfang „ : Zooplankton 13000000 μ^3 Nannoplankton 10043300 μ^3
pro 1 ccm pro 1 ccm

Bei gleicher Annahme wie oben, ergibt der Überschlag 40 % des Eigenvolums, das vom Zooplankton verzehrt wird.

Tagfang $\frac{1}{2}$ m: Zooplankton 21511750 μ^3 Nannoplankton 11197000 μ^3
pro 1 ccm pro 1 ccm

Nachtfang $\frac{1}{2}$ m: Zooplankton 18313750 μ^3 Nannoplankton 10575700 μ^3
pro 1 ccm pro 1 ccm

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1921

Band/Volume: [41](#)

Autor(en)/Author(s): Lantzsch Kurt

Artikel/Article: [Bemerkungen und Zahlen zur Pul`tter'schen Hypothese.
122-134](#)