

Prom.-Nr. 3443

Die Bedeutung des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton

Qualitative und quantitative Untersuchungen im Zürichsee,
Pfäffikersee und anderen Seen

Von der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der
Naturwissenschaften
genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

Vorgelegt von

MARIANNE PAVONI
diplomirte Naturwissenschaftlerin ETH
von Zürich

Referent: Herr Prof. Dr. O. Jaag
Korreferent: Herr Prof. Dr. H. Kern

Buchdruckerei Birkhäuser AG, Basel
1963

Separatdruck aus Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie
Band XXV, Heft 2/1963 **Birkhäuser Verlag Basel**

Meinen lieben Eltern

Leer - Vide - Empty

Die Bedeutung des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton

*Qualitative und quantitative Untersuchungen im Zürichsee,
Pfäffikersee und anderen Seen*

Von MARIANNE PAVONI, dipl. sc. nat.

Manuskript eingegangen am 5. August 1963

INHALT

A. <i>Einleitung</i>	220
B. <i>Methoden</i>	222
C. <i>Das Phytoplankton des Zürichsees</i>	229
1. Allgemeines	229
2. Die beobachteten Phytoplankter	230
a) Artenliste	232
b) Bemerkungen zu einzelnen Organismen	232
c) Beobachtete Organismen im Vergleich zu früheren Arbeiten	241
3. Jahreszeitliches Auftreten	248
4. Die vertikale Verteilung des Phytoplanktons	249
5. Biomasse und prozentuale Verteilung des Phytoplanktons	249
D. <i>Das Phytoplankton des Pfäffikersees</i>	264
1. Allgemeines	264
2. Die Artenliste der Phytoplankter	265
3. Jahreszeitliches Auftreten	268
4. Die vertikale Verteilung der Planktonorganismen	271
5. Biomasse und prozentuale Verteilung des Phytoplanktons	272
6. Nannoplankton und Stoffkreislauf	276
7. Vergleich Zürichsee–Pfäffikersee	283
E. <i>Untersuchung des Phytoplanktons verschiedener Seen</i>	285
1. Allgemeines	285
2. Chemische Charakterisierung der Seen	286
3. Resultate der Planktonproben	293
a) Brienersee	293
b) Thunersee	295

c) Walensee	297
d) Sempachersee	299
e) Zürichsee	301
f) Hallwilersee	303
4. Vergleich der Resultate der untersuchten Seen	305
a) Qualitative Zusammensetzung des Planktons	305
b) Vertikale Verteilung der Planktonorganismen	315
c) Die Biomasse	318
F. <i>Schlussbemerkungen</i>	320
1. Nannoplankton und Zusammensetzung des Phytoplanktons	320
2. Nannoplankton und Biomasse	321
3. Nannoplankton und Individuenzahlen	325
4. Nannoplankton und Stoffkreislauf	327
G. <i>Zusammenfassung und Summary</i>	328
<i>Literaturverzeichnis</i>	332

A. Einleitung

Mit dem Begriff «Nannoplankton» umschrieb LOHMANN [35] die Gesamtheit jener kleinsten Schwebeorganismen, welche durch Planktonnetze nicht mehr erfasst werden können und die erst durch den feinen Fangapparat der Appendikularien und durch die Zentrifuge erschlossen worden sind. Die Entdeckung des Nannoplanktons durch LOHMANN brachte eine völlig neue Welt äusserst kleiner und zarter Organismen mit sich. In den folgenden Jahren erschienen dann eine Reihe von Arbeiten, die zeigten, wie gross der Anteil des Nannoplanktons am Gesamtplankton ist [35, 54, 56, 58], welche Bedeutung ihm bei der Primärproduktion [21] und für die Ernährung des Zooplanktons zukommt [33] und mit welchen Methoden diese Nannoplankter am besten erfasst werden können [74, 75].

Auch in der Schweiz erfuhr die Planktonforschung durch die neuen Erkenntnisse einen Auftrieb. So verarbeitete LANTZSCH, um die Beziehung zwischen Zentrifugen- und Netzplankton und Zooplankton festzustellen [33], Proben aus dem Zugersee. BACHMANN untersuchte, hauptsächlich in qualitativer Hinsicht, das Zentrifugenplankton des Vierwaldstättersees [3] und des Rotsees [4]. Während FLÜCK [16] einen Beitrag zum Phytoplankton des Brienersees lieferte, in welchem er die zu untersuchenden Proben zentrifugiert hatte, liegt in der Arbeit von COSANDEY [13] eine ausführliche hydrobiologische Studie über den Lac de Bret vor. COSANDEY schätzte die Verteilung der Organismen aus dem

Zentrifugentrückstand von Wasserproben. Die neueste Arbeit, in der das Nannoplankton berücksichtigt wurde, erschien von CHRISTEN [12] über die Hauserseen. In ihr sind chemische und biologische Resultate mehrerer Untersuchungsjahre dargestellt und das gesamte Plankton bearbeitet. Neben einer weitaus grösseren Zahl einzelner Arbeiten von kurzfristigen Planktonuntersuchungen in Schweizer Seen – eine Zusammenstellung derselben finden wir in MÄRKI [41] – blieb es jedoch in bezug auf die Formen des Nannoplanktons bei den erwähnten Veröffentlichungen.

Systematische Untersuchungen über das Nannoplankton im Vergleich zum üblichen Netzplankton von Schweizer Seen liegen eigentlich nicht vor. Und so kann man sich bei biologischen Untersuchungen, bei denen nur Netzfänge ausgeführt wurden, eines unsicheren Gefühls nicht erwehren, nämlich, ob man nun wirklich die wichtigsten und den grössten Teil der Planktonorganismen erfasst hat, gerade weil man von anderen, gründlichen Arbeiten weiss, dass die kleinen Organismen oft einen wesentlichen Teil am Gesamtplankton ausmachen [21, 35, 54, 56, 58]. Die Erfahrung hat wohl gezeigt, dass jeder See einen eigenen Lebensraum mit seinen charakteristischen Umweltsbedingungen darstellt und daher Resultate nur mit Vorsicht verallgemeinert werden dürfen. Es ist also gut möglich, dass im einen See fast reines Nannoplankton vorliegt, in einem andern hingegen zu gleicher Zeit neben kleinen, vorwiegend grössere Formen vorkommen. Wir empfinden es jedoch als Lücke oder Nachlässigkeit, von vorneherein anzunehmen, dass die kleinen Organismen nicht berücksichtigt zu werden brauchen, und zwar gerade heute im Zusammenhang mit der zunehmenden Gewässerverschmutzung durch Abwässer.

In der vorliegenden Arbeit setzten wir uns zum Ziel, die qualitative Zusammensetzung des Nannoplanktons in Schweizer Seen zu prüfen und insbesondere seinen quantitativen Anteil am Gesamtplankton zu bestimmen, um daraus zu ermitteln, ob das Nannoplankton für die Gesamtproduktion eines Sees von Bedeutung und bei Planktonuntersuchungen zu berücksichtigen ist. Für eine möglichst umfassende Abklärung dieser Probleme hätte eine grosse Anzahl verschiedener Seen untersucht werden sollen; es zeigte sich jedoch sehr bald, dass es für einen einzelnen Bearbeiter fast unmöglich ist, mehrere Seen nebeneinander regelmässig zu besuchen und die laufenden Probeserien innert nützlicher Zeit zu bearbeiten. So blieben von dem anfänglich umfangreichen Programm nur noch Untersuchungen am Zürichsee, welche in den Jahren 1958/59 durchgeführt worden sind. Die Wahl fiel auf diesen See, weil er dem Arbeits-

platz am nächsten liegt, ferner weil die Probenahme in Verbindung mit den regelmässigen Erhebungen des Chemischen Laboratoriums der Stadt Zürich stattfinden konnte. Ausserdem stand uns das Zahlenmaterial der EAWAG von ausgezählten Schöpfproben aus dem Pfäffikersee vom Jahre 1961 zur Verfügung. Ferner wurden zur Zeit der Sommerstagnation 1961 in sechs verschiedenen Seen chemische und biologische Proben erhoben.

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. O. JAAG, Direktor der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, gebührt mein aufrichtiger Dank für sein wohlwollendes Entgegenkommen und seine verständnisvolle Förderung meiner Arbeit. Er ermöglichte mir unter anderm auch einen viermonatigen, unvergesslichen Studienaufenthalt an der Biologischen Station Lunz in Niederösterreich. Ganz besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. H. Ambühl, Leiter der limnologischen Abteilung der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung. Er stellte seine planktologischen und chemischen Analysenresultate des Pfäffikersees zur Verfügung und bereitete bereitwillig das Manuskript; vor allem aber unterstützte und ermunterte er mich stets mit Rat und Tat und vielen wertvollen Hinweisen. Gerne gedenke ich der Gespräche mit Herrn PD Dr. K. Wuhrmann, dem ich manch kritische, wohldurchdachte Bemerkung verdanke. Sodann ist es mir eine angenehme Pflicht, den Mitarbeitern des Chemischen Laboratoriums der Stadt Zürich, speziell Herrn Dr. P. Zimmermann und den Herren H. Gasser und B. Kim, für all die Wasserproben des Zürichsees, die sie mir im Laufe der Jahre 1958 und 1959 in entgegenkommender Weise geholt haben, meinen aufrichtigen Dank auszusprechen. Herrn dipl. ing. agr. W. Rüegg möchte ich für seine hilfreichen Dienste bei Exkursionen an verschiedene Seen ebenfalls danken. Frau P. Weber danke ich herzlich für ihre zuverlässige Zählarbeit des Pfäffikersee-Planktons. Schliesslich gilt mein Dank allen, welche meine Arbeit in irgendeiner Weise gefördert haben.

B. Methoden

Für die *quantitative Untersuchung* des Planktons sind schon zahlreiche Methoden ausgearbeitet worden. Mit Hilfe der einen versuchte man die Organismen getrennt zu erfassen [74, 75], mit anderen wiederum auf schnellem und einfachem Weg ein Bild von der Produktion in einem See zu erhalten [39, 60]. Mehrere Autoren befassen sich eingehend mit all den möglichen Bestimmungsarten, indem sie dieselben kritisch beleuchten

und neue Methoden vorschlagen [7, 10, 38, 40, 52]. Die gründlichste Methode, die uns ein einigermaßen zutreffendes Bild vom biologischen Zustand eines Sees gibt, ist bis heute immer noch die Auszählmethode im Umkehrmikroskop nach UTERMÖHL [74, 75]. Allerdings entstehen auch bei dieser Methode von der Probenahme bis zum Schlussresultat einige Fehler, die bei der Beurteilung der Ergebnisse, welche ja nie absolute Werte darstellen, vorsichtige Formulierung verlangen.

Eine erste Fehlerquelle liegt schon beim Erheben der Stichproben im See. Je nach Art der Planktonform und Situation der Witterung entstehen verschieden dichte Ansammlungen der Organismen, so dass, um gesicherte Durchschnittswerte zu erhalten, eigentlich an mehreren Stellen Proben genommen werden müssten. Diese Tatsache kommt in einer

Tabelle 1

Individuenzahlen je Liter aus 10 Flaschenzügen

Zürichsee, 21. Juli 1961	max.	min.	\bar{x}	s
<i>Oscillatoria rubescens</i>	315400	244700	282900	271000
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i>	66800	35900	53000	14800
<i>Rhodomonas lacustris</i>	982200	448900	573960	304000
<i>Phacotus lenticularis</i>	105200	800	54200	47500
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	22631000	9342000	12378000	4760000
<i>Actinastrum hantzschii</i>	4600	1200	2800	1200

einmaligen Probeserie vom Zürichsee zum Ausdruck (vgl. Tab. 1). Dazu wurden an einem windstillen Tag mit einem Friedingerschen Wasserschöpfer an der gleichen Stelle aus 5 m Tiefe zehn Proben erhoben, von denen je 50 ml in Absetzkammern gebracht wurden. Sechs häufig vorkommende Organismen von unterschiedlicher Form wurden ausgezählt, nämlich: zwei Flagellaten (*Rhodomonas lacustris* und *Phacotus lenticularis*), zwei fädige (*Oscillatoria rubescens* und *Oscillatoria obliqueacuminata*), eine kugelige, unbewegliche (*Chlorella pyrenoidosa*) und eine koloniebildende Form (*Actinastrum hantzschii*). Begreiflicherweise weist *Phacotus* die grösste Streuung auf, da diese Form eine relativ starke Eigenbewegung besitzt und zu Schwarmbildung neigt, was schon beim lebenden Material unter dem Mikroskop in der Kammer festgestellt werden kann. THOMAS beschrieb das Auftreten eines *Phacotus*-Schwarmes im Zürichsee infolge Sprungschichtneigung nach einem Sturm [66]. Selbst in der Schöpfflasche konnte *Phacotus* dichtere Ansammlungen bilden, was aus Tab. 2 ersichtlich ist, in welcher die Individuenzahlen derselben Organismen aus 5 × 50 ml Wasser aus einer einzigen Stichprobe zusammengestellt

Tabelle 2

Individuenzahlen je Liter, bestimmt aus 5 × 50 ml Wasser desselben Flaschenzuges

Zürichsee, 21. Juli 1961	max.	min.	\bar{x}	s
<i>Oscillatoria rubescens</i>	388 000	268 700	306 100	20 900
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i>	65 800	48 400	55 200	7 600
<i>Rhodomonas lacustris</i>	595 600	447 800	538 700	136 600
<i>Phacotus lenticularis</i>	46 600	850	20 500	23 300
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	16 726 000	11 500 000	13 023 000	2 119 000
<i>Actinastrum hantzschii</i>	3 300	2100	2 500	1 400

sind. *Rhodomonas* zeigt eine viel geringere Eigenbewegung und dementsprechend auch ein ausgeglicheneres Verteilungsbild. Auffallend gleichmässig verteilt sind die fädigen Formen, während die protococcale, kugelige Form stark streuende Zahlen bildete. Diese Abweichungen sind wohl auf die hohe Individuenzahl zurückzuführen, welche erforderte, dass die Proben verdünnt werden mussten. Aus den Zahlen beider Tabellen ist deutlich zu sehen, dass bei quantitativen Planktonuntersuchungen mit Schwankungen der Organismenzahlen gerechnet werden muss, doch ergeben die Zahlen mit wenigen Ausnahmen (z. B. *Phacotus*) ein durchschnittliches Bild über das quantitative Auftreten der Organismen, ob sie nun in Tausenden (*Actinastrum*), Hunderttausenden (*Oscillatoria*, *Rhodomonas*) oder Millionen (*Chlorella*) pro Volumeneinheit zu finden sind. Schon RUTTNER [60] schreibt, dass «Schwankungen von 10% oder 20% in der Planktonstatistik nichts besagen» (S. 146). Obgleich man während der Arbeit, besonders beim Berechnen und Auswerten, an den Ergebnissen manchmal zweifeln möchte und oft wünschte, absolutere Zahlenwerte vor sich zu haben, muss man sich immer wieder bewusst sein, dass die mit dieser Methode erhaltenen Resultate trotzdem noch die sicherste Grundlage für die biologische Beurteilung der Seen bildet.

Ein Nachteil bei der Methode UTERMÖHL ist allerdings der grosse Zeitaufwand, den sie beansprucht. Man braucht sich daher nicht zu wundern, weshalb wohl ein Grossteil der Seen – und dazu gehören auch die Schweizer Seen – biologisch nicht gründlicher untersucht worden sind. Häufig nimmt man lieber gewisse Fehler in Kauf und sucht immer wieder nach einer Methode, die den eher mühsamen Arbeitsgang des Auszählens, insbesondere der kleinen Formen, abkürzt. Ein solcher Versuch wurde zum Beispiel bei Routineuntersuchungen in schweizerischen Seen durchgeführt, bei denen man, neben den chemischen Analysen, auf möglichst einfachem Weg und in möglichst kurzer Zeit auch ein Bild vom biologischen Zustand der betreffenden Gewässer zu erhalten hoffte. Dabei wurden

geschöpfte Wasserproben durch einen Trichter mit eingespanntem Phytoplanktonnetzchen filtriert und der Rückstand in Utermöhl-Absetzkammern ausgezählt. Diese Proben hatten gegenüber den gewöhnlichen Netzproben den Vorteil, dass man die filtrierte Wassermenge genau kannte.

Der Vergleich solcher «Trichterproben» mit unveränderten Schöpfproben ist in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt. Diese beiden Aufstellungen zeigen, dass die kleinen Formen zum Teil vollständig durch die Maschen schlüpfen; aber auch die grösseren Formen, vor allem fädige

Tabelle 3

Vergleich zwischen Schöpfproben und Trichterproben

Pfäffikersee, 24. Febr. 1961	5 m			10 m		
	S	T	% ¹⁾	S	T	%
<i>Kephyrion</i> spp.	9300	—	—	29100	—	—
<i>Ochromonas</i> sp.	280000	—	—	84800	1600	0,5
<i>Rhodomonas lacustris</i>	731400	5500	0,5	560000	5100	0,9
<i>Cryptomonas ovata</i>	124400	1200	1,0	114200	700	0,2
<i>Mallomonas</i> sp.	73300	240	0,3	22900	850	3,7
<i>Gymnodinium helveticum</i>	3300	6	0,2	2200	60	2,7
<i>Peridinium cinctum</i>	—	52	—	—	16	—
cf. <i>Ellipsoidion</i> sp.	16545200	6	—	23971900	—	—
<i>Staurastrum</i> sp.	—	28	—	—	—	—
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	4443400	26200	0,6	3995500	61100	1,5
<i>Melosira granulata</i> var. ang.	—	60	—	—	—	—
<i>Asterionella formosa</i>	1000	3300	275	2800	2300	82,0

S Schöpfprobe T Trichterprobe ¹⁾ T in % von S

Tabelle 4

Vergleich zwischen Schöpfproben und Trichterproben

Zürichsee, 29. Sept. 1958	2,5 m			5 m		
	S	T	% ¹⁾	S	T	%
<i>Oscillatoria rubescens</i>	258100	12100	4,7	163000	9000	5,5
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i>	3839700	9200	0,2	1966600	5900	0,3
<i>Pseudanabaena catenata</i>	43700	—	—	28500	—	—
<i>Anabaena planctonica</i>	300	1	0,3	400	5	1,2
<i>Platymonas cordiformis</i>	80	—	—	+	—	—
<i>Katablepharis ovalis</i>	72800	—	—	56300	—	—
<i>Rhodomonas lacustris</i>	2256500	—	—	600000	—	—
<i>Cryptomonas ovata</i>	64400	60	0,1	31000	—	—
<i>Gymnodinium helveticum</i>	700	—	—	1400	—	—
<i>Ceratium hirundinella</i>	1400	660	40,0	31000	—	—
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	311300	—	—	238400	—	—
<i>Planctomyces bekefii</i>	153800	—	—	+	—	—
<i>Asterionella formosa</i>	2800	3300	118,0	4400	3600	83,0
<i>Fragilaria crotonensis</i>	5000	9500	190,0	15800	11600	73,0

S Schöpfprobe T Trichterprobe ¹⁾ T in % von S

Algen (*Oscillatoria rubescens*) gehen verloren¹⁾). Es entsteht nicht nur ein Bild, das proportional unterschiedliche Individuenzahlen pro Volumeneinheit aufweist, sondern wir erhalten überhaupt Zahlen, die eine irreführende quantitative Planktonzusammensetzung ergeben.

Für unsere Untersuchungen des Nannoplanktons erwies sich das direkte Auszählen der Organismen als das geeignetste Verfahren, mit welchem die Arten getrennt erfasst werden können, obgleich wir dadurch nur den momentanen «standing crop» bekommen und obgleich man heute mehr und mehr auf chemisch-physikalischen Wege, zum Beispiel mit der O₂- und vor allem der neuesten, der C₁₄-Methode die Produktion messen und einen Einblick in die Aktivität der Organismen erhalten kann [19, 60].

Für unsere Untersuchungen wurden vom Dezember 1957 bis zum Dezember 1959 an der tiefsten Stelle des Zürichsees (134 m) Proben geholt, und zwar im ersten Jahr mit wenigen Lücken alle vierzehn Tage, im zweiten nur noch alle vier bis sechs Wochen. Um die vertikale Verteilung des Planktons zu erfassen, wurden soweit möglich in folgenden Tiefen Stichproben erhoben und verarbeitet: 0, 2,5, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 60, 100, 134 m. Von jeder Tiefenstufe wurden 100 ml für die quantitative Untersuchung abgefüllt und sofort mit JKJ-Lösung nach UTERMÖHL fixiert. Um Schöpf- und Trichterproben miteinander zu vergleichen, wurden während einiger Monate 2 l Wasser aus den entsprechenden Tiefen durch den obenerwähnten Filtertrichter filtriert und der Rückstand mit Formol fixiert. Ferner dienten jeweils einige Tiefenproben zur sofortigen Untersuchung der lebenden Organismen, da sich dieselben durch das Fixieren, vor allem durch Quellungserscheinungen, bis zur Unkenntlichkeit verändern können, zum Beispiel *Gymnodinium*arten, kleine Flagellaten oder auch koloniebildende Formen, wie *Uroglena*, die beim Fixieren vollständig in die einzelnen Zellen zerfallen, oder auch die *Dinobryon*zellen, die zum grossen Teil stark deformiert aus ihren Bechern schlüpfen. Dazu wurden jeweils 15 ml Wasser der unfiltrierten Wasserprobe während dreier Minuten bei etwa 1600–1800 Umdrehungen pro Minute zentrifugiert, und zwar in Zentrifugengläsern, wie sie schon LOHMANN [36] beschrieben hat. Das Sediment des in der Spitze hängenden Tropfens wurde im Umkehrmikroskop in einer Utermöhl-Kammer betrachtet.

¹⁾ Auffallend sind die Zahlen der beiden charakteristischen, grossen Netzplanktonorganismen *Asterionella* und *Fragilaria*, die in den Trichterproben zum Teil in grösserer Menge vorhanden waren als in den entsprechenden Schöpfproben. Diese Unterschiede können damit erklärt werden, dass die Formen in zu geringer Anzahl in den rund 50 ml einer Wasserprobe (wie sie für die Absetzproben gebraucht wurden) enthalten waren, somit nicht genügend, um gesicherte Werte zu erhalten.

Auf diese Weise musste kein Deckglas gebraucht, und die Organismen konnten, ohne zerdrückt zu werden, längere Zeit als unter dem gewöhnlichen Lichtmikroskop beobachtet werden. Dies ist eine gute Methode, die RUTTNER in seinen Kursen an der Biologischen Station in Lunz immer empfohlen hatte. Die systematische Bestimmung der Phytoplankter erfolgte hauptsächlich nach den üblichen Bestimmungswerken [9, 18, 26, 49, 62, 63], wobei das vorzügliche Werk SKUJAS in erster Linie für die Bestimmung der kleinen Formen diene. Die quantitative Bestimmung erfolgte, wie schon erwähnt, durch Auszählen der Organismen. Dazu wurden jeweils 50 ml Wasser in Röhren-Verbundkammern abgefüllt. Die gefüllten Röhren wurden 48 Stunden stehengelassen, so dass sich alle Organismen auf dem Deckglasboden vollständig sedimentieren konnten. Das Auszählen der Organismen erfolgte im Zeiss-Umkehrmikroskop nach UTERMÖHL, je nach Grösse der Formen, mit 16-, 40- oder 100-Objektiv.

Die ausgezählten Organismen wurden auf Individuenzahlen im Liter umgerechnet. Da aber die Individuenzahlen wegen der sehr unterschiedlichen Grösse der Planktonorganismen kein Bild der tatsächlichen Biomasse zu vermitteln vermögen, schien es zweckmässiger, wie schon LOHMANN [35] und RUTTNER [54, 55, 56, 58, 59] und später auch GRIM [20, 21] und WILLÉN [76-78], das Planktonvolumen zu bestimmen, obwohl man sich dabei bewusst war, dass diese umständliche Art von Berechnung Ungenauigkeiten und grosse Mehrarbeit mit sich bringt. Die Volumenbestimmung wurde durch Messen der verschiedenen Dimensionen der Organismen und durch Berechnung eines dem Organismus geometrisch ähnlichen Körpers ausgeführt. Berücksichtigt wurde auch wie RUTTNER [55] schon darauf hingewiesen hatte, dass viele Arten, wie zum Beispiel *Stephanodiscus*, *Rhodomonas*, *Oscillatoria*, je nach Jahreszeit verschiedene Zellausmasse besitzen. So wurden diese Grössen nicht nur einmal, sondern monatlich überprüft und gemessen, und ein Durchschnittsvolumen für die Massenbestimmung verwendet. Auf diese Weise erhielten wir zum Beispiel für einige Organismen des Zürichsees die Volumina, wie sie in Tab. 5 aufgeführt sind.

Ein Vergleich dieser Volumina untereinander zeigt eindrücklich den Unterschied, der entsteht, wenn die Zählergebnisse in Individuenzahlen sowie in Volumen pro Volumeneinheit zur Darstellung kommen.

Für die Totalvolumina wurden die Individuenzahlen mit den Einzelvolumen multipliziert und die Resultate in $10^6 \mu^3/l$ angegeben. Wenn man das spezifische Gewicht der Planktonorganismen ungefähr gleich 1

Tabelle 5

Volumina einiger Planktonorganismen

	μ^3
Nannoplankter	
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	4
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	180
<i>Rhodomonas lacustris</i>	100–190
<i>Erkenia subaequiciliata</i>	60–370
<i>Phacotus lenticularis</i>	270–400
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i> (Faden)	860
<i>Pseudanabaena catenata</i> (Faden)	1200
<i>Cryptomonas ovata</i>	700–2700
Netzplankter	
<i>Ceratium hirundinella</i>	60000
<i>Oscillatoria rubescens</i> (Faden)	36800
<i>Anabaena planctonica</i> (Faden)	31000
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Faden)	4300
<i>Synedra acus</i> var. <i>ang.</i>	3100
<i>Diatoma elongatum</i>	1100
<i>Fragilaria crotonensis</i>	800
<i>Asterionella formosa</i>	290

setzt, bedeuten diese Zahlen dann zugleich die Biomasse. So entsprechen $10^6 \mu^3$ -Organismen einer Masse von $1 \mu\text{g/l}$ oder 1mg/m^3 . Der Gebrauch dieser Masseinheiten ist von Vorteil, wenn chemische und biologische Resultate miteinander verglichen werden. Aus den berechneten Volumina kann der Planktongehalt oder die Biomasse der einzelnen Tiefenstufen oder, durch Interpolation der Tiefenstufenmengen, sogar der Planktongehalt einer ganzen Wassersäule von der Oberfläche bis zum Grund unter einer Flächeneinheit der Oberfläche bestimmt werden, zum Beispiel die Biomasse oder «standing crop», die unter 1cm^2 Seeoberfläche zur Zeit der Probenahme vorhanden war.

Um die Resultate einzelner Seeuntersuchungen in Kapitel E besser miteinander vergleichen zu können, wurden dort die Begriffe der «Halbwerttiefe» und der «unteren Verbreitung» angewendet, wie sie schon RUTTNER [58] in seinen Arbeiten eingeführt hatte. Nach RUTTNER ist die Halbwerttiefe und untere Verbreitung die Tiefe, wo noch die Hälfte der Biomasse zu finden ist, bzw. noch 10% der maximalen Individuenzahl vorhanden sind.

Der Begriff Nannoplankton. Wie wir bereits in der Einleitung kurz hingewiesen haben, sind nach LOHMANN Nannoplankter die kleinen Formen, die durch die Maschen des feinen Phytoplanktonnetzes hindurchschlüpfen. «Die kleinsten Formen haben eine Länge von nur 1μ ; ein Durchmesser von 25μ muss schon als gross gelten» [36]. Es gibt jedoch viele Formen,

so auch fädige und stäbchenförmige, die durch die Netzmaschen schlüpfen, auch wenn sie 100μ und mehr lang sind. Eine exakte Abgrenzung der Organismen ist somit nicht möglich, so dass die Aufteilung in Nannoplankton und Netzplankton ganz nach eigenem Gutdünken vorzunehmen ist. WILLÉN [76] zum Beispiel zählte unter das Nannoplankton Organismen, die höchstens in einer Richtung noch 60μ erreichen. Unsere Nannoplankter sind durchschnittlich $1-30\mu$ gross, dazu kommen feine, fädige und stäbchenförmige Organismen. Mit dem Kammverfahren nach UTERMÖHL jedoch können alle Formen erfasst werden, so dass man eigentlich nicht mehr zwischen Nanno- und Netzplanktern unterscheiden muss; in diesem Fall spricht man besser von *Absetz-* oder *Schöpfplankton*.

C. Das Phytoplankton des Zürichsees

I. Allgemeines

Der Zürichsee ist sowohl chemisch-physikalisch als auch planktologisch einer der meist untersuchten Seen der Schweiz. Seit der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts ist eine grosse Anzahl von Arbeiten über Untersuchungen und Beobachtungen erschienen, anhand welcher seine Entwicklung und sein plötzliches Umkippen von einem oligotrophen zu einem eutrophen Gewässer fast lückenlos verfolgt werden können. Der Hauptteil dieser Veröffentlichungen, insbesondere über chemisch-physikalische Untersuchungen sind in der Arbeit von ZIMMERMANN [79] zusammengestellt.

Das Plankton des oberen und unteren Zürichsees wurde Ende des letzten und zu Beginn dieses Jahrhunderts sowohl qualitativ als auch teilweise quantitativ verfolgt. Diese ersten Arbeiten sind bei MINDER [45, 47] und MÄRKI [41] erwähnt; die neueren planktologischen Beiträge sind im Literaturverzeichnis von JÄRNEFELT und THOMAS [28] zu finden. Das Plankton des Zürichsees ist den zahlreichen Arbeiten entsprechend recht gut bekannt. Dank der regelmässigen Untersuchungen im Laufe der letzten 70 Jahre liegt heute die interessante Geschichte des Planktons und seiner Entwicklung in Raum und Zeit qualitativ und zum Teil quantitativ vor. Es gibt wohl nur wenige Seen, bei denen das Neuauf-treten von Organismen, das häufig in Form von sogenannten Invasionen stattfand [47], und das Verschwinden bereits bekannter Arten über Jahre hindurch beobachtet wurde. Auffallenderweise fehlen in den meisten dieser Planktonlisten die Namen der kleinen Formen, obgleich das Nanno-

plankton schon um die Jahrhundertwende entdeckt worden ist. Erst in den neueren Zusammenstellungen von MESSIKOMMER [44], JÄRNEFELT und THOMAS [28] und THOMAS [68] wurden sie berücksichtigt, allerdings nur qualitativ, und in einzelnen, zufälligen Stichproben. Schon 1929 war sich MINDER bei seinen biologischen Untersuchungen dieser Lücke bewusst, und 1943 schrieb er: «Das Plankton des Zürichsees ist zwar nicht in allen Teilen gleichmässig untersucht. So ist das Nannoplankton so gut wie nicht bekannt.» Und: «Unsere Beschreibung der auffälligsten Umbildungen im Planktoncharakter muss sich demnach notgedrungen auf die grösseren Formen, die Organismen des Mikroplanktons (Netzplankton) beschränken. Ob und was für Wandlungen auch das Nannoplankton durchgemacht hat, wissen wir nicht.» Da das Netzplankton des Zürichsees gut bekannt und einfach zu charakterisieren ist, möchten wir unsere Ausführungen im wesentlichen auf die Nannoplankter unserer Schöpfproben beschränken und damit das bekannte, vielbearbeitete Netzplankton ergänzen. Wir beabsichtigten nicht, eine möglichst grosse Liste dieser kleinen Formen aufzustellen, sondern legten Gewicht vor allem auf die kleinen Phytoplankter, die während unserer Untersuchungsperiode quantitativ von Bedeutung waren.

2. Die beobachteten Phytoplankter

Die im Laufe der Untersuchungen im Zentrifugensediment beobachteten Organismen des Phytoplanktons sind in Abschnitt 2 *b* (S. 232 ff.) und Tab. 6, Kolonne 7, zu finden. Dazu sei bemerkt, dass die Zahl der Organismen bei weiteren, eingehenderen qualitativen Untersuchungen um einiges vergrössert werden könnte. Viele kleine, hauptsächlich farblose Flagellaten wurden nur bis zur Gattung bestimmt, weil dieselben oft nur in geringer Anzahl in den Proben vorhanden waren, was das exakte systematische Einordnen erschwerte.

In der Liste sind rund 130 Phytoplankter und 8 Bakterien zu finden, davon 70–80 Nannoplankter. Nur der kleinste Teil dieser Organismen ist jedoch quantitativ von Bedeutung. So wurden im ganzen rund 50 Formen ausgezählt, zur Berechnung der Biomasse 35 berücksichtigt und pro Probeserie durchschnittlich sogar nur 16 für die Berechnung der Biomasse verwendet (davon 6 Netz- und 8 Nannoplankter und 2 oligo-aerobe Formen aus dem Hypolimnion). Die jeweils ausgezählten Artenzahlen sind in Abb. 1, Netz- und Nannoplanktonformen getrennt, dargestellt. Daraus geht hervor, dass die Artenzahlen der Nanno- und Netz-

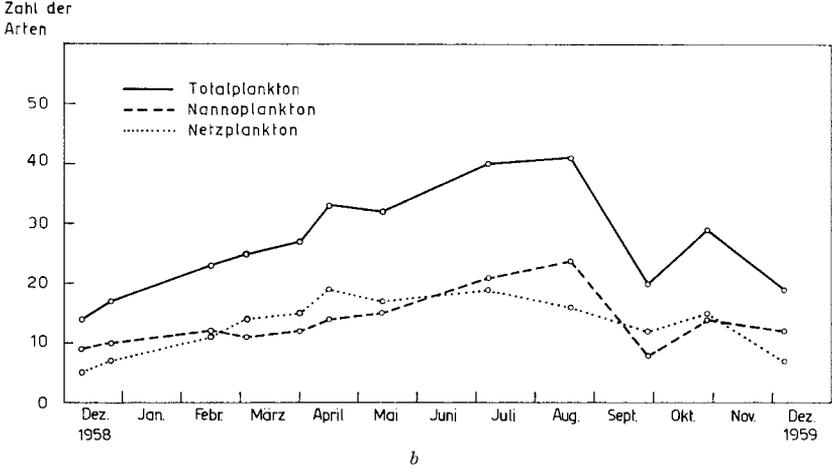
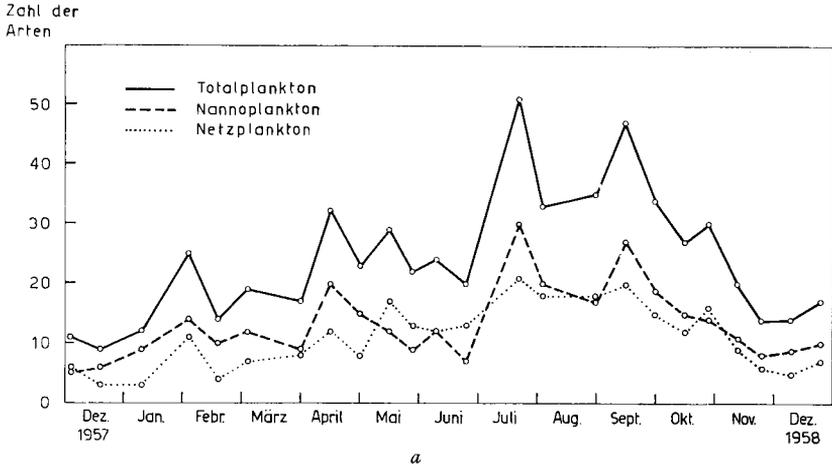


Abbildung 1a und b
 Zürichsee. Anzahl der ausgezählten Arten. a) Dezember 1957 bis Dezember 1958; b) Dezember 1958 bis Dezember 1959.

plankter das ganze Jahr hindurch ungefähr gleich gross sind und dass im Winter beide Gruppen die niedrigsten, im Sommer und frühen Herbst die höchsten Zahlen aufweisen.

Bemerkungen über einzelne Formen bezüglich Systematik, Auftreten und Verteilung, insbesondere der Nannoplankter, wurden in Abschnitt b (S. 232) unter den entsprechenden Organismen angebracht, diese sind nach der heute üblichen Einteilung geordnet.

a) *Artenliste (vgl. Tab. 6 unter c)*b) *Bemerkungen zu einzelnen Organismen*

BACTERIOPHYTA

Formen aus dem Kreise der Bakterien fanden sich hauptsächlich in Grundproben (134 m), während der Winter- und Frühlingsmonate. Obschon häufig in grosser Zahl vorhanden, fielen sie nie ins Gewicht im Verhältnis zur gesamten Biomasse des Phytoplanktons. Wohl haben wir diese Organismen soweit möglich und bestimmbar ausgezählt, doch darf diesen Werten nicht zu grosses Gewicht beigemessen werden, denn bei den Bakterienzahlen muss vermutlich noch mit viel grösseren Streuungen gerechnet werden als beim Phytoplankton, weil die Grundproben wahrscheinlich nie im gleichen Abstand von der Schlammoberfläche gefasst wurden. Gerade in einer Zone wie der Schlammoberfläche jedoch, wo intensive Abbauvorgänge stattfinden, sind diese Mikroorganismen in kleinsten Abständen verschieden eingeschichtet.

Leptothrix echinata Beger, Abb. 1*²): Die Form wurde schon von MINDER eingehend [46] besprochen. *Leptothrix echinata* trat fast das ganze Jahr hindurch, vor allem aber im Winter und Frühling mehr oder weniger zahlreich, vorwiegend in den Grundproben (134 m) auf. In den Proben vom Januar bis März 1958 war sie in allen Wasserschichten von 0–100 m gleichmässig verteilt, mit einem stark zunehmenden Maximum am Grund (meistens bis in die Millionen pro Liter). Die braunen Sterne lagen oft in unregelmässigen, teilweise dichten Ansammlungen beieinander, was das Auszählen erschwerte und die Zählresultate mit Fehlern belastete. Die Höchstzahl (9 Mio. Indiv./l) wurde im April 1958 (134 m) gefunden. Der volumenmässige Anteil dieser kleinen Formen ist unbedeutend (Höchstwert 0,047 mm³/l). Meistens wurde sie zusammen mit *Leptothrix* sp. angetroffen.

Leptothrix sp. (cf. *pseudovacuolata* [Berfiliev] Dorff.), Abb. 2*²): Die Fäden sind bis 110 μ lang, oft kürzer, das Trichom ist 1,5–1,7 μ breit, die Zellen 2,5 μ lang, die Scheide im Vergleich zu den anderen bei SKUJA [62] beschriebenen Arten dünn (Faden mit Scheide 1,8 μ breit), immer stark inkrustiert mit Eisen oder Mangan. Die Zellen sind an ihren Querwänden leicht eingeschnürt und voneinandergerückt. Endzelle stumpfkegelig. Am besten stimmt die Form mit der von SKUJA [58] beschriebenen *Leptothrix pseudovacuolata* überein. Einzig die Scheide ist auffallend dünn ausgebildet. Möglicherweise ist die Breite der Scheide wie bei gewissen fädigen Blaualgen je nach Umweltsbedingungen ein stark variables Merkmal. Die Form trat wie bei *Leptothrix echinata* hauptsächlich im Winter und Frühling in den Tiefenschichten oder bei Vollzirkulation gleichmässig über die ganze Wassersäule verteilt auf. Die grösste Menge betrug im Mai 1959 0,90 mm³, oder 1,54 mm³ unter 1 cm², was 14,4% des entsprechenden «standing crop» ausmachte.

Planctomyces bekefi Gimesi, Abb. 3*²): Ob *Planctomyces* zu den Pilzen oder zu den Bakterien gerechnet werden soll, kann auch SKUJA [63] nicht sicher entscheiden. Die äusserst zarten Kolonien sind meist 3-, 4-, 8-, 16- und mehrstrahlig. Am Ende der durchsichtigen, sich verjüngenden, oft bräunlichgelben, glatten, manchmal höckerigen (Eisenablagerung?) Strahlen sitzen kleine, farblose, homogene Kügel-

²) Zahlen mit Stern (*) bedeuten Abbildungen der Organismen auf Tafel 1–5.

chen von 0,5–0,8–1 μ im Durchmesser, oft 2–3 in einer Reihe (kolonienähnliche Abschnürungen). Die Stiellänge beträgt 2–6,4–12 μ . Wie die Vermehrung erfolgt, konnte nicht beobachtet werden. Auffallend häufig wurde die Form auf kugeligen Grünalgen sitzend angetroffen, vor allem auf *Gemellia neglecta* und *Sphaerocystis schröteri*, so dass man vermuten könnte, dass *Planctomyces* tatsächlich keine rein planktische Form ist. Die sternförmigen Kolonien traten hauptsächlich im Spätsommer und Herbst auf. Wir verfolgten ihr Auftreten nicht deshalb, weil sie an der Biomasse des Planktons viel ausmacht, sondern als interessante, noch wenig beachtete Form in der Planktonbiozönose. Die grösste Zahl erreichte sie im August 1958 mit 1,2 Mio. Individ./l (= 0,006 mm³/l) in der Tiefe von 9 m. Die maximale Tiefe, in der sie noch festgestellt werden konnte, betrug 30 m. Interessanterweise fiel das Individuenmaximum von *Planctomyces* oft mit demjenigen von *Oscillatoria rubescens* zusammen.

Pseudomonas sp. (cf. *ariston* Skuja), Abb. 4*: Das ganze Jahr hindurch begegneten wir in den Tiefenzonen, hauptsächlich am Grund, einem gutbeweglichen Bakterium. Es besitzt eine elliptische Form, ist 4,5 μ breit und etwa 9,5 μ lang. Die Vermehrung erfolgt durch Querteilung. Der Zellinhalt ist homogen, fein gekörnt, mit JKJ färbt es sich rotviolett an. Die Geisseln wurden erst mit Hilfe einer Färbung sichtbar und sind ein- bis eineinhalb körperlang. Vermutlich ist es eine *Pseudomonas*-art, deren physiologische Merkmale für eine exakte Artbestimmung in Kultur genommen werden müsste. Vergleicht man das Bakterium mit anderen beschriebenen Formen, so stimmt es in Aussehen und Grösse am besten mit *Pseudomonas ariston* Skuja überein. Die Höchstzahl beträgt 2,6 Mio. Individ./l und wurde im Februar 1958 gefunden. Auch in den Sommermonaten erreichte diese Form über 2 Mio. Individ./l.

Spirillum volutans Skuja, Abb. 5*: Sein Aussehen stimmt genau mit der Beschreibung und Abbildung von SKUJA [62] überein. In den Proben war es immer mit *Pseudomonas* sp. zusammen zu beobachten, besonders dann, wenn *Pseudomonas* häufig war.

Ochrobium tectum Perfiliev: Nie zahlreich, zusammen mit *Leptotrix ecbinata* und *Leptotrix* sp.

Siderocapsa geminata Skuja: Vereinzelt, mit den obenerwähnten Eisenbakterien.

CYANOPHYTA

Im Zürichsee sind verhältnismässig wenig Blaualgenarten gefunden worden, doch wie schon aus der Literatur zu entnehmen ist [47], prägt eine Blaualge als Charakteralge seit 1898 bis heute das Planktonbild dieses Sees, so dass er nicht nur allgemein als typischer Blaualgensee, sondern nach der Art als «*Oscillatoria-rubescens*-See» bezeichnet oder typisiert werden kann. Von den 12 Blaualgenarten zählen drei zu den Nannoplanktonen, wovon eine im Jahre 1958 in starker Massenfaltung aufgetreten ist.

Microcystis flos-aquae (Wittr.) Kirchn. em. W.-L.: Sie wurde nur in geringer Individuenzahl in den Planktonproben gefunden, vor allem im August 1959.

Aphanothece clathrata var. *brevis* Bachmann, vereinzelt.

Aphanocapsa delicatissima W. et G. S. West, vereinzelt.

Chroococcus limneticus Lemm., vereinzelt.

Coelosphaerium kützingianum Naegeli: Diese Blaualge wurde nur in der Probeserie vom 5. August 1958 gefunden. Sie erreichte ein Maximum von 438 000 Kolonien/l in 8 m Tiefe.

Gomphosphaeria lacustris Chodat, vereinzelt.

Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs.

Anabaena planctonica Brunnth.

Die drei letzten Formen traten hauptsächlich im Herbstplankton 1958 auf, doch nie in grosser, für die Produktion massgebender Zahl.

Pseudanabaena catenata Lauterb., Abb. 7*: Die Zellen sind 1,8–2–2,4 μ breit, 3,2 bis 5,6 μ lang, im Längsschnitt abgerundet rechteckig, durch starke Einschnürung deutlich voneinander getrennt. Die Zellen sind länger als diejenigen des Typus und breiter als bei der von SKUJA [62] beschriebenen Form. Das Ektoplasma ist homogen, das Entoplasma feinkörnig. Neben normal ausgebildeten Fäden, bei denen nur je 1–2 kleine Gasvakuolen an den Zellwänden ausgebildet waren, gab es Fäden mit zum Teil zahlreichen, stark lichtbrechenden, unregelmässig zerstreuten Körnern im Plasma. Normalerweise ist *Pseudanabaena catenata* eine benthische Form, was uns auch heute noch unsicher macht, ob diese freischwimmenden, oft zahlreich vorhandenen Trichome tatsächlich mit *Pseudanabaena catenata* identifiziert werden dürfen, obgleich Diagnose und Abbildung am besten mit dieser Art übereinstimmen. Auch andere Autoren (vgl. SKUJA 1956, S. 70) haben diese Fäden – obgleich mit einigen Zweifeln erfüllt – unter diese Art eingeordnet und beobachtet, dass benthische Formen leicht in die oberen Wasserschichten aufsteigen und sich dort als planktische Form weiterentwickeln können. Wie die meisten planktischen Blaualgen trat sie in den Herbstmonaten in den oberen Wasserschichten auf, mit einem Maximum von 265 000 Fäden/l im August 1959, in 2,5 m Tiefe.

Oscillatoria rubescens D.C.: Diese weitverbreitete, bekannte Form wird in einem der folgenden Abschnitte (s. S. 249 ff.) im Zusammenhang mit der Biomassentwicklung eingehender besprochen.

Oscillatoria obliqueacuminata Skuja, Abb. 8*: Trichome freischwimmend, an den Enden nicht verjüngt. Endzelle zugespitzt, teilweise fast krallenartig gebogen, stark vakuolisiert. Trichome nicht oder manchmal ganz leicht eingeschnürt. An den Querwänden beiderseits eine verschieden grosse, unregelmässig geformte Gasvakuole. In der Mitte der langen Zellen oft eine feine Gasvakuole, vermutlich an der Stelle, wo die neue Querwand gebildet wird. Zellen bläulichblass, Chromatoplasma homogen, vom feinkörnigen Ektoplasma getrennt. Zellen 4–6,4–8 μ lang, Trichome 1,6–2 μ breit. Die Form zeigt grosse Ähnlichkeit mit *Oscillatoria obliqueacuminata*, doch sind die Zellen der Zürichseeform viel schwächer eingeschnürt und die Endzellen stärker zugespitzt. Die Form steht aber auch *Oscillatoria Redeckei* van Goor (SKUJA [63], S. 63) nahe, doch unterscheidet sie sich deutlich von derselben durch die unterschiedliche Endzelle. Wir fanden die Form in den Schöpfproben vom August und September in den oberen Wasserschichten, zusammen mit *Oscillatoria rubescens* und *Pseudanabaena catenata* bis 3,8 Mio. Fäden/l in 2,5 m Tiefe am 29. 9. 58. In den Netzfängen ist sie nur ganz vereinzelt anzutreffen, so dass sie unter die Nannoplankter zu rechnen ist, wenngleich ihre Fadenlänge häufig 150 μ erreicht.

CHLOROPHYTA

Die Grünalgen waren quantitativ sozusagen unbedeutend. Die meisten Algen traten sprunghaft in den Sommermonaten auf, um nachher wieder vollständig zu verschwinden.

Polyblepharidinae

Collodictyon triciliatum Carter: Trat vor allem im Juli und August in den Oberflächenschichten auf, jedoch nie zahlreich.

Euchlorophyceae

Nephtroselmis angulata (Korschikow) Skuja: Vorkommen in den frühen Frühlingsmonaten, doch nie zahlreich.

Chlamydomonas spp.: Die grösste Dichte betrug 222 000 Indiv./l (24. Juni 1958).

Platymonas cordiformis (Carter) Korschikow, Abb. 9*: Höchstzahl 61 000 Indiv./l (2. März 1959).

Phacotus lenticularis Ehrnb.: Höchstzahl 54 000 Indiv./l (22. Juli 1958).

Eudorina elegans Ehrnb.: Vereinzelt auftreten.

Pandorina morum (Müller) Berg: Vereinzelt.

Gemmellicystis neglecta Teiling em. Skuja.

Gloeococcus schroeteri (Chod.) Lemm.: Vereinzelt.

Gloeocystis bacillus Teiling: Vereinzelt.

Characium gracilipes F. D. Lambert, Abb. 11*: Vereinzelt.

Lambertia judayi (G. M. Smith) Korschikow.

Pediastrum spp.: Alle *Pediastrum*-arten (vgl. Tab. 6) traten nur vereinzelt auf.

Oocystis spp.: Die Arten (vgl. Tab. 6) waren nie in bemerkenswerter Menge unter den anderen Phytoplanktonen zu finden.

Chlorella pyrenoidosa Chick, Abb. 10*: Zellen kugelig 1,6–4,8 μ im Durchmesser, wandständiger, ausgeschnittener Chromatophor mit grossem, lateralem Pyrenoid. Mutterzelle teilt sich in vier, wobei die gesprengte Muttermembran häufig noch an einer der vier Zellen hängenbleibt. Diese Form trat meistens mit anderen kleinen, kugeligen Grünalgen, vor allem mit *Coccomyxa minor* Skuja und *Stichococcus atomus* Skuja (im Text werden diese Formen oft unter dem Begriff « μ -Algen» zusammengefasst) zusammen, auf. Im Sommer 1958 erreichte sie 87,3 Mio. Indiv./l (5. August 1958).

Tetraëdron minimum var. *opiculato-scrubulatum* Skuja: Trat vor allem im Juni auf, und zwar nur vereinzelt.

Treubaria triappendiculata Bern.: Höchstzahl 19 500 Indiv./l (22. Juli 1958).

Scenedesmus spp.: Nie zahlreiches Auftreten.

Micractinium pusillum Frés.

Ankistrodesmus spp.: Nie zahlreich.

Conjugatae

Nicht von Bedeutung.

EUGLENOPHYTA

Euglena sanguinea Ehrbg.: Vereinzelt.

Trachelomonas volvocina Ehrbg.: Vereinzelt.

Menoidium incurvum (Frés.) Klebs: In den Grundproben nie häufig.

Astasia kathemerios Skuja: In den Grundproben nie häufig.

CHRYSOPHYTA

Chrysophyceae

In ansehnlicher Artenzahl vertreten, spielen die Chrysophyceen sowohl zahlen- als auch volumenmässig nur eine geringe Rolle im Zürichseeplankton, im Gegen-

satz zu den ostalpinen-, ostholsteinischen-, schwedischen- und vielen unserer Alpenrandseen, wo sie sich wenigstens zu gewissen Jahreszeiten in reicher Massenfaltung entwickeln.

Chromulina sp. Abb. 16*: Zellen rund, 5–6,4 μ Durchmesser, ein wandständiger Chromatophor, ein roter Augenfleck in der vorderen Zellhälfte. Im hinteren Zellteil fällt ein grosses, starkes, lichtbrechendes Korn auf, das fast ein Drittel des Zellraumes einnimmt. Eine pulsierende Vakuole ebenfalls in der hinteren Zellhälfte. Geissel halb so lang als der Körper. Die Form bewegt sich in langsamer Wellenbewegung hin und her schwankend vorwärts. Sie wurde nur in den Sommermonaten vereinzelt in den Oberflächenschichten angetroffen.

Kephyrion monilifera (G. Schmid) Bourr.

Kephyrion inconstans (G. Schmid) Bourr.

Kephyrion rubri-claustri Conr.

Kephyrion spirale (Lack.) Conr.

Pseudokephyrion entzii Conr.

Diese fünf kleinen, zierlichen Formen (Abb. 18–20*) wurden nie getrennt gezählt, da die einzelnen Arten immer nur vereinzelt angetroffen wurden und nie nur eine Art im Plankton vorhanden war. Am häufigsten waren *Kephyrion monilifera* und *Kephyrion inconstans*. Es sind ausgesprochene Frühlings- und Winterformen, und erreichten ihre maximale Entfaltung im April 1958 in 15 m Tiefe mit 61 200 Indiv./l. Volumenmässig bedeutungslos.

Chrysococcus rufescens Klebs (cf. *biporus* Skuja), Abb. 21*: Die Form stimmt mit der Beschreibung von SKUJA [63] weitgehend überein, nur unterscheidet sie sich durch ihren kleineren Durchmesser von durchschnittlich 6–7 μ und durch das stete Vorhandensein eines gut ausgebildeten, gleich grossen Antapikalporus. Vielleicht handelt es sich auch um *Chrysococcus biporus*. Ausser im März 1959 wurde die Form nur noch im Mai 1958 beobachtet.

Sphaeroeca volvox Lauterb.: In den JKJ-Proben waren die Kolonien in Einzelzellen zerfallen. Nur im September 1958 trat diese Form in grösserer Menge auf: 856 000 Zellen/l in 0 m.

Erkenia subaequiciliata Skuja, Abb. 22*: Eine typische Nannoplanktonform, die sich zur Zeit unserer Untersuchung in den Sommer- und Herbstmonaten, aber auch im Frühjahr im Plankton zeigte. Als wir diesen kleinen Chrysoflagellaten im Zentrifugenplankton bemerkten, brauchte es noch einige Zeit, um ihn richtig einzuordnen. Anfänglich wurde er beim Auszählen nicht berücksichtigt, sondern erst, als er in auffälliger Anzahl erschien. Kennt man ihn einmal, dann kann man ihn in den meisten Seen beobachten, in denen er mehr oder weniger häufig vertreten ist. Wegen seiner Kleinheit spielt dieser Organismus volumenmässig nur eine untergeordnete Rolle, obgleich er sich oft in grosser Zahl unter den andern Planktern vorfindet. Die zarten Zellen sind 4–5 μ lang, 3–4–6 μ breit und 2,5–3 μ dick, Sie besitzen zwei braungelbe, wandständige Chromatophoren mit zwei stark lichtbrechenden, relativ grossen Körnern. Zwei nur wenig verschieden lange Geisseln, von denen die längere 2–2½ mal so lang als die Zelle ist, dienen zur Fortbewegung.

Uroglena volvox Ehrnb.: Diese Form war nie häufig vorhanden. Leider zerfallen die Kolonien sehr schnell in die einzelnen Zellen, vorwiegend beim Fixieren mit

JKJ. Dadurch ist uns diese Form sicher oft entgangen. Wäre sie andererseits in grosser Anzahl vorgekommen, wäre das sofort ins Auge gefallen.

Dinobryon sociale Ehrnb.

Dinobryon divergens Ehrnb.

Dinobryon sertularia Ehrnb.

Dinobryon sociale var. *stipitatum* (Stein) Lemm.

Die *Dinobryon*arten wurden bei der quantitativen Auswertung immer zusammen berücksichtigt. *Dinobryon* fanden wir hauptsächlich in den Monaten Mai bis September und, weniger häufig, im März bis April. Eine bestimmte Reihenfolge im Auftreten der einzelnen Arten konnte nicht beobachtet werden. Auffallend war nur das gemeinsame Vorkommen von *Dinobryon sociale*, *Dinobryon divergens* und *Dinobryon sertularia* im August und September 1958 und im Juli 1959. Im JKJ-Präparat waren die Kolonien häufig in die einzelnen Gehäuse zerfallen und der Flagellat selber aus jenen herausgelöst.

Mallomonas caudata Iwan.

Mallomonas acaroides Perty.

Mallomonas elongata Reverdin.

Die *Mallomonas*arten waren nie in beträchtlicher Zahl zu finden, weshalb wir sie nicht quantitativ auswerteten. Meistens waren die Panzer der fixierten Organismen in die einzelnen Schüppchen und Nadeln zerfallen und bis zur Unkenntlichkeit verändert. Nur in den Zentrifugenproben sind die drei verschiedenen Arten systematisch bestimmt worden. Deutlich zeigte sich dabei, dass *Mallomonas caudata* eine Frühlingsform ist, *Mallomonas acaroides* die wärmeren Temperaturen (Juli) vorzieht und *Mallomonas elongata* hauptsächlich im Winter und Frühling das Plankton bereichert.

Bicoeca cf. *multiannulata* Skuja, Abb. 26*: Die Form ist sehr ähnlich der von SKUJA beschriebenen, Sie besitzt jedoch ein grösseres Gehäuse, bis 24 μ lang (bei SKUJA 8–15 μ), ferner eine gut ausgebildete, undulierende Membran, wie zum Beispiel *Bicoeca planctonica*, und im Gegensatz zu *Bicoeca multiannulata* Skuja zwei pulsierende Vakuolen am Grunde der Zellen. Die Zellen selber sind 8,6 μ lang (bei SKUJA 5–7 μ). Im Zürichsee wurde sie vereinzelt im September und August gefunden, ihr braungelbes, wunderschönes Gehäuse in den Winterproben oft am Grund.

Pseudopedinella erkensis Skuja, Abb. 23*: Dieser eigenartige, kleine Chrysoflagellat fällt meistens durch sechs Chromatophoren auf. Es gelang uns erst im Jahre 1961, sie lebend zu beobachten und nach SKUJA [62] zu bestimmen. Wir fanden diesen Nannoplankter vor allem in den Sommermonaten und im Herbst, jedoch nie sehr zahlreich. Er scheint wie *Erkenia* in den meisten unserer Seen vertreten zu sein, nur wird er wegen seines kleinen und zarten Baues gerne übersehen.

Monas sp.

Bodo sp.

Cercobodo sp.

Ochromonas sp., Abb. 25*.

Heterochromonas sp., Abb. 28*.

Bei der quantitativen Auswertung wurden diese Flagellaten zusammen berücksichtigt, da wir die Arten nicht genügend sicher bestimmen konnten. *Bodo* sp. und *Ochromonas* sp. waren das ganze Jahr hindurch in den Proben zu finden; *Ochromonas*

sp. entwickelte sich hauptsächlich im September 1958 und 1959, wo an der Oberfläche 948 000 Individ./l (1958) festgestellt wurden. *Bodo* sp. trafen wir eher in den tieferen Schichten, zum Teil auch in den Grundproben.

Diatomeae

Die Diatomeen sind neben der Blaualge *Oscillatoria rubescens* jene Algen, die im Phytoplankton des Zürichsees am meisten ins Gewicht fallen, jedoch nie eine ähnlich riesige Masse bildeten wie *Oscillatoria rubescens*.

Cyclotella comensis Grun.

Cyclotella comta (Ehrnb.) Kütz.

Cyclotella stelligera Cl. und Grun., Abb. 30*.

Cyclotella pseudostelligera Hustedt, Abb. 31*.

Cyclotella operculata (Ag.) Kg., Abb. 32*.

Cyclotella bodanica Eulenst.

Stephanodiscus hantzschii Grun.

Die zentrische Diatomee *Stephanodiscus hantzschii* war zur Zeit unserer Untersuchungen wohl der wichtigste Nannoplankter des Zürichsees. Er trat nicht nur zahlenmässig (27 Mio. Individ./l in 2,5 m, März 1959) dominierend in Erscheinung, sondern erreichte zur selben Zeit auch weitaus die grösste Biomasse (6,6 mm³ unter 1 cm²), mit der er die andern, zum Teil häufigen, grösseren Diatomeenarten übertraf. Seine üppigste Vegetationszeit herrschte im Frühling vor. In späteren Monaten war er nur noch vereinzelt in den Proben zu finden.

Stephanodiscus alpinus Hust.: Im Gegensatz zum Frühling 1959, wo *Stephanodiscus alpinus* sozusagen nie zu beobachten war, entwickelte er sich im Frühling 1958 in beachtlichen Mengen.

Stephanodiscus astraea (E.) Grun., nur ganz vereinzelt gefunden.

Diatoma elongatum Agardh.: Mit *Tabellaria* zusammen Hauptdiatomeenart des Monats Mai.

Nitzschia acicularis W. Sm.: Das ganze Jahr hindurch im Plankton zu finden, jedoch von geringer Bedeutung für das Plankton.

Fragilaria crotonensis Kitton: Trat nie in auffälliger Menge unter den Planktern hervor. Höchstentfaltung im April und Mai 1958, wo sie bis zu 10 000 Zellen/l bildete.

Fragilaria capucina Desm.: Immer nur vereinzelt Bänder.

Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kg. var. *asterionelloides* Grun.: Wie in den meisten Seen war sie auch im Zürichsee eine charakteristische Frühlingsform (und Frühsommer) mit der Höchstzahl von 217 000/l im Juni 1958 bei 9 m Tiefe.

Tabellaria flocculosa (Roth.) Kg.: Wenige Zickzackbänder im Sommer, die vermutlich vom Walensee herrühren, wo sie als ausgeprägte Massenform das Planktonbild beherrschen kann.

Melosira islandica var. *belvetica* O. Müller.

Melosira italica (E.) Kg.

Melosira varians C. A. Agardh.

Alle drei Arten waren nur vereinzelt unter den anderen Planktern anzutreffen.

Synedra acus var. *angustissima* Grun.

Synedra acus var. *delicatissima* (W. Sm.) Grun.

Synedra ulna (Nitzsch.) Ehrnb. var. *danica* (Kg.) Grun.

Von den drei verschiedenen Synedren war *Synedra acus* var. *del.* die häufigste Form.

Asterionella formosa Hassal.: Sie erreichte ihre maximalen Entwicklungen im Mai 1958 mit 1,7 Mio. Zellen/l in 10 m, 2,5 Mio. Zellen/l in 20 m und im März 1959 mit 1,5 Mio. Zellen/l in 0 m. Nach einer Entwicklungspause im Sommer begann sie sich im Herbst wieder zu entwickeln und war sonst das ganze Jahr hindurch mehr oder weniger stark im Plankton vertreten.

PYRROPHYTA

Cryptophyceae

Die Cryptophyceen umfassen kleinere, zarte Formen, die alle zu den Nannoplanktern gerechnet werden können. In Netzzügen beachtet man sie vereinzelt nur, wenn grosse Entfaltungen derselben im Wasser stattfanden. Die Arten, die wir im Zürichsee feststellten, sind weitverbreitete, in all unseren Seen und zu allen Jahreszeiten auftretende Flagellaten. Das Bestimmen derselben bereitete Mühe, da sie nur relativ kurze Zeit lebend beobachtet werden konnten, sich innert kurzer Zeit deformierten oder platzten. Ja, es bereitete sogar manchmal Mühe, die Gattungen *Rhodomonas* und *Cryptomonas* voneinander zu unterscheiden. FOTT [17] weist mit Recht darauf hin, dass den verschiedenen Formen dieser Gattungen vermehrte Aufmerksamkeit geschenkt werden und dass man sie exakter beschreiben und zeichnen sollte, um abzuklären, welche Formen wohl nur Lokalrassen darstellen und im Grunde genommen zusammengehören, ferner, welche Merkmale wirklich als konstant und damit als Bestimmungsmerkmale gebraucht werden dürfen (z. B. Farbe, Grösse).

Rhodomonas lacustris Pascher et Ruttner, Abb. 33*: Dieser Organismus ist zahlenmässig wohl einer der wichtigsten Nannoplankter des Zürichsees, wo er, mit Ausnahme einer Probeserie im August 1958, immer zu finden war. Im Jahre 1958 zeigte er ein ausgesprochenes Frühjahrsmaximum und ein kleineres in den Herbstmonaten. Im Juli/August jedoch fielen die Zahlen fast auf Null zurück. Im Jahre 1959 konnte eine maximale Entwicklung im frühen Frühjahr (März) festgestellt werden, die im April allerdings schon auf das Minimum zurückfiel. Die nächste starke Vermehrung erfolgte dann, im Gegensatz zum Vorjahr, im Mai und Juli. Dafür wurde in den Herbstmonaten keine auffällige Bildung der Biomasse mehr beobachtet. Wie schon erwähnt, waren die beiden Untersuchungsjahre schwer miteinander zu vergleichen, da erstens das Wetter im Jahre 1958 abnormal kalt und regnerisch, im Jahre 1959 überdurchschnittlich sonnenreich war, und zweitens, da im Jahre 1959 nicht mehr so viele Proben untersucht werden konnten. In bezug auf die vertikale Verteilung wies *Rhodomonas* unterschiedliche Bilder auf. Bis auf die Sommermonate erreichte er im allgemeinen ziemlich grosse Tiefen. Die höchste Individuenzahl wurde am 2. März 1959 in 5 m Tiefe erreicht mit 3,8 Mio. Indiv./l, ferner am 29. April 1958 in 10 m Tiefe mit 1,8 Mio. Indiv./l und am 7. Juli 1959 in 5 m Tiefe mit 1,9 Mio. Indiv./l und 2,2 Mio. Indiv./l am 29. September 1958 in 2,5 m. Am 10. Juni 1958 mit 1,4 Mio. Indiv./l in 0 m.

Rhodomonas lens Pascher et Ruttner: Diese *Rhodomonas*art war im Zürichseeplankton vorhanden, jedoch immer in sehr viel kleinerer Zahl als *Rhodomonas lacustris*, so dass diese Form mit *Rhodomonas lacustris* zusammengezählt wurde.

Cryptomonas ovata Ehrnb., Abb. 34*: Dieser Flagellat war das ganze Jahr unter den Planktonformen des Zürichsees zu finden. Zusammen mit *Cryptomonas erosa* und

den beiden *Rhodomonas*arten, *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens*, erreichte er das Maximum am 27. Mai 1958 mit 259 000 Indiv./l in 5 m Tiefe.

Chilomonas cryptomonadoides Skuja, Abb. 36*: Die Monade zeigt weitgehend Ähnlichkeit mit von SKUJA beschriebenen *Chilomonas cryptomonadoides*. Nur reichte der Schlund nur bis zur Mitte der Zelle oder war noch etwas kürzer. Stärkekörner konnten sowohl auf der apikalen Dorsalseite als auch auf der ganzen Ventralseite nachgewiesen werden. Ferner sind feine Längslinien zu erkennen. Wir fanden die Form auf dem Grund des Zürichsees, vor allem in der Probeserie vom 14. April 1958.

Katablepharis ovalis Skuja, Abb. 37*: Dieser kleine, zarte, farblose Kryptoflagellat war das ganze Jahr hindurch in den Wasserproben zu finden. Besonders zahlreich, jedoch nie von grosser Bedeutung für die Biomasse, nur während der ersten Frühjahrsentfaltung. Dieser Nannoflagellat fiel durch sein eigenartiges Vorwärtsbewegen auf, indem er seine beiden langen Geisseln nach hinten gerichtet hat. Lange Zeit war er unbestimmbar, da die kleinen, wenigen Trichozyten meistens durch viele, stark lichtbrechende Körner nicht zu beobachten waren. Zelle 7,2–12 μ lang, 4,8–6 μ breit, oval bis ellipsoidisch, hinten abgerundet, vorn leicht abgerundet zugespitzt, Geisseln zwei, ungleich lang, seitlich inseriert, die längere etwa 16 μ , die kleinere etwa 9 μ lang. Meistens sind einer bis mehrere braune bis orangefarbene Körper vorhanden und ein grösseres, lichtbrechendes, weissliches Korn. Der Organismus ist weit verbreitet, in Gewässern von verschiedenem Trophiegrad.

Cyatbomonas truncata (Fres.) Fisch., Abb. 38*: Mit 4,8–7,2 μ Breite und 8,8–10 μ Länge sind die Ausmasse unserer Form etwas kleiner als diejenigen der beschriebenen Form. Im übrigen stimmen die Formen gut mit dem Typus überein. Dieser Flagellat wurde hauptsächlich in den Sommermonaten unter den andern Planktonformen gefunden, doch nie in ausserordentlicher Entfaltung.

Peridineae

Amphidinium turicense Huber-Pestalozzi: Diese kleine Peridinee war nur im Dezember 1957 und Januar 1958 im Plankton aufgetreten.

Gymnodinium helveticum Penard: Eine typische Form, vorwiegend des Metalimnions, liegt vor in der Peridinee *Gymnodinium helveticum*, die wir fast das ganze Jahr, hauptsächlich aber im Herbst und Winter, in unseren Proben vorfanden. Die vertikale Verteilung stimmt weitgehend mit den Beobachtungen RUTNERS (Lunzer Seen) überein.

Gymnodinium lantzebachii Utermöhl, Abb. 39*: Zellen 13–(20,8–23,4) μ lang und 13–(20,6–26) μ breit. Apikalteil flach bis flach-kegelförmig abgerundet, meistens etwas kleiner als der Antapikalteil. Querfurche deutlich, Längsfurche auf der Hypovalva schwach angedeutet. Hyalines Plasma mit stark lichtbrechenden, kleinen Körnern. Chromatophor fehlt, doch ist meistens ein gelbbraunes oder orangefarbenes Korn vorhanden (Reservestoffe?), Zellkorn gross, befindet sich oft seitlich in der Nähe der Querfurche oder in der Hypovalva. Längsgeissel ungefähr körperläng. Leider ist der Organismus nur kurze Zeit unter dem Mikroskop zu beobachten, da er sehr schnell aufhört, sich zu bewegen und sich dann gleich abrundet. Am besten passt dieser Flagellat mit dem *Gymnodinium lantzebachii* zusammen. Im Zürichsee trat er vor allem im Frühling in Erscheinung. Am 2. März 1959 bis zu 134 000 Indiv./l in 2,5 m Tiefe.

Peridinium cinctum (Müller) Ehrnb.

Peridinium willei Huitf.-Kaas.

Peridinium inconspicuum Lemm.

Ceratium hirundinella (O. F.) Schwank.

Alle vier obenerwähnten Formen, wovon *Peridinium inconspicuum* einziger Nannoplankter, waren im Sommerplankton des Zürichsees, nie sehr zahlreich, vertreten.

c) Beobachtete Organismen im Vergleich zu früheren Arbeiten

Das Plankton des Zürichsees wurde im Laufe der vergangenen 70 Jahre wiederholt qualitativ und quantitativ untersucht. Es ist deshalb nicht uninteressant, sämtliche seit 1897 (SCHRÖTER) in der Literatur erschienenen Angaben über das Phytoplankton zu vergleichen. In Tab. 6 sind die betreffenden Phytoplankter systematisch und nach Autoren in chronologischer Ordnung zusammengestellt, wobei Algennamen der heute gültigen Bestimmungsliteratur (vgl. S. 227) angeglichen wurden.

In dieser Aufstellung kommen einerseits die verschiedenen Untersuchungsmethoden deutlich zum Ausdruck. SCHRÖTER [61] und LOZERON [37] beobachteten vorwiegend die mit Hilfe von Netzzügen angereicherten Organismen, womit sie im wesentlichen nur die grösseren und in belangloser Zahl die kleinen Formen erfassten, und diese auch nur dann, wenn sie in starker Entfaltung im Plankton vertreten waren. STEINER [64] und MINDER [45] zählten Schöpfproben in Kolkwitzkammern aus. Diese Autoren bekamen dadurch wenigstens ein quantitativ richtiges Bild von den grösseren Formen; die kleinen Organismen, vor allem die kleinen Flagellaten, konnten jedoch wegen der Dicke der Kammer nicht bestimmt oder überhaupt nicht beobachtet werden. Mit beiden Methoden also können zur Hauptsache nur Netzplankter verarbeitet werden. MESSIKOMMER [44] bestimmte aus Netzzügen, Kratz- und Schlammproben sowohl die Litoral- als auch die Planktonalgen des Zürichsees. Seiner Probenahmetechnik entsprechend finden wir in seiner Arbeit die pflanzlichen Planktonorganismen zahlreicher vertreten, darunter auch kleinere Organismen, vor allem Diatomeen, die im Schlamm besser als andere Algen erhalten bleiben. In der zweitletzten Kolonne in Tab. 6 finden sich Organismen aufgeführt, die aus zwei Arbeiten stammen (THOMAS [68]; JÄRNEFELT und THOMAS [28]). Da beide Probenahmen in Form von Schöpfproben, in denen die kleinen Formen systematisch in Betracht gezogen worden sind, erfolgten, ergaben sich eine ganze Reihe neuer Nannoplankter. Andererseits spiegelt sich in dieser Aufstellung sicher auch die allgemeine Entwicklung des Phytoplanktons im Zürichsee während der letzten Jahrzehnte wider, wobei besonders die Zunahme der Artenzahl der Grünalgen ins Auge springt.

Tabelle 6

Phytoplankton des Zürichsees

	Schröter 1897	Lozeron 1902	Steiner 1925	Minder 1926	Messikommer 1954	Thomas 1957 Järnel., Thom. 59	Untersuchungen 1958 und 1959
Na Nannoplankter * erstmals erwähnt	1	2	3	4	5	6	7
BACTERIOPHYTA							
Na* <i>Planctomyces bekefii</i> Gimesi							+
CYANOPHYTA							
<i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittr.) em. W. L. Teiling Kirchn.					+		+
Na* <i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. und G. S. West							+
<i>Aphanothece clathrata</i> var. <i>brevis</i> Bachmann							+
* <i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.							+
* <i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chod.							+
<i>Coelosphaerium kützingianum</i> Naeg.	+	+	+		+		+
Na* <i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb.							+
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb.	+	+	+	+	+		+
<i>Anabaena planctonica</i> Brunth.					+	+	+
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> L. Ralfs						+	+
<i>Oscillatoria rubescens</i> D.C.		+	+	+	+	+	+
Na* <i>Oscillatoria</i> cf. <i>obliqueacuminata</i> Skuja							+
Na* <i>Oscillatoria</i> cf. <i>planctonica</i> Wol.						+	
<i>Oscillatoria subuliformis</i>		+					
CHLOROPHYTA							
Polyblepharidinae							
Na* <i>Collodictyon triciliatum</i> Carter							+
Euchlorophyceae							
Na* <i>Nephroselmis angulata</i> (Korschikow) Skuja							+
Na <i>Carteria</i> sp.						+	+
Na* <i>Platymonas cordiformis</i> (Carter) Korschikow							+
Na <i>Chlamydomonas</i> spp.						+	+
Na <i>Chlorogonium</i> sp.							+
Na <i>Phacotus lenticularis</i> Ehrnb.					+	+	+
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory	+	+	+	+	+	+	+
<i>Eudorina elegans</i> Ehrnb.	+	+	+	+	+	+	+
Na <i>Gemmellicystis neglecta</i> Teiling em. Skuja	+				+	+	+
<i>Gloeococcus schroeteri</i> (Chod.) Lemm.		+		+	+	+	+
<i>Gloeocystis bacillus</i> Teiling							+
Na* <i>Characium gracilipes</i> F. D. Lambert							
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen.					+		+
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh.			+				+
Na* <i>Pediastrum tetras</i> (Ehrnb.) Ralfs							+
Na* <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Chick							+
Na <i>Brachionococcus chlorelloides</i> Naum.						+	
<i>Chodatella citrififormis</i> Snow							+
Na <i>Oocystis marssonii</i> Lemm.							+
Na <i>Oocystis lacustris</i> Chod.			+		+	+	+

Tabelle 6 (Fortsetzung)

	1	2	3	4	5	6	7
<i>Na</i> <i>Oocystis borgei</i> Snow						+	
<i>Na</i> <i>Oocystis parva</i> West et West						+	
<i>Nephroclytium agardhianum</i> Naeg.					+		+
<i>Na</i> * <i>Tetraëdron minimum apiculato-</i> <i>scrobulatum</i> Skuja							+
<i>Na</i> * <i>Treubaria triappendiculata</i> Bern.							+
<i>Scenedesmus quadricauda</i> Turp. em. Chod.						+	+
<i>Scenedesmus arcuatus</i> Lemm.					+	+	+
<i>Scenedesmus falcatus</i> Chod.						+	+
<i>Scenedesmus armatus</i> f. <i>bicaudatus</i> Chod.						+	
<i>Na</i> * <i>Actinastrum hantzschii</i> var. <i>fluviale</i> Schröder							+
<i>Crucigenia quadrata</i> Morren						+	+
* <i>Kirchneriella lunaris</i> (Kirchn.) Moeb.							+
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood					+	+	+
<i>Dictyosphaerium elegans</i> Bachm.						+	
<i>Dictyosphaerium ehrenbergianum</i>							+
<i>Na</i> * <i>Selenastrum minutum</i> (Naeg.) Collins							+
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs						+	+
<i>Na</i> <i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>setiformis</i> Nyg.						+	
<i>Na</i> * <i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>acicularis</i> (A. Br.) G. S. West							+
<i>Na</i> * <i>Ankistrodesmus falcatus</i> var. <i>mirabile</i> W. et G. S. West							+
<i>Coelastrum microporum</i> Naeg.					+	+	+
<i>Coelastrum reticulatum</i> (Dang.) Senn.							+
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> Wille						+	+
<i>Na</i> * <i>Lambertia judayi</i> (G. M. Smith) Korschik.							+
<i>Hormidium</i> sp.							+
<i>Na</i> * <i>Coccomyxa minor</i> Skuja							+
<i>Na</i> * <i>Stichococcus atomus</i> Skuja							+
Conjugatae							
<i>Mougeotia</i> sp.							+
<i>Na</i> <i>Closterium acutum</i> var. <i>variabile</i> (Lemm.) Krieger						+	+
* <i>Closterium aciculare</i> West							+
<i>Closterium gracile</i> Bréb.						+	
<i>Na</i> <i>Cosmarium phaseolus</i> Bréb.					+	+	+
<i>Na</i> <i>Cosmarium depressum</i> var. <i>planctonicum</i> Rev.					+		
<i>Cosmarium scenedesmus</i> Delp.		+	+				
<i>Staurastrum cingulum</i> (W. und G. S. West) G. H. Smith				+			
<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs		+		+		+	+
<i>Staurastrum pingue</i> Teiling							
<i>Staurastrum sebaldi</i> var. <i>ornatum</i> Nordst.						+	
EUGLENOPHYTA							
<i>Na</i> <i>Euglena viridis</i> Ehrnb.					+		+
<i>Na</i> <i>Trachelomonas volvocina</i> Ehrnb.					+		+
<i>Na</i> * <i>Menoidium incurvum</i> (Fres.) Klebs							+
<i>Na</i> * <i>Astasia kathemerios</i> Skuja							+
<i>Na</i> * <i>Distigma</i> sp.							+

Tabelle 6 (Fortsetzung)

	1	2	3	4	5	6	7
<i>Asterionella formosa</i> Hasall	+	+	+	+	+	+	+
<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> Grim.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Synedra acus</i> var. <i>delicatissima</i> (W. Sm.) Grun.	+	+	+	+	+		+
Na <i>Synedra nana</i> Meister					+	+	+
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrnb.	+	+			+		+
<i>Cymatopleura elliptica</i> W. Sm.	+	+	+				+
<i>Cymatopleura solea</i> W. Sm.	+	+	+				+
Heterocontae							
<i>Botryococcus braunii</i> Kg.	+	+			+	+	+
PYRROPHYTA							
Cryptophyceae							
Na <i>Cryptochrysis commutata</i> Pascher					+		
Na* <i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher et Ruttner							+
Na* <i>Rhodomonas lens</i> Pascher et Ruttner							+
Na <i>Cryptomonas ovata</i> Ehrnb.						+	+
Na <i>Cryptomonas erosa</i> Ehrnb.							+
Na <i>Cryptomonas erosa</i> var. <i>reflexa</i> Marsson							+
Na* <i>Chilomonas cryptomonadoides</i> Skuja							+
Na* <i>Cyathomonas truncata</i> (Frés.) Fisch.							+
Na* <i>Katablepharis ovalis</i> Skuja							+
Na* <i>Katablepharis</i> sp.							+
Peridineae							
Na <i>Amphidinium turicense</i> Huber-Pestalozzi							+
Na* <i>Gymnodinium lantzschii</i> Utermöhl							+
Na <i>Gymnodinium helveticum</i> Penard					+		+
Na <i>Peridinium inconspicuum</i> Lemm.						+	+
<i>Peridinium cinctum</i> (Müller) Ehrnb.	+	+	+	+	+	+	+
<i>Peridinium willei</i> Huitf.-Kaas				+	+	+	+
<i>Peridinium volzii</i> Lemm.					+		
Na <i>Peridinium pusillum</i> (Pen.) Lemm.	+	+	+			+	+
<i>Peridinium bipes</i> var. <i>tabulatum</i> (E.) Lef.			+				
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Schrank	+	+	+	+	+	+	+

In unseren Untersuchungen der Jahre 1958 und 1959 wurden rund 40 Formen, fast durchwegs Nannoplankter, im unteren Zürichsee neu gefunden, unter denen hauptsächlich die Anzahl der Chrysoflagellaten und Cryptophyceen auffielen. Bemerkungen zu den einzelnen Arten sind auf S. 12 ff. zu finden. Darüber hinaus figurieren in den Arbeiten früherer Autoren Formen, die wir im Laufe unserer Untersuchungen nie beobachtet haben. Möglicherweise sind sie unserer Aufmerksamkeit entgangen, besonders wenn sie nur in einzelnen Exemplaren auftraten. Daneben scheinen gewisse Organismen von den verschiedenen Autoren verschieden benannt worden zu sein, dies ist namentlich für zwei Algen der Fall: JÄRNEFELT fand in der Probe vom 2. August 1955 *Oscillatoria*

Tabelle 7

Qualitative Zusammensetzung der häufigsten Phytoplankter im Zürichsee vom Dezember 1957 bis Dezember 1959³

	1957												1958	
	Monate	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Planctomyces bekefii</i>										++	+++	++	+	
<i>Pseudanabaena catenata</i>												+	+	
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i>										+	+	+++	+	
<i>Oscillatoria rubescens</i>	++	++	++	++	++	+	++	+	++	+	++	+++	+++	+++
<i>Chlamydomonas</i> sp.									+++	++			+	
<i>Platymonas cordiformis</i>						+++	+	+	+			+++	+	
<i>Phacotus lenticularis</i>							+	++	+++			++	+	
<i>Pandorina morum</i>							+	++	+			+		
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>									+++				+	
<i>Gemmellicystis neglecta</i>								+	++	++				
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>								+	+	++				
<i>Microactinium pusillum</i>													+	
<i>Treubaria triappendiculata</i>										++				
<i>Lambertia judayi</i>									+++	+	+			
<i>Elakatothrix gelatinosa</i>										+				
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>						+		+++	++	+++		++	+	
<i>Mougeotia</i> sp.	+		+	+	+	+		++	+	+	+	+	+	+
<i>Erkenia subaequiciliata</i>													++	
<i>Kephyrion</i> spp.				+	+	++	+		+				+	
<i>Dinobryon</i> spp.								++	+	++	+++			
Farblose Flagellaten			+	+		+	+	++	++	+	+	+++	++	++
<i>Cyclotella</i> spp.								+	+	+	+++	++	++	+
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>			+	++	+++	++	+							
<i>Synedra acus</i> var. <i>delicatissima</i>			+		+++	++	++	+	+	+		++	+	+
<i>Fragilaria crotonensis</i>			+		++	+++	+	+				++	+	+
<i>Diatoma elongatum</i>					++	+++	+							
<i>Tabellaria fenestrata</i>	+	+	+		++	+++	++	++	++	++		+	+	+
<i>Asterionella formosa</i>			+	+	++	+++	+					+++	++	+
<i>Rhodomonas lacustris</i> und <i>Rhodomonas lens</i>	+	+	+	++	+++	++	++	+				+++	++	+
<i>Cryptomonas ovata</i> und <i>Cryptomonas erosa</i>	+	+	+	+	++	++	+++	++	+	+		+++	++	++
<i>Gymnodinium helveticum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+		+	+	+
<i>Gymnodinium lantzschii</i>	+	+	+	++	++	++				+		+	+	
<i>Peridinium cinctum</i>							+	+	+			+	+	

³) + vorhanden ++ häufig +++ sehr häufig

planctonica Wol. In unseren Herbstproben vom Jahre 1958 und 1959, aber auch in der einmaligen Probenahme von 1961, waren meistens zwei fädige Blaualgenarten enthalten, die in unserer Liste unter dem Namen *Oscillatoria obliqueacuminata* Skuja und *Pseudanabaena catenata* Lauterb. aufgeführt sind. Vermutlich wurde mit den Namen *Oscillatoria planctonica* und *Oscillatoria obliqueacuminata* (oder *Pseudanabaena catenata*) dieselbe Blaualge gekennzeichnet. JÄRNEFELT und THOMAS [28] waren mit SKUJA [63] der Meinung, dass *Oscillatoria planctonica* identisch sei mit *Oscillatoria*

Tabelle 7

(Fortsetzung)

	1958											1959		
	Monate	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Planctomyces bekefii</i>										+			++	
<i>Pseudanabaena catenata</i>									+	+				
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i>										+	+			
<i>Oscillatoria rubescens</i>	+++		+++	++	++	+			++	+++	+++	++		+++
<i>Chlamydomonas</i> sp.														
<i>Platymonas cordiformis</i>				+++	+				+					
<i>Phacotus lenticularis</i>									+	+	+	+		
<i>Pandorina morum</i>														
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>							+							
<i>Gemmellicystis neglecta</i>														+
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>									+					+
<i>Micractinium pusillum</i>									++	+++				
<i>Treubaria triappendiculata</i>									+					
<i>Lambertia judayi</i>							+		++	+				
<i>Elakathrix gelatinosa</i>														
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>			+	+										
<i>Mougeotia</i> sp.	+		+	+	+	+			+	+++	+	+		
<i>Erkenia subaequiciliata</i>						++				+				
<i>Kephyrion</i> spp.	++		+											
<i>Dinobyron</i> spp.				+	+	++			++	+++		+		
Farblose Flagellaten	++		++	++	+	+			++	++	+	+		+
<i>Cyclotella</i> spp.	+		++									++		+
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>			++	+++	++	+			+					
<i>Synedra acus</i> var. <i>delicatissima</i>	+		+	+++	++	+				+	+	+		
<i>Fragilaria crotonensis</i>									+	+	+++	+		+
<i>Diatoma elongatum</i>			+	+	+									
<i>Tabellaria fenestrata</i>	+		+	+++	++	++			+	+	+	+		+
<i>Asterionella formosa</i>	+		+	+++	++	+					+	++		+
<i>Rhodomonas lacustris</i> und <i>Rhodomonas lens</i>			++	+++	++	+++			+++	++	+	+		+
<i>Cryptomonas ovata</i> und <i>Cryptomonas erosa</i>	+			+	+++	+	++		++	+	+	+		+
<i>Gymnodinium helveticum</i>	+		+	+	++	++			++	++	+			++
<i>Gymnodinium lantzschii</i>	++		+	+++	++	+			+	+	+			+
<i>Peridinium cinctum</i>				+		++			+	+		+		+

redeckei. Die Form im Zürichsee ist jedoch nicht *Oscillatoria redeckei*, da ihre Endzellen einseitig zugespitzt und nicht abgerundet sind, wie für *Oscillatoria redeckei* notwendig wäre (vgl. S. 15). Die Form, die wir als *Pseudanabaena catenata* bestimmt haben, kann ebenfalls kaum als *Oscillatoria redeckei* benannt werden (vgl. S. 14). Die zweite Alge, die sich auch in der Probe vom 2. August 1955 befand, wurde von JÄRNEFELT als *Brachionococcus chlorelloides* Naum. bestimmt. In unseren Proben der entsprechenden Zeiten fiel die Massenfaltung einer kleinen, kugeligen Grün-

alge auf, die wir als *Chlorella pyrenoidosa* Chick (vgl. S. 16) bestimmt hatten. Wahrscheinlich ist mit diesen Namen wiederum ein und dieselbe Form bezeichnet worden.

3. Jahreszeitliches Auftreten

In Tab. 7 wurde das monatliche Auftreten der ausgezählten Organismen im Laufe der beiden Untersuchungsjahre eingetragen und ihre Häufigkeit durch ein, zwei oder drei Kreuze angegeben. Dadurch erhält man einen guten Überblick über das jahreszeitliche Auftreten und Verschwinden der einzelnen Formen.

Beim Betrachten dieser Zusammenstellung fallen in erster Linie zwei Gruppen von Organismen auf: solche, die das ganze Jahr hindurch in mehr oder weniger grosser Entfaltung im Plankton vorhanden, und solche, die in ihrem Auftreten an eine bestimmte Zeit gebunden waren. Sozusagen perennierende Formen waren *Oscillatoria rubescens* (Abb. 2), *Synedra acus* var. *delicatissima*, *Tabellaria fenestrata*, *Mougeotia* sp., *Cryptomonas ovata*, *Rhodomonas lacustris*, *Gymnodinium helveticum*, *Gymnodinium lantzschii* und ein *Monas* sp., wobei die fünf zuletzt genannten Formen Vertreter des Nannoplanktons darstellen und *Cryptomonas* und *Rhodomonas* ausserdem zu den wichtigsten Nannoplanktern des Zürichsees gehören. Dabei erreichte *Oscillatoria rubescens* in den Herbst- und Wintermonaten ihre maximalen und in den Monaten Mai bis Juli ihre minimalen Entwicklungen. *Tabellaria* und *Synedra* entfalteten sich im Frühling am stärksten, *Mougeotia* trat im Juni 1958 und im August 1959 vor allem in Erscheinung, *Cryptomonas* wies im Juni und September 1958 und im März 1959 ein Entwicklungsmaximum auf und *Rhodomonas* zeichnete sich durch Höchstentfaltungen im April und September 1958 und im März, Mai und August 1959 aus. Die beiden zuletzt genannten Formen zeigen demnach eine gewisse Unregelmässigkeit in ihrem Auftreten (Abb. 5). Keine auffälligen Unterschiede betreffend das jahreszeitliche Vorkommen liessen sich bei *Gymnodinium helveticum* beobachten, und *Gymnodinium lantzschii* schien die Frühlingsmonate vorzuziehen. Ein einziges Maximum und ein Auftreten in nur ein bis vier Monaten finden wir bei den meisten Grünalgen (Abb. 3), darunter auch fünf Nannoplankter, *Chlamydomonas* sp., *Phacotus lenticularis*, *Gemelliscystis neglecta*, *Lambertia judayi*, *Treubaria triappendiculata*. Ihre Vegetationszeiten entfielen auf die Monate Mai bis August. In den übrigen Monaten waren sie teilweise vollständig aus dem Blickfeld verschwunden.

Unter den drei Chrysophyceen *Dinobryon* spp., *Kephyrion* spp. und *Erkenia subaequiciliata* traten die *Dinobryon*arten hauptsächlich im Mai 1958 und

Mai 1959, September 1958 und August 1959 auf, die verschiedenen *Kephyrion*- und *Pseudokephyrion*arten waren im April und Dezember 1958 in grösserer Zahl zu finden und *Erkenia subaequiciliata* im September 1958, April 1959 und August 1958.

Die Diatomeen (Abb. 4) waren, wie bekannt, zur Hauptsache Frühlingsformen mit einer kleinen Herbstspitze. *Cyclotella operculata* und *comta* erreichten ihr Maximum hauptsächlich im Herbst und Winter.

Zu erwähnen sind noch die drei Peridineen *Peridinium cinctum*, *Peridinium inconspicuum* und *Ceratium hirundinella*, drei Hochsommerformen, wobei das Auftreten von *Peridinium inconspicuum* vorwiegend auf zwei Monate beschränkt war, nämlich August und September 1958 und Juli und August 1959. Die kleinen, kugeligen Grünalgen, die sogenannten «µ-Algen», traten während der zwei Untersuchungsjahre sehr unregelmässig auf (Abb. 2). Im Jahre 1958 ausgesprochen in den Sommer- und Herbstmonaten, zum Teil Vegetationsfärbungen verursachend, im Jahre 1959 hingegen wurden sie nur im Februar und März in den Zählproben in vernünftiger Menge gefunden.

4. Die vertikale Verteilung des Phytoplanktons

Um die charakteristische vertikale Verteilung der einzelnen Organismen zu erfassen, wurden jeweils die Halbwertstiefen derselben berechnet und ihre vertikale Verteilung in Form von Kugelkurven graphisch dargestellt. Anhand dieses ausgewerteten Zahlenmaterials konnten in grossen Zügen die allgemeingültigen und bekannten Merkmale der verschiedenen Netz- und Nannoplanktonformen bezüglich ihrer vertikalen Verteilung [45, 55, 60, 73] beobachtet werden, so dass es nicht notwendig erschien, dieses umfangreiche Beobachtungsmaterial an dieser Stelle zu wiederholen (vgl. in diesem Zusammenhang S. 271 und S. 315 ff.).

5. Biomasse und prozentuale Verteilung des Phytoplanktons

In Abb. 6 sind die Zahlen der berechneten Biomassen (vgl. auch Tab. 8) graphisch dargestellt. Da die Blaualge *Oscillatoria rubescens* als dominierende, grosse Phytoplanktonform einen riesigen Teil der Biomasse ausmachte, wurden ihre Werte, ferner diejenigen des restlichen Netzplanktons und des gesamten Nannoplanktons in getrennten Kurvenbildern wiedergegeben. Auffallend für die Kurven des Jahres 1958 sind die ausgeprägten Spitzen von *Oscillatoria rubescens*. Ausserdem tritt die allgemein bekannte, jahreszeitliche Entwicklung dieser Blaualge klar hervor, ihre Maximalentfal-

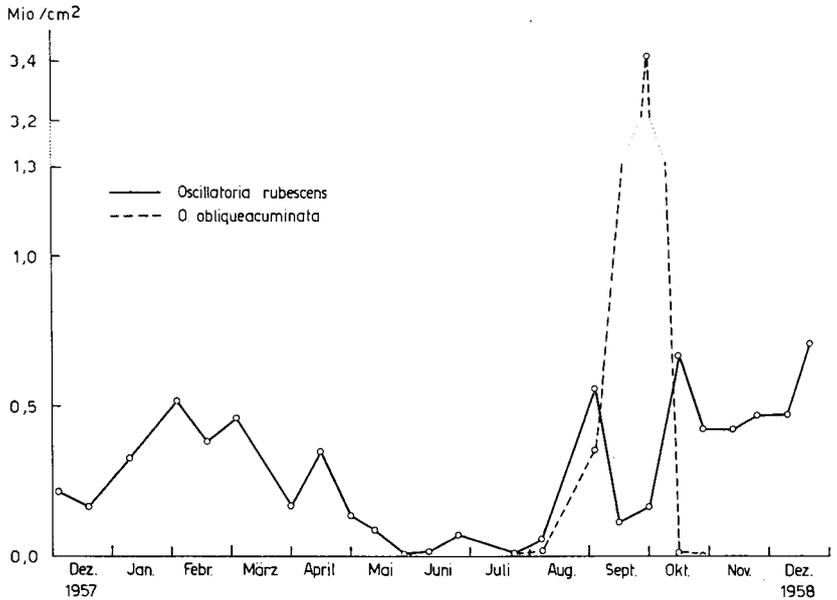


Abbildung 2

Zürichsee. Jahreszeitliches Auftreten der wichtigsten Blaualgen *Oscillatoria rubescens* und *Oscillatoria obliqueacuminata* (Dezember 1957 bis Dezember 1958), in Individuenzahlen/cm².

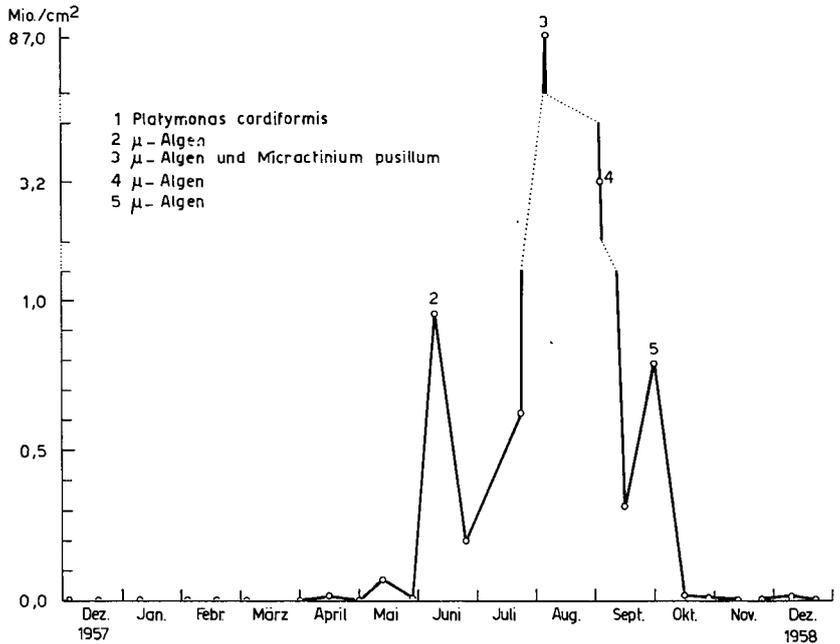


Abbildung 3

Zürichsee. Jahreszeitliches Auftreten der Grünalgen (Dezember 1957 bis Dezember 1958), in Individuenzahlen/cm². Spitze 2 wurde ausser μ -Algen noch durch eine Entwicklung von *Lambertia judayi* verursacht.

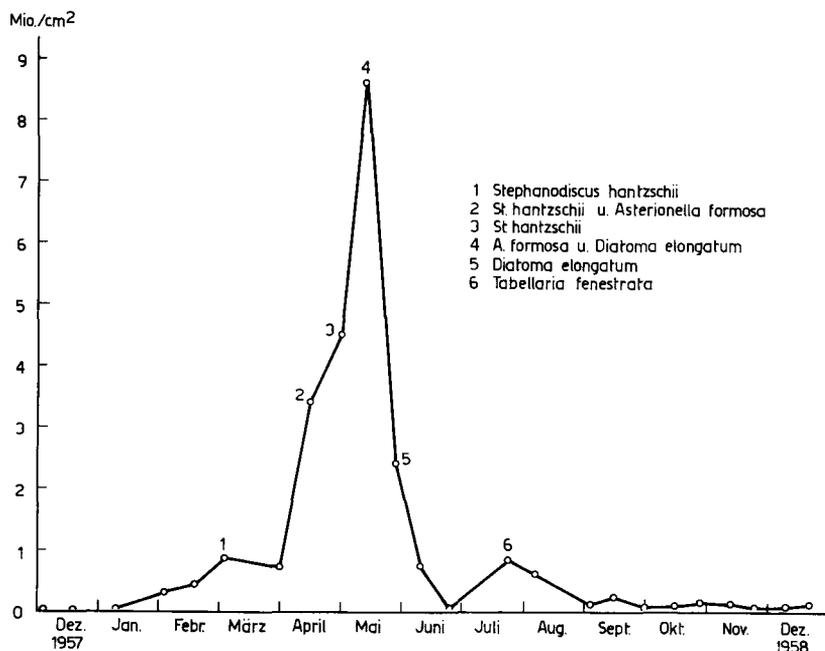


Abbildung 4

Zürichsee. Jahreszeitliches Auftreten der Diatomeen (Dezember 1957 bis Dezember 1958), in Individuenzahlen /cm².

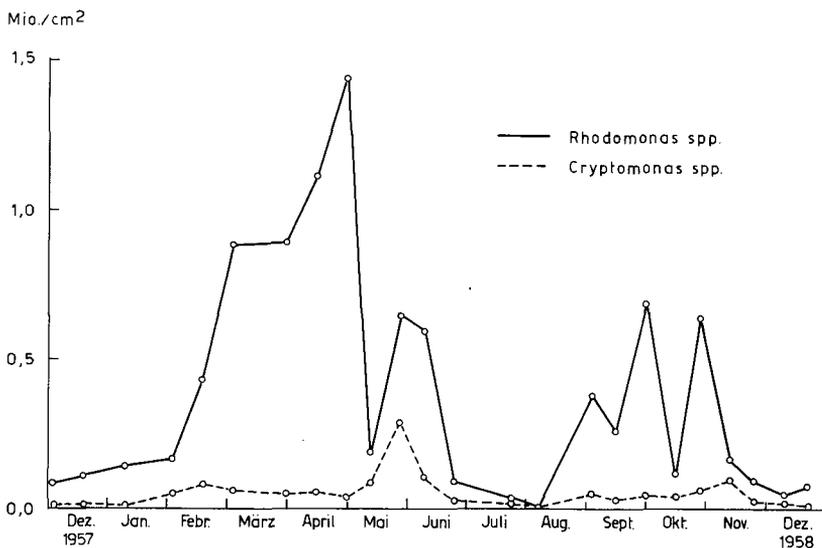


Abbildung 5

Zürichsee. Jahreszeitliches Auftreten der wichtigsten Cryptophyceen *Cryptomonas* spp. und *Rhodomonas* spp. (Dezember 1957 bis Dezember 1958), in Individuenzahlen/cm².

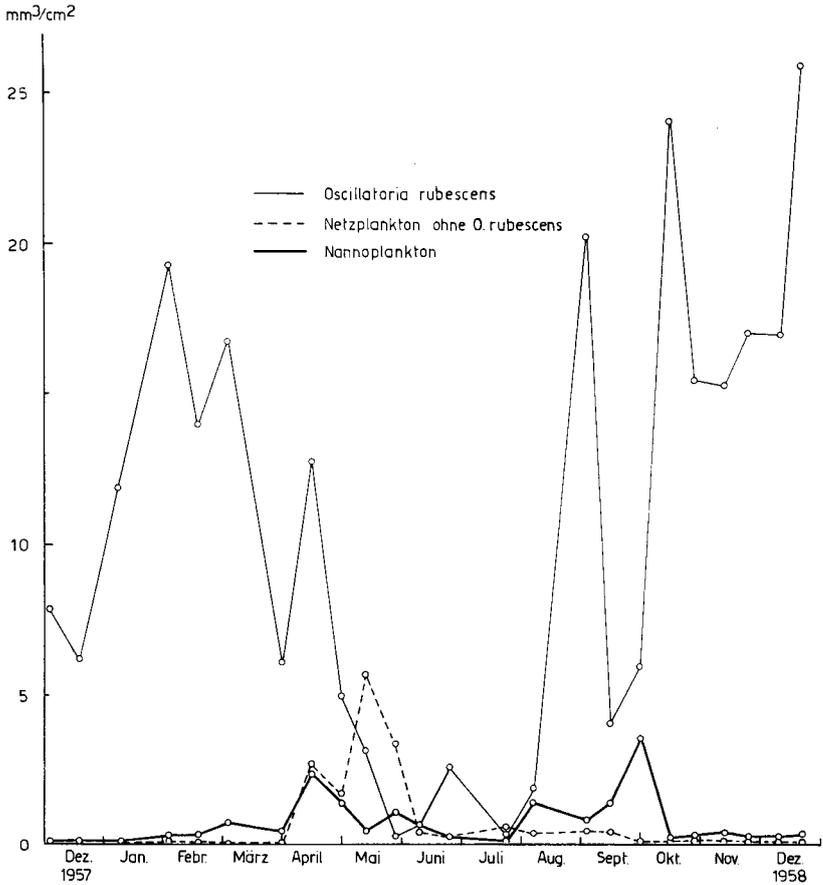


Abbildung 6

Zürichsee. Biomasse des Nannoplanktons im Vergleich zur Biomasse des Netzplanktons (Dezember 1957 bis 1958), in mm^3/cm^2 . Der dominierende Netzplankter *Oscillatoria rubescens* wurde getrennt berücksichtigt.

tungen vom Herbst bis in den frühen Frühling und ihre Ruhephasen in den Sommermonaten. Das «restliche Netzplankton» begann sich erst relativ spät, im April, stärker zu entwickeln, und erreichte im Mai seine grösste Biomasse des Jahres mit $5,7 \text{ mm}^3$ unter 1 cm^2 . In den anschließenden Monaten fällt die Kurve stark ab und bleibt konstant auf rund $0,4 \text{ mm}^3$ unter 1 cm^2 , um dann in den drei letzten Monaten wie zu Beginn des Jahres wieder fast auf Null abzusinken.

Die Nannoplankter hingegen begannen ihre Entfaltung schon im Februar. Ihre erste Spitze ($2,3 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$) fiel in den Monat April (die Nannoplanktonentwicklung setzte also vor dem Frühlingsmaximum des Netz-

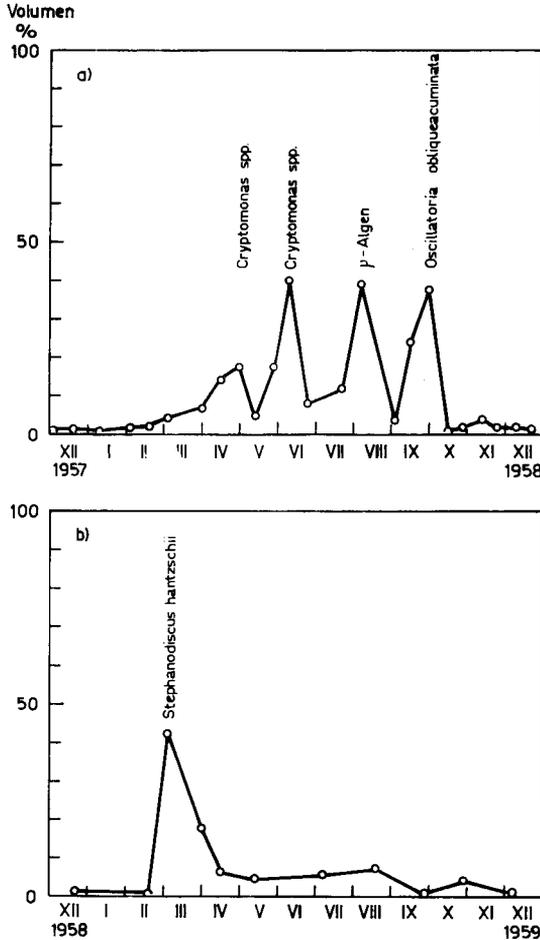


Abbildung 7a und b

Zürichsee. Prozentualer Biomasseanteil des Nannoplanktons am gesamten Phytoplankton.
 a) Dezember 1957 bis Dezember 1958. b) Dezember 1958 bis Dezember 1959.

planktons ein), eine zweite, kleinere $1 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ war Ende Mai zu verzeichnen. Nach einer längeren Zeit mit niedrigen Werten erfolgte im August ein höherer Ertrag von $1,4 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$, und die grösste Nannoplanktonmasse im Jahre 1958 wurde im September gefunden ($3,6 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$). Es waren also insgesamt vier Entwicklungsmaxima zu verzeichnen, für welche aber nicht die gleichen, sondern verschiedene Nannoplankter die Ursache waren. Das erste Maximum im April ging in erster Linie auf *Rhodomonas lacustris* und *Cryptomonas ovata* zurück. Ende Mai bildete *Cryptomonas ovata* die Hauptmasse, die starke Entwicklung anfangs August

wurde von *Chlorella pyrenoidosa* und *Coccomyxa minor* (« μ -Algen») verursacht und das vierte, auffälligste Maximum Ende September war die Folge einer Massenentwicklung der feinen Blaualge *Oscillatoria obliqueacuminata* (vgl. auch Abb. 7a).

Wie aus Abb. 6 und Tab. 8 zu ersehen ist, betrug die Biomasse des totalen Netzplanktons ein Vielfaches derjenigen des Nannoplanktons. In keiner Probeserie des Zürichsees konnte im Vergleich zum Netzplankton eine grössere Nannoplanktonmasse bestimmt werden. Die Biomasse des Netzplanktons war im Jahre 1958 durchschnittlich fünfzehnmal und im Jahre 1959 zehnmal grösser als die Nannoplanktonmasse. In 21 von 34 Probeserien (etwa 62%) lag die Biomasse des Nannoplanktons nur zwischen 0 und 0,5 mm³/cm², während in 22 Probeserien (etwa 65%) die Erträge des Netzplanktons zwischen 5,0 und 20,0 mm³/cm² variierten. Die höchste Netzplanktonmasse ergab den extremen Wert von 69,7 mm³/cm² im Februar 1959, während der Herbstsertrag des Nannoplanktons beinahe zwanzigmal kleiner war. Diese enormen Massenunterschiede sind eindeutig auf die massgebende *Oscillatoria rubescens* zurückzuführen, die im Jahre 1958, mit vier Ausnahmen, immer höhere Biomassewerte als das «restliche Netzplankton» erreicht hatte. Abb. 8 gibt den Eindruck, dass eine Beziehung besteht zwischen der Entwicklung von *Oscillatoria rubescens* und den übrigen Phytoplanktonformen, indem sich die beiden Kurven durch eine gewisse Gegenläufigkeit auszeichnen. Im Frühling 1958 war es neben dem Nannoplankton vor allem das «restliche Netzplankton», im Herbst 1958 das Nannoplankton allein, welche gegenüber *Oscillatoria rubescens* eine gegenläufige Bewegung aufzeigten. – Auch im Jahre 1959 war eine solche Beziehung von *Oscillatoria rubescens* gegenüber den anderen pflanzlichen Planktonen teilweise zu beobachten. Besonders klar kommt diese gegenseitige Einwirkung auf die Entwicklung der Algen im März zum Vorschein, wo sich *Stephanodiscus hantzschii* explosionsartig entfaltet hatte (vgl. Abb. 7b und Tab. 8 und 10). *Oscillatoria rubescens* wies auch den Sommer über relativ hohe Biomassewerte auf. Überhaupt kein Zusammenhang zwischen der Biomasse von *Oscillatoria rubescens* und den übrigen Algen war im Herbst festzustellen.

Die beiden Untersuchungsjahre sollen kurz einander gegenübergestellt werden (Abb. 7 und Tab. 7 und 8). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass im Jahre 1959 nur halb so viele Proben untersucht wurden. Es ist deshalb wohl möglich, dass Spitzenentwicklungen nicht oder unvollständig erfasst worden sind. Auffallend ist, dass die Biomasse der *Oscillatoria rubescens* im Jahre 1959 dreimal grösser war als im Vorjahr. Ferner blieb *Oscilla-*

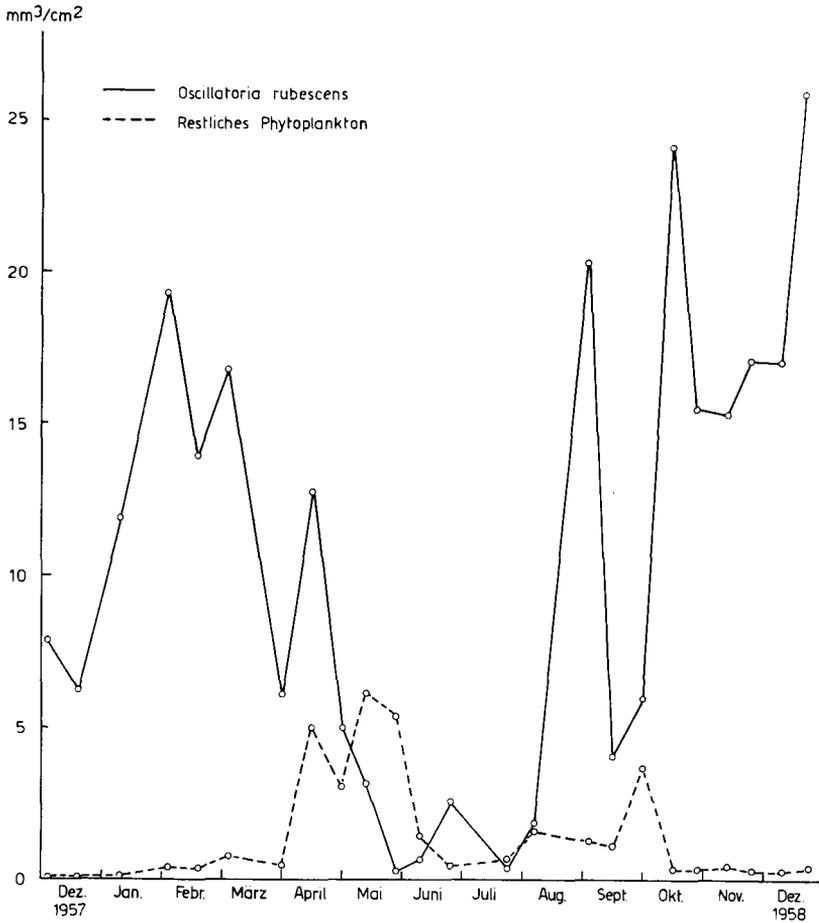


Abbildung 8

Zürichsee. Die Biomasse von *Oscillatoria rubescens* im Vergleich zur Biomasse der übrigen Phytoplanktonorganismen (Dezember 1957 bis Dezember 1958), in mm^3/cm^2 .

toria rubescens – gegen die sonstige Erfahrung – nach einem schwachen Rückgang, der auf die riesige Februarentwicklung gefolgt war, den Sommer 1959 hindurch auf höheren Werten als im Sommer 1958 und wies erst Ende Oktober eine stärkere Abnahme auf. Auch MINDER [45] hat in seinen langjährigen Untersuchungen im Zürichsee abnorme Entwicklungsjahre für *Oscillatoria rubescens* beobachtet. Ferner setzten die Frühjahrsmaxima 1959 des Nanno- und Netzplanktons einen Monat früher und heftiger ein mit einer Vegetationsfärbung von *Stephanodiscus bantzschii*. Während der restlichen Monate des Jahres 1959 konnten

Tabelle 8

Phytoplanktonvolumen des Zürichsees in 10⁶ µ³ unter 1 cm²

	3.12.57	17.12.57	8.1.58	4.2.58	18.2.58	4.3.58	
Bacteriophyta	+	+	162,1	340,4	350,4	988,1	
Cyanophyta	7841,2	6219,9	11882,2	19273,5	13991,5	16731,4	
Euchlorophyceae	0,1	–	–	0,1	–	0,3	
Desmidiáles	0,2	–	–	1,0	6,4	12,4	
Chrysophyceae	–	–	–	4,1	14,5	16,9	
Kleine Flagellaten	–	–	+	44,4	4,5	–	
Diatomeae	7,5	3,8	17,7	140,5	68,1	115,7	
Cryptophyceae	48,4	55,3	64,6	105,4	161,9	419,9	
Peridineae	32,0	7,5	25,8	92,9	84,4	157,1	
Netzplankton	7849,0	6223,7	11899,9	19372,6	14017,5	16744,4	
Nannoplankton	81,0	62,8	90,4	289,3	313,7	709,4	
Bacteriophyta	+	+	162,1	340,4	350,4	988,1	
Total	7930,0	6286,5	12152,4	20002,3	14681,7	18441,9	
	1.4.58	15.4.58	29.4.58	13.5.58	27.5.58	10.6.58	24.6.58
Bacteriophyta	199,5	288,6	165,2	25,3	155,7	–	–
Cyanophyta	6074,2	12721,1	4993,5	3135,3	252,0	634,9	2567,1
Euchlorophyceae	–	0,8	40,5	56,4	0,3	211,4	104,9
Desmidiáles	0,2	–	–	–	–	–	2,7
Chrysophyceae	20,1	65,8	0,7	34,9	0,5	45,1	0,2
Kleine Flagellaten	2,7	98,0	8,3	13,6	6,5	–	9,8
Diatomeae	111,0	3360,6	2363,1	5722,9	4440,8	662,7	235,3
Cryptophyceae	267,5	347,0	340,9	247,4	830,7	372,7	57,9
Peridineae	77,1	110,0	262,4	37,7	64,0	125,7	92,0
Netzplankton	6106,2	14362,3	6613,2	8810,0	4620,9	1341,6	2827,2
Nannoplankton	446,7	2340,9	1396,2	438,1	973,9	710,9	242,6
Bacteriophyta	199,5	288,6	165,2	25,3	155,7	–	–
Total	6752,4	16991,8	8174,6	9273,4	5750,4	2052,5	3069,78
	22.7.58	5.8.58	2.9.58	16.9.58	29.9.58	14.10.58	28.10.58
Bacteriophyta	0,6	98,4	–	29,2	4,1	–	–
Cyanophyta	340,5	1883,6	20524,0	4974,5	9087,6	24095,3	15422,7
Euchlorophyceae	48,5	1312,5	42,4	199,1	17,3	3,3	0,5
Desmidiáles	6,9	11,9	0,5	1,5	0,3	0,4	0,3
Chrysophyceae	0,2	13,3	352,7	203,6	21,8	–	0,8
Kleine Flagellaten	12,4	1,0	4,1	21,9	35,5	3,9	34,7
Diatomeae	525,6	316,2	34,1	122,6	41,5	89,4	34,8
Cryptophyceae	40,2	6,4	175,7	114,9	277,9	151,4	167,6
Peridineae	23,7	73,9	328,5	179,0	68,2	37,1	82,1
Netzplankton	873,4	2215,2	20665,0	4444,4	5986,8	24170,8	15452,4
Nannoplankton	114,9	1411,2	801,9	1376,3	3567,1	206,6	291,2
Bacteriophyta	–	90,1	–	25,5	–	–	–
Total	987,3	3716,5	21466,9	5846,2	9553,2	24377,4	15743,6

Tabelle 8 (Fortsetzung)

	11.11.58	27.11.58	9.12.58	23.12.58	17.2.59	3.3.59	31.3.59
Bacteriophyta	—	10,2	27,1	87,3	66,9	—	—
Cyanophyta	15258,8	17042,0	16952,3	25860,2	68763,6	9341,4	21808,7
Euchlorophyceae	—	—	—	—	—	63,8	18,6
Desmidiáles	—	0,1	2,4	1,9	5,3	0,5	0,8
Chrysophyceae	—	—	19,2	8,4	—	10,3	13,9
Kleine Flagellaten	10,4	14,9	7,1	35,5	19,6	145,4	49,9
Diatomeae	30,4	13,6	7,8	28,2	181,2	8048,3	6257,3
Cryptophyceae	281,5	70,8	44,6	41,7	130,2	768,2	142,2
Peridineae	93,5	189,8	188,5	257,8	79,8	194,6	36,9
Netzplankton	15285,5	17052,4	16962,5	25888,5	68896,8	10740,1	23369,1
Nannoplankton	389,0	278,7	259,3	345,0	282,8	7838,4	4959,1
Bacteriophyta	—	10,2	27,1	87,3	66,9	—	—
Total	15674,5	17341,3	17248,9	26320,8	69246,5	18578,5	28328,2
	14.4.59	13.5.59	7.7.59	18.8.59	29.9.59	27.10.59	8.12.59
Bacteriophyta	57,4	1543,9	67,7	72,0	—	87,9	77,2
Cyanophyta	14192,8	7641,5	6717,0	8389,3	7868,9	1653,0	16463,5
Euchlorophyceae	4,2	0,2	28,1	114,5	0,8	0,2	—
Desmidiáles	—	0,1	1,5	52,8	0,4	0,9	—
Chrysophyceae	62,5	11,5	144,1	262,6	—	18,3	0,2
Kleine Flagellaten	65,1	16,3	28,7	24,1	1,8	23,4	6,9
Diatomeae	1504,2	1129,9	228,7	56,8	115,7	152,4	27,8
Cryptophyceae	37,5	281,1	262,3	150,5	4,6	20,9	34,1
Peridineae	644,9	74,1	369,4	306,5	1,8	127,7	68,0
Netzplankton	15515,7	8770,2	7300,8	8717,3	7985,4	1891,8	16491,3
Nannoplankton	961,2	386,7	477,9	640,1	8,6	72,0	109,1
Bacteriophyta	57,4	1543,9	67,7	72,0	—	87,7	77,2
Total	16533,9	10700,8	7846,4	9429,4	7994,0	2051,5	16677,6

zur Zeit der Probenahme keine weiteren auffälligen Nannoplanktonspitzen, wie zum Beispiel von « μ -Algen» oder *Oscillatoria obliqueacuminata* im Jahre 1958, erfasst werden. Wie jedoch aus Tab. 7 und 8 hervorgeht, unterschieden sich die beiden Probenahmejahre weniger in qualitativer als in quantitativer Hinsicht. Sicher ist ein Teil dieses Unterschiedes mit der extrem unterschiedlichen Witterung während dieser beiden Jahre zu erklären, welche auch eine zeitliche Verschiebung im Auftreten der einzelnen Formen bewirkt hatte. Das Jahr 1958 war auffallend niederschlagsreich und kalt, besonders im Frühjahr, Sonne gab es vor allem im September und Dezember. Das Jahr 1959 hingegen kann als sehr niederschlagsarm und sonnig gekennzeichnet werden.

Die Verteilung der Biomasse auf die wichtigsten Algengruppen (Abb. 9, Tab. 8-II):

Tabelle 9

Aufstellung über die Anzahl der ausgezählten Arten (A) und prozentualer Anteil am Planktonvolumen (AV) des Zürichsees

	3.12.57		17.12.57		8.1.58		4.2.58		18.2.58		4.3.58	
	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV
Bacteriophyta	2	-	2	-	3	1,3	4	1,7	2	2,4	5	5,4
Cyanophyta	1	98,9	1	98,9	1	97,9	1	96,4	1	95,3	1	90,8
Euchlorophyceae	1	-	-	-	-	-	3	+	-	-	-	+
Desmidiales	1	-	-	-	-	-	3	+	2	+	2	+
Chrysophyceae	-	-	-	-	1	+	2	+	1	0,1	1	0,1
Kleine Flagellaten	-(+2)	-	(+1)	-	1(+2)	0,2	1	0,2	1	+	-	-
Diatomeae	3	0,1	2	0,1	2	0,1	7	0,7	3	0,5	4	0,6
Cryptophyceae	2	0,6	2	0,9	2	0,5	2	0,5	2	1,1	2	2,3
Peridineae	1	0,4	2	0,1	2	0,2	2	0,5	2	0,6	3	0,3
Netzplankton	6	99,0	3	99,0	3	98,0	11	96,9	4	95,5	7	30,8
Nannoplankton	3	1,0	4	1,0	6	0,7	10	1,4	8	2,1	7	3,8
Bacteriophyta	2	-	2	-	3	1,3	4	1,7	2	2,4	5	5,4
Total	11	100,0	9	100,0	12	100,0	25	100,0	14	100,0	19	100,0
		1.4.58		15.4.58		29.4.58		13.5.58		27.5.58		10.6.58
		A AV		A AV		A AV		A AV		A AV		A AV
Bacteriophyta	2	2,9	4	1,7	4	2,0	1	0,3	3	2,7	2	+
Cyanophyta	1	90,0	1	74,9	1	61,0	1	33,8	1	4,4	1	30,9
Euchlorophyceae	1	+	4	+	2	0,5	7	0,6	3	+	7	10,3
Desmidiales	2	+	4	+	-	-	2	+	1	+	2	+
Chrysophyceae	1	0,3	1	0,4	1	+	3	0,4	2	0,1	1	2,2
Kleine Flagellaten	1	+	3	0,6	1	0,1	1	0,1	1	-	-	-
Diatomeae	5	1,6	9	19,8	9	28,9	8	61,7	7	77,2	7	32,3
Cryptophyceae	2	4,0	4	2,0	3	4,2	2	2,7	2	14,5	2	18,2
Peridineae	2	1,1	2	0,6	2	3,2	4	0,4	2	1,1	2	6,1
Netzplankton	8	90,5	12	84,5	8	80,9	17	95,0	13	80,4	12	65,4
Nannoplankton	7	6,6	16	13,8	11	17,1	11	4,7	6	16,9	10	34,6
Bacteriophyta	2	2,9	4	1,7	4	2,0	1	0,3	3	2,7	2	+
Total	17	100,0	32	100,0	23	100,0	29	100,0	22	100,0	24	100,0
		24.6.58		22.7.58		5.8.58		2.9.58		16.9.58		29.9.58
		A AV		A AV		A AV		A AV		A AV		A AV
Bacteriophyta	-	-	2	+	6	2,4	3	+	6	0,4	6	+
Cyanophyta	1	83,7	4	34,5	3	50,8	5	95,6	4	85,1	4	95,1
Euchlorophyceae	5	3,5	22	4,6	13	35,7	7	0,2	12	3,4	5	0,2
Desmidiales	1	+	3	+	4	+	3	+	3	+	1	+
Chrysophyceae	1	+	3	+	2	0,4	4	1,6	5	3,5	4	0,2
Kleine Flagellaten	2	0,3	2	1,2	1	+	1	+	3	0,4	2	0,4
Diatomeae	5	7,7	6	53,1	4	8,5	5	0,2	5	2,1	5	0,4
Cryptophyceae	2	1,9	2	4,1	2	0,2	2	0,8	2	2,0	2	2,9
Peridineae	3	3,0	5	2,4	3	2,0	5	1,5	5	3,1	5	0,7
Netzplankton	13	92,1	21	88,4	18	59,6	18	96,3	20	76,0	15	62,6
Nannoplankton	7	7,9	28	11,6	14	38,0	14	3,7	21	23,6	13	37,4
Bacteriophyta	-	-	2	+	6	2,4	3	+	6	0,4	6	+
Total	20	100,0	51	100,0	38	100,0	35	100,0	47	100,0	34	100,0

Tabelle 9 (Fortsetzung)

	14.10.58		28.10.58		11.11.58		27.11.58		9.12.58		23.12.58	
	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV
Bacteriophyta	2	+	4	+	3	+	3	0,1	2	0,2	3	0,3
Cyanophyta	5	98,9	5	97,9	4	97,3	1	98,2	1	98,3	1	98,3
Euchlorophyceae	7	+	6	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Desmidiales	1	+	2	+	1	+	1	+	1	+	2	+
Chrysophyceae	-	-	2	0,2	1	0,1	-	-	1	0,2	1	+
Kleine Flagellaten	1	+	1	+	1	+	1	0,2	1	+	2	0,1
Diatomeae	6	0,4	5	0,2	5	0,2	4	0,1	4	+	4	0,1
Cryptophyceae	2	0,6	2	1,1	2	1,8	2	0,4	2	0,3	2	0,2
Peridineae	3	0,1	3	0,5	3	0,6	2	1,9	2	1,1	2	1,0
Netzplankton	12	99,2	16	98,2	9	97,5	6	98,3	5	98,2	7	98,4
Nannoplankton	13	0,8	10	1,8	8	2,5	5	1,6	7	1,6	7	1,3
Bacteriophyta	2	+	4	+	3	+	3	0,1	2	0,2	3	0,3
Total	27	100,0	30	100,0	20	100,0	14	100,0	14	100,0	17	100,0
	17.2.59		3.3.59		31.3.59		14.4.59		12.5.59		7.7.59	
	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV
Bacteriophyta	4	0,1	-	-	3	+	1	0,3	3	14,4	4	0,9
Cyanophyta	1	99,3	1	50,3	1	77,0	1	85,6	1	71,4	3	81,7
Euchlorophyceae	-	-	4	0,3	3	0,1	7	+	7	+	15	3,8
Desmidiales	3	+	3	+	2	+	3	+	3	+	4	+
Chrysophyceae	1	+	1	0,1	4	+	8	0,4	5	0,1	3	1,9
Kleine Flagellaten	2	+	2	0,8	1	0,2	1	0,4	1	0,2	1	0,4
Diatomeae	6	0,3	8	43,3	7	22,1	6	9,1	6	10,6	3	3,0
Cryptophyceae	2	0,2	2	4,1	2	0,5	2	0,2	2	2,6	3	3,4
Peridineae	4	0,1	4	1,0	4	0,1	3	3,9	4	0,7	4	4,8
Netzplankton	11	99,5	14	57,8	15	82,4	19	93,6	17	81,9	19	94,1
Nannoplankton	8	0,4	11	42,2	9	17,6	13	6,1	12	3,7	17	5,0
Bacteriophyta	4	0,1	-	-	3	+	1	0,3	3	14,4	4	0,9
Total	23	100,0	25	100,0	27	100,0	33	100,0	32	100,0	40	100,0
	18.8.59		29.9.59		27.10.59		8.12.59					
	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV				
Bacteriophyta	4	0,8	-	-	5	4,3	4	0,5				
Cyanophyta	6	88,9	3	98,5	4	80,6	2	98,7				
Euchlorophyceae	14	1,8	2	+	7	+	1	+				
Desmidiales	2	+	1	+	1	+	1	-				
Chrysophyceae	2	2,8	1	+	2	0,9	1	+				
Kleine Flagellaten	1	0,3	2	+	1	0,2	1	+				
Diatomeae	4	0,6	5	1,4	5	7,0	4	0,2				
Cryptophyceae	2	1,6	2	+	2	1,0	2	0,2				
Peridineae	6	3,2	4	+	2	5,9	3	0,4				
Netzplankton	18	92,4	12	99,9	15	92,2	7	98,9				
Nannoplankton	20	6,8	8	0,1	9	3,5	8	0,6				
Bacteriophyta	4	0,8	-	-	5	4,3	4	0,5				
Total	41	100,0	20	100,0	29	100,0	19	100,0				

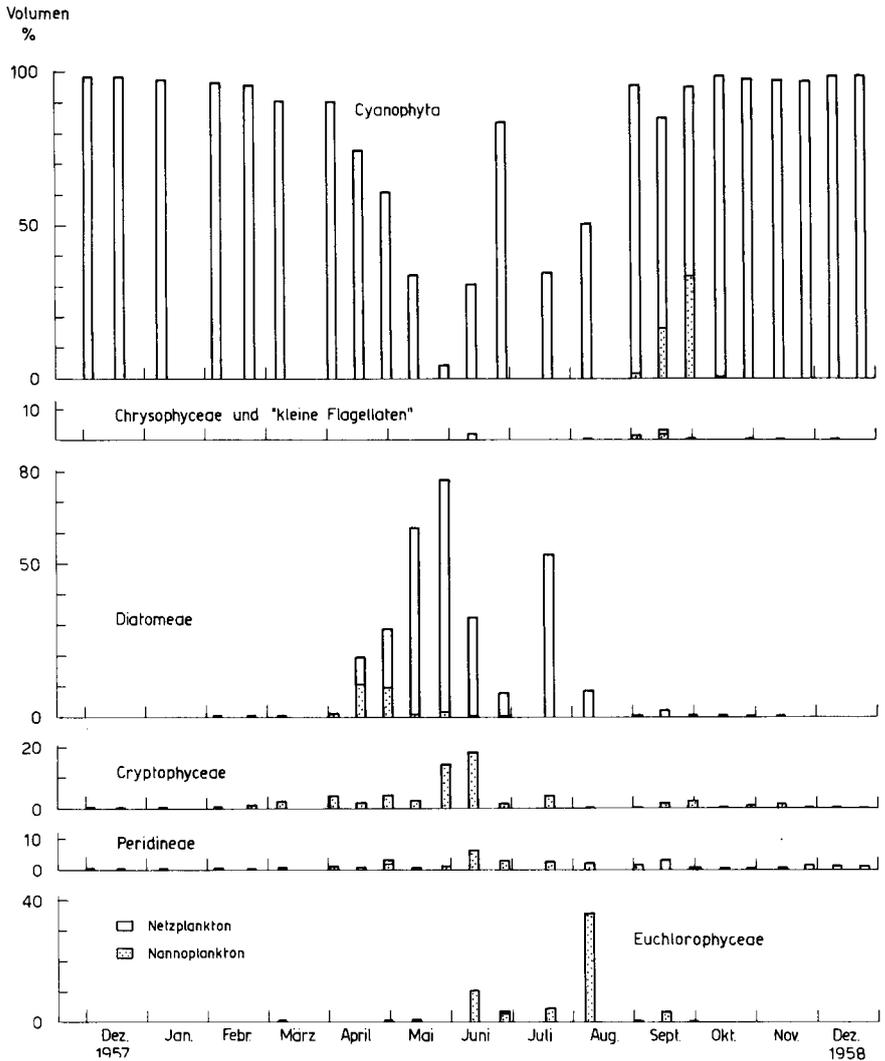


Abbildung 9

Zürichsee. Prozentualer Biomassanteil der verschiedenen Algengruppen am Gesamtplankton, unter Berücksichtigung des Netz- und Nannoplanktons (Dezember 1957 bis Dezember 1958).

Cyanophyta. Als ausgesprochener *Oscillatoria-rubescens*-See liess der Zürichsee von vorneherein erwarten, dass der grösste Anteil der Biomasse auf die Blaualgen entfallen würde. In 23 von 34 Probeserien machten die Blaualgen denn auch mehr als 90% der Biomasse aus; der niedrigste Anteil betrug im März 1959 immer noch 58%. In 17 Probeserien war die

Biomasse grösser als $10 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ und in 9 Serien lag die Masse zwischen 5 und $10 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$. Im September 1958 wurde mehr als ein Drittel des Blaualgenanteils von der kleinen Form *Oscillatoria obliqueacuminata* ($33\% = 3,2 \text{ mm}^8/\text{cm}^9$), übrigens der einzigen für die Biomasse wesentlichen nannoplanktischen Blaualge, geliefert.

Chlorophyta. Der prozentuale Biomasseanteil der Grünalgen fiel nur im Sommer 1958 ins Gewicht in Form von sozusagen reinem Nannoplankton. Eine auffallende Spitze war im August 1958 zu verzeichnen, wo eine Massenentfaltung von *Chlorella pyrenoidosa* fast 40% der Biomasse des Phytoplanktons ausgemacht hatte.

Chrysophyceae. Die Chrysophyceen waren während der ganzen Untersuchungszeit nie in auffällender Menge hervorgetreten; 1958 waren sie sogar nur in äusserst geringer Zahl vorhanden. So stellten 3,5% Volumenanteil ($= 0,1 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$) im September 1958 die maximale Entwicklung der Chrysophyceen dar, gebildet von *Dinobryon divergens*, *Dinobryon sociale* und *Dinobryon sertularia*. Die Nannoplankter, meistens sehr kleine Formen, wie *Kephyrion*- und *Pseudokephyrion*arten, *Pseudopedinella* und *Erkenia*, überschritten nur ein einziges Mal, nämlich im September 1958, die Grenze von einem Prozent ($= 0,08 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$).

Kleine Flagellaten (*Bodo*, *Ochromonas*, *Heterochromonas*, *Katablepharis*). Wie der Formenkreis der Chrysophyceen sind auch diese Organismen von geringer Bedeutung für die Biomasse.

Diatomeae. Die Diatomeen bildeten im jahreszeitlichen Verlauf und in der Biomassebildung gleichsam die Antagonisten der Blaualgen, indem sie sich namentlich im Frühjahr, während der Minimalentwicklung von *Oscillatoria rubescens*, vermehrten. *Stephanodiscus*, die einzige Nannoform unter den die Biomasse beeinflussenden Kieselalgen, lieferte im Jahre 1958 (April) eine Masse von $1,7 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ und im Jahre 1959 (März) sogar $6,7 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$, ein Biomasseanteil, den sogar alle Netzplankter zusammen überhaupt nie erreicht hatten.

Cryptophyceae. Die Formen dieser Gruppe, alles Nannoplankter, waren das ganze Jahr über prozentual meistens verhältnismässig schwach vorhanden. Am stärksten vertreten waren sie im Mai bis Juni 1958 mit 14,5 und 18,2%, sonst überschritt ihre Biomasse nie 5%. Ihre grösste Menge fiel in den Juni 1958 und März 1959.

Peridineae. Zwar waren Vertreter aus dieser Gruppe das ganze Jahr hindurch zu finden, doch nur in unwesentlichen Anteilen für das Zürichseeplankton. Im Winter waren es hauptsächlich *Gymnodinium helveticum*

Tabelle 10

Nannoplanktonvolumen des Zürichsees in $10^6 \mu^3$ unter 1 cm^2

	3.12.57	17.12.57	8.1.58	4.2.58	18.2.58	4.3.58	
Bacteriophyta	-	-	-	-	-	-	
Cyanophyta	-	-	-	-	-	-	
Euchlorophyceae	-	-	-	0,1	-	0,3	
Desmidiales	-	-	-	-	5,2	11,0	
Chrysophyceae	-	-	-	4,1	14,5	16,9	
Kleine Flagellaten	-	-	+	44,4	4,5	-	
Diatomeae	-	-	-	42,4	43,2	104,2	
Cryptophyceae	48,4	55,3	64,6	105,4	161,9	419,9	
Peridineae	32,0	7,5	25,8	92,9	84,1	157,1	
Total	81,0	62,8	90,4	289,3	313,7	709,4	
	1.4.58	15.4.58	29.4.58	13.5.58	27.5.58	10.6.58	24.6.58
Bacteriophyta	-	-	-	-	-	-	-
Cyanophyta	-	-	-	-	-	-	-
Euchlorophyceae	0,1	0,8	40,5	56,2	0,3	210,6	76,7
Desmidiales	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae	20,1	65,8	0,7	-	-	-	-
Kleine Flagellaten	2,7	98,0	8,3	13,6	6,5	-	9,8
Diatomeae	79,2	1719,4	743,5	83,4	72,4	1,9	6,3
Cryptophyceae	267,5	347,0	340,9	247,4	830,7	372,7	57,9
Peridineae	77,1	110,0	262,4	37,7	64,0	125,7	92,0
Total	446,7	2340,9	1396,2	438,1	973,9	710,9	242,6
	22.7.58	5.8.58	2.9.58	16.9.58	29.9.58	14.10.58	28.10.58
Bacteriophyta	0,6	8,3	-	3,6	4,1	-	-
Cyanophyta	0,5	14,5	289,9	941,2	3172,8	26,4	1,4
Euchlorophyceae	38,0	1312,5	42,5	193,8	17,0	3,35	0,6
Desmidiales	-	11,9	0,9	1,5	-	-	-
Chrysophyceae	0,05	0,8	60,9	75,5	21,6	-	0,8
Kleine Flagellaten	12,4	1,0	4,1	21,9	35,5	3,9	34,7
Diatomeae	-	21,7	3,8	10,1	-	-	7,9
Cryptophyceae	40,2	6,4	175,7	114,9	277,9	151,4	167,6
Peridineae	23,2	34,1	224,1	14,0	38,2	21,6	78,2
Total	114,9	1411,2	801,9	1376,3	3567,1	206,6	291,2
	11.11.58	25.11.58	9.12.58	23.12.58	17.2.59	3.3.59	31.3.59
Bacteriophyta	-	-	-	-	-	-	-
Cyanophyta	-	-	-	-	-	-	-
Euchlorophyceae	-	-	-	-	-	63,8	18,6
Desmidiales	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae	-	-	19,2	8,4	-	-	-
Kleine Flagellaten	10,4	14,9	7,1	35,5	19,6	145,4	49,6
Diatomeae	3,7	3,3	-	1,5	53,2	6667,4	4711,6
Cryptophyceae	281,5	70,8	44,6	41,7	130,2	768,2	142,2
Peridineae	93,5	189,8	188,5	257,8	79,8	193,6	36,9
Total	389,0	278,7	259,3	345,0	282,8	7838,4	4959,1

Tabelle 10 (Fortsetzung)

	14.4.59	13.5.59	7.7.59	18.8.59	29.9.59	27.10.59	8.12.59
Bacteriophyta	-	-	-	0,3	-	0,1	-
Cyanophyta	-	-	2,2	216,4	0,4	-	-
Euchlorophyceae	4,2	-	28,1	0,3	-	-	-
Desmidiáles	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae	27,6	-	-	25,9	-	18,3	0,2
Kleine Flagellaten	65,1	16,3	28,7	24,1	1,8	5,12	6,9
Diatomeae	183,5	29,4	94,3	-	-	27,6	-
Cryptophyceae	37,5	281,1	262,3	150,5	4,6	20,9	34,1
Peridineae	643,3	59,9	62,3	222,7	1,9	-	68,0
Total	961,2	386,7	477,9	640,1	8,6	72,0	109,1

Tabelle 11

Nannoplanktonvolumenprozent des Zürichsees

	3.12.57	17.12.57	8.1.58	4.2.58	18.2.58	4.3.58	
Bacteriophyta	-	-	-	-	-	-	
Cyanophyta	-	-	-	-	-	-	
Euchlorophyceae	-	-	-	+	-	+	
Desmidiáles	-	-	-	+	+	-	
Chrysophyceae	-	-	-	+	0,1	+	
Kleine Flagellaten	-	-	+	0,2	+	-	
Diatomeae	-	-	-	0,2	0,3	0,6	
Cryptophyceae	0,6	0,9	0,5	0,5	1,1	2,3	
Peridineae	0,4	0,1	0,2	0,5	0,6	0,9	
Total	1,0	1,0	0,7	1,4	2,1	3,8	
	1.4.58	15.4.58	29.4.58	13.5.58	27.5.58	10.6.58	24.6.58
Bacteriophyta	-	-	-	-	-	-	-
Cyanophyta	-	-	-	-	-	-	-
Euchlorophyceae	+	+	0,5	0,6	+	10,3	2,5
Desmidiáles	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae	0,3	0,4	+	-	-	-	-
Kleine Flagellaten	+	0,6	0,1	0,1	0,1	-	0,3
Diatomeae	1,2	10,2	9,1	0,9	1,2	+	0,2
Cryptophyceae	4,0	2,0	4,2	2,7	14,5	18,2	1,9
Peridineae	1,1	0,6	3,2	0,4	1,1	6,1	3,0
Total	6,6	13,8	17,1	4,7	16,9	34,6	7,9
	22.7.58	5.8.58	2.9.58	16.9.58	29.9.58	14.10.58	28.10.58
Bacteriophyta	0,1	0,2	-	+	+	+	-
Cyanophyta	0,1	0,4	1,3	16,1	33,2	0,1	0,2
Euchlorophyceae	3,8	35,4	0,2	3,4	0,2	+	+
Desmidiáles	-	0,3	+	-	-	-	-
Chrysophyceae	+	+	0,3	1,3	0,2	-	-
Kleine Flagellaten	1,2	+	+	0,4	0,4	+	+
Diatomeae	-	0,4	+	0,2	-	-	-
Cryptophyceae	4,1	0,2	0,8	2,0	2,9	0,6	1,1
Peridineae	2,3	0,9	1,0	0,2	0,4	0,1	0,5
Total	11,6	38,0	3,7	23,6	37,4	0,8	1,8

Tabelle 11 (Fortsetzung)

	11.11.58	25.11.58	9.12.58	23.12.58	17.2.59	3.3.59	31.3.59
Bacteriophyta	-	-	-	-	-	-	-
Cyanophyta	-	-	-	-	-	-	-
Euchlorophyceae	-	-	-	-	-	0,3	0,1
Desmidiales	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae	-	-	0,2	+	-	-	+
Kleine Flagellaten	+	0,2	+	0,1	+	0,8	0,2
Diatomeae	+	-	-	-	0,1	35,9	16,7
Cryptophyceae	1,8	0,4	0,3	0,2	0,2	4,1	0,5
Peridineae	0,6	1,0	1,1	1,0	0,1	1,0	0,1
Total	2,5	1,6	1,6	1,3	0,4	42,2	17,6
	14.4.59	13.5.59	7.7.59	18.8.59	29.9.59	27.10.59	8.12.59
Bacteriophyta	-	-	-	+	-	+	-
Cyanophyta	-	-	-	2,3	+	-	-
Euchlorophyceae	+	-	0,4	+	-	-	-
Desmidiales	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophyceae	0,2	-	-	0,3	-	0,9	+
Kleine Flagellaten	0,4	0,2	0,4	0,3	+	0,2	+
Diatomeae	1,1	0,3	1,2	-	-	1,3	-
Cryptophyceae	0,2	2,6	3,3	1,6	+	1,0	0,2
Peridineae	3,9	0,6	0,8	2,3	+	+	0,4
Total	5,8	3,7	6,1	6,8	0,1	3,5	0,6

und *Gymnodinium lantzschii*, zwei Nannoplankter, während im Sommerplankton *Peridinium cinctum* und *Peridinium inconspicuum* sowie *Ceratium hirundinella* die Biomasse der Peridineen bestimmten.

D. Das Phytoplankton des Pfäffikersees

1. Allgemeines

Im Pfäffikersee haben in den letzten fünfzig Jahren auffallende chemische und biologische Veränderungen stattgefunden, hauptsächlich bedingt durch die zunehmende Eutrophierung durch Abwasser. So weist MESSIKOMMER [42] auf folgende Verschiebungen in der Zusammensetzung des Planktons hin: «Eine Anzahl Kieselalgen, wie zum Beispiel die Cycloptellen, die Melosiren, *Synedra acus* var. *angustissima*, sind gegenüber früher mengenmässig erheblich zurückgegangen. *Fragilaria crotonensis* trat vor 40 Jahren spärlich, vor 15–18 Jahren reichlich auf. Neuestens scheint sie wieder zurückzugehen. *Eudorina elegans* hat vor vier Dezennien fast ganz gefehlt. Ihre bessere Vertretung hat sich erst im Laufe der letzten 20 Jahre gesichert. *Dinobryon divergens* hat gegenüber früher an Bedeutung

stark eingebüsst.» Heute wird der Pfäffikersee biologisch durch sprunghafte Massenentfaltungen des Planktons, die sogar Vegetationsfärbungen und Wasserblüten verursachen, charakterisiert.

Im Zusammenhang mit technischen Versuchen zur künstlichen Belüftung (erste Resultate darüber bei AMBÜHL [2]) bot sich uns die Gelegenheit, das Zahlenmaterial der Planktonproben zu verwerten, wiederum mit dem Ziel, Netz- und Nannoplankton miteinander zu vergleichen sowie die vorliegenden Resultate soweit möglich denjenigen des Zürichsees gegenüberzustellen.

2. Artenliste der Phytoplankter

Da das Plankton nicht in regelmässigen Abständen lebend untersucht worden ist, konnten in der folgenden Aufstellung hauptsächlich nur ausgezählte (konservierte) Organismen berücksichtigt werden. In qualitativer Hinsicht waren demnach einzelne Lücken unvermeidbar. Das Ziel bei der Verarbeitung des Materials war jedoch, die Hauptformen quantitativ zu erfassen.

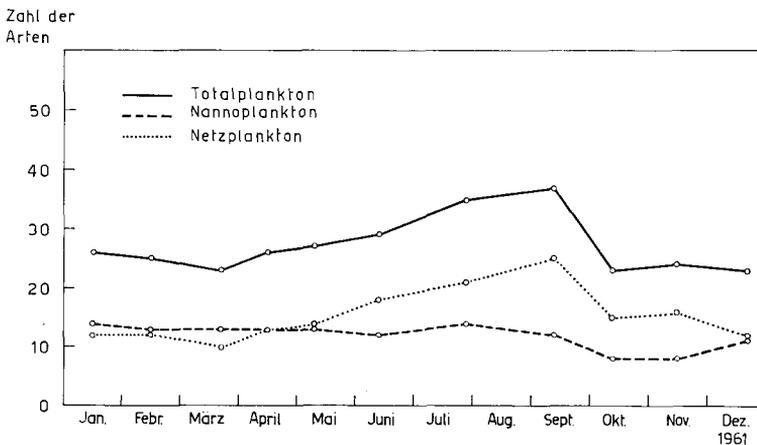


Abbildung 10
Pfäffikersee. Anzahl der ausgezählten Arten (Januar bis Dezember 1961).

Die Artenzahlen sind in Abb. 10 und Tab. 13 wiedergegeben. Rund 80 Formen wurden im Laufe der Untersuchung gefunden, davon etwa 40 Nannoplanktonformen. Pro Monat wurden durchschnittlich 15 Netz- und 12 Nannoplankter ausgezählt. Die wichtigsten Zählformen des Nannoplanktons waren *Cryptomonas* spp., *Rhodomonas* spp., *Stephanodiscus bantzschii*, kleine, kugelige Formen (*Chlorella*, *Coccomyxa* und *Ellipsoidion*,

vgl. Abb. 29*), kleine Flagellaten (*Erkenia*, *Pseudopedinella*, *Ochromonas*, *Bodo*, *Monas*, *Heterochromonas*), *Selenastrum minutum*, *Phacotus lenticularis*, *Lambertia judayi*. Unter den Netzplanktonformen seien erwähnt: *Aphanothece clatbrata* var. *brevis*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa*, *Melosira granulata* var. *angustissima*, *Ceratium hirundinella*.

Artenliste des Pfäffikersees

CYANOPHYTA

Microcystis pulverea (Wood) Forti
Microcystis flos-aquae (Wittrock) Kirchner
Aphanocapsa delicatissima W. et G. E. West
Aphanothece clatbrata var. *brevis* Nordstedt
Aphanocapsa elachista W. et G. S. West
Anabaena flos-aquae (Lyngbye) Brébisson
Anabaena planctonica Brunnthaler
Aphanizomenon flos-aquae (L.) Ralfs
Cbroococcus limneticus Lemm.
Coelosphaerium naegelianum Unger
Coelosphaerium kützingianum Nägeli
Gomphosphaeria lacustris Chodat

CHLOROPHYTA

Euchlorophyceae

Phacotus lenticularis Ehrenberg
Pandorina morum Bory
Eudorina elegans Ehrenberg
Sphaerocystis schroeteri Chodat
Gemmellicystis neglecta Skuja
Chlorella pyrenoidosa Chick
Pediastrum boryanum (Turpin) Menegh.
Pediastrum duplex Meyen
Oocystis lacustris Chodat
Oocystis marssonii Lemmermann
Nephrocytium agardhianum Naegeli
Scenedesmus spp.
Actinastrum bantzschii var. *fluvatile* Schröd.
Crucigenia rectangularis (A. Braun) Gay
Selenastrum minutum (Nacg.) Cool.
Ankistrodesmus convolutus Corda
Lambertia judayi (G. M. Smith) Korschik.
Quadrigula pfitzeri Schroeder
Elakatothrix gelatinosa Wille
Coelastrum reticulatum (Dangcard) Senn.
Coelastrum microporum Naegeli

Conjugatae

- Closterium acutum* var. *variabile* (Lemm) Krieger
Closterium prorum Bréb.
Cosmarium sp.
Staurastrum gracile Ralfs

CHRYSOPHYTA

Chrysophyceae

- Chrysococcus rufescens* Klebs
Erkenia subaequiciliata Skuja
Uroglena volvox Ehrenberg
Kephyrion inconstans (Schm.) Bourrelly
Kephyrion moniliferum (Schm.) Bourrelly
Kephyrion spirale (Lackey) Bourrelly
Dinobryon divergens Imhof
Dinobryon sertularia Ehrenberg
Dinobryon sociale Ehrenberg
Pseudopedinella erkensis Skuja
Bodo sp.
Monas sp.
Heterochromonas sp.

Diatomeae

- Melosira granulata* var. *angustissima* O. M.
Cyclotella comensis Grun.
Cyclotella operculata (Ag.) Kg.
Cyclotella comta (E.) Kg.
Stephanodiscus hantzschii Grun.
Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kg.
Diatoma vulgare Bory
Fragilaria crotonensis (Edw.) Kitt.
Fragilaria capucina Desm.
Asterionella formosa Hassall
Synedra acus var. *delicatissima* (W. Sm.) Grun.
Melosira islandica O. Müller
 Diverse Diatomeen

Heterocontae

- Ellipsoidion* cf. *oocystoides* Pascher

PYRROPHYTA

Cryptophyceae

- Rhodomonas lacustris* Pascher et Ruttner
Rhodomonas lens Pascher et Ruttner
Cryptomonas ovata Ehrenberg
Cryptomonas erosa Ehrenberg

Cryptomonas erosa var. *reflexa* Marsson
Cyathomonas truncata (Fres.) Fischer
Katablepharis ovalis Skuja

Peridineae

Gymnodinium lantzschii Utermöhl
Gymnodinium helveticum Penard
Peridinium cinctum (Müller) Ehrenberg
Peridinium willei Huitf.-Kaas.
Ceratium birundinella Schrank

3. Jahreszeitliches Auftreten

Qualitativ stimmt die jahreszeitliche Entwicklung des Planktons weitgehend mit dem allgemein bekannten Jahreszyklus eines eutrophen Flachlandsees unseres Gebietes überein. Wie für den Zürichsee ist das Auftreten der Formen während eines Jahres in Tabelle 12 zusammengestellt (vgl. auch Abb. 13). In den beiden ersten Monaten, Januar und Februar, begannen *Cryptomonas ovata* und *Rhodomonas lacustris* zahlreich aufzutreten (Abb. 11). Im Februar wurde das Bild von einer kleinen, kugeligen Heterokonten (Abb. 29*) beherrscht. Ausserdem war ein *Ochromonas* (Abb. 25*) und ein *Bodo* in bemerkenswerter Menge vorhanden. Gegen Ende März hatte eine ausserordentliche Vermehrungsaktivität der obenerwähnten Nannoplankter eingesetzt, die zu einer bräunlichgrünen Vegetationsfärbung geführt hat. Diese starke Entfaltung fand vor allem in den oberen 5 m statt und wurde namentlich von *Cryptomonas ovata*, *Rhodomonas lacustris* (Abb. 12), *Stephanodiscus hantzschii* und einer kugeligen Chrysophycee erzeugt. Begleitformen waren *Ochromonas* sp., *Chrysococcus rufescens*, *Gymnodinium helveticum* und *Gymnodinium lantzschii*. Ein ähnliches Planktonbild wie der März – nur etwa fünfmal weniger dicht – wies auch der April auf. Im Mai fiel das Auftreten der kleinen Grünalgen *Selenastrum minutum*, *Lambertia judayi* und *Phacotus lenticularis* auf. Die Euchlorophyceen erreichten ihr qualitatives und quantitatives Maximum im Juni. Dabei waren von Bedeutung *Lambertia judayi*, *Sphaerocystis Schroeteri*, *Oocystis lacustris* und *Elakatothrix gelatinosa*. Neben den Grünalgen sind wiederum *Cryptomonas* und *Rhodomonas*arten die vorherrschenden Formen. Genannt sei ferner die Netzplanktonform *Asterionella formosa*. Ausser dem Nannoplankter *Stephanodiscus hantzschii*, der sich bis in den Mai hinein in grosser Menge entfaltet hatte, waren andere Kieselalgen nur in geringer Zahl vorhanden. Ganz vereinzelt fanden sich auch *Ochromonas* sp. und *Uroglena volvox*. Im Juli verschwanden die Nannoplankter, dafür erreichten *Fragilaria*

Tabelle 12

Qualitative Zusammensetzung der häufigsten Phytoplankter im Pfäffikersee von Januar 1961 bis Dezember 1961

	Monate 1961											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Aphanothece clathrata</i> var. <i>brevis</i>												
Restliche chroococcale Formen	+	+		+	+	+	+++		+++	+	+	+
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>						+			+	+++	+	+
<i>Anabaena flos-aquae</i>							+		+	+		
<i>Phacotus lenticularis</i>	+	+		+	++	+	++		+++	+	+	+
<i>Pandorina morum</i>							+		+			
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	+	+			+	++	++		++	+	+	+
<i>Oocystis lacustris</i>	+					+++	++		+	+	+	
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>												
<i>Selenastrum minutum</i>	+	++	++	+++								
<i>Lambertia judayi</i>					+	+++	++		+			
<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	+	+	+	+	+	++	+		+		+	+
<i>Chlorella</i> sp., <i>Ellipsoidion</i> sp. («µ-Algen»)		+++	+++									
<i>Closterium aciculare</i>	+											
<i>Cosmarium phaseolus</i>			+				+					
<i>Staurastrum gracile</i>	+	+			+	++	++		+	+	+	+
<i>Chrysococcus rufescens</i>			+									
<i>Erkenia subaequiciliata</i>	+											
<i>Kephyrion</i> spp.		+	+	+	+	+	++					
<i>Dinabryon</i> spp.						+						
<i>Bicoeca multiannulata</i>	+											
Kleine Flagellaten	++	++	+++	+++	++	+++	+++		++	+	+	+
<i>Melosira granulata</i> var. <i>ang.</i>	+	+	+	+	+	+	+++		+	+	+	+
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	+	++	+++	+++	++	+	+		+	++	+	+
<i>Synedra acus</i> var. <i>delicatissima</i>	+	+	+	++	+	+			+	+		
<i>Fragilaria crotonensis</i>	+	+	+	+	+	+	+++		++	+	+	+
<i>Fragilaria capucina</i>		+		+	+	+						+
<i>Tabellaria fenestrata</i>												
<i>Asterionella formosa</i>	+	+	+	+		+++	+		+	+	+	+
<i>Rhodomonas lacustris</i> und <i>Rhodomonas lens</i>	++	++	+++	++	++	+++	+		++	+++	++	++
<i>Cryptomonas ovata</i> und <i>Cryptomonas erosa</i>	+	++	+++	+++	+	+++	++		+	+	+	+

crotonensis und die für den Pfäffikersee charakteristische *Melosira granulata* var. *angustissima* ein Entwicklungsmaximum. Eine Anzahl chroococcaler Blaualgen prägten das Planktonbild, so ganz besonders die grossen Kolonien von *Aphanothece clathrata* var. *brevis* (Abb. I1), ferner *Microcystis pulvereae*, *Aphanocapsa delicatissima*, *Coelosphaerium naegelianum*, *Chroococcus limneticus* und die fädige Form *Anabaena flos-aquae*.

Die Zusammensetzung des Herbstplanktons änderte sich wesentlich durch die augenfällige Entwicklung des Netzplankters *Aphanizomenon flos-aquae* (Abb. II). Diese Blaualge vermehrte sich schlagartig, so dass im Oktober eine auffallend starke Wasserblüte entstand, die öffentliches Aufsehen

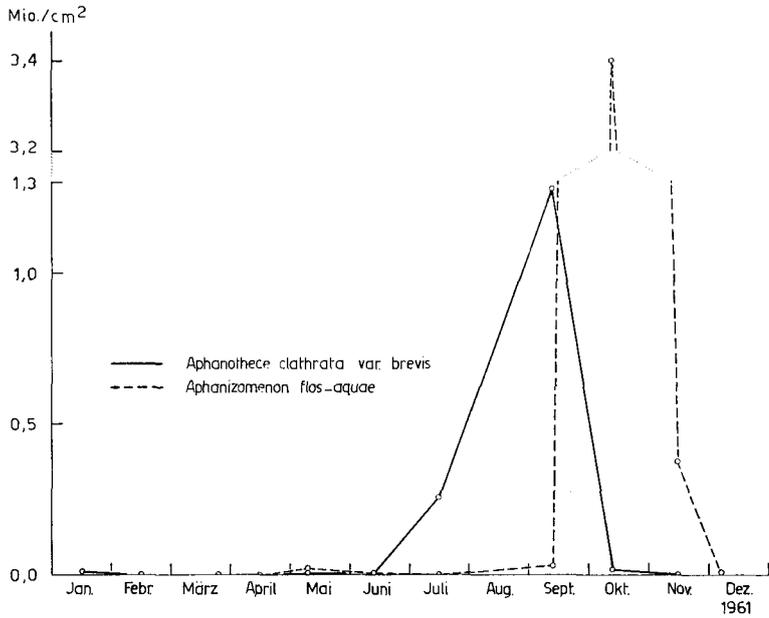


Abbildung 11

Pfäffikersee. Jahreszeitliches Auftreten der häufigsten Blaualgen *Aphanothece clathrata* var. *brevis* und *Aphanizomenon flos-aquae* (Januar bis Dezember 1961), in Individuenzahlen/cm².

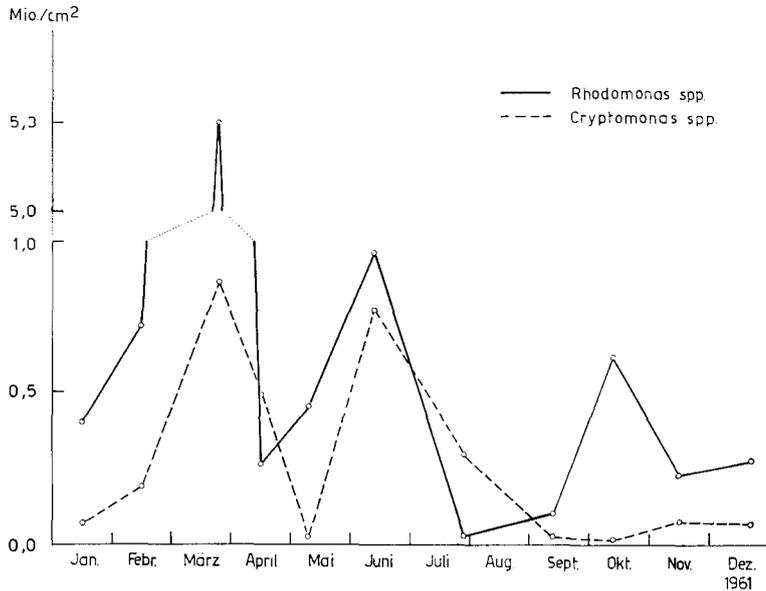


Abbildung 12

Pfäffikersee. Jahreszeitliches Auftreten der wichtigsten Cryptophyceen *Rhodomonas* spp. und *Cryptomonas* spp. (Januar bis Dezember 1961), in Individuenzahlen/cm².

erregte. Die übrigen Planktonformen gingen in dieser Zeit stark zurück. Nur *Rhodomonas lacustris* – die Allerweltsform – ferner *Ceratium hirundinella* und schon wieder *Stephanodiscus bantzschii* waren charakteristische Begleitformen dieser Wasserblüte. Während der Wintermonate November und Dezember war *Aphanizomenon* in geringer Zahl noch vorhanden, *Cryptomonas* und *Rhodomonas* rückten wieder in den Vordergrund. Überblicken wir abschliessend noch einmal den Vegetationszyklus des Pfäffikerseep planktons anhand der Schöpfproben, so können wir das Frühjahrsplankton als reines Nannoplankton, das sogar Vegetationsfärbungen verursachte, mit den Hauptformen *Cryptomonas*, *Rhodomonas*, *Stephanodiscus*, *Chlorella* und *Ellipsoidion*, charakterisieren, das im Frühsommer neben den Grünalgen *Sphaerocystis* und *Oocystis* vor allem von grösseren Diatomeen wie *Fragilaria*, *Melosira* und *Synedra* abgelöst wurde. Im Sommer und Herbst dominierte das Netzplankton in Form von Blaualgen, wobei *Aphanizomenon flos-aquae* sich in eindrucklicher Menge als Wasserblüte entwickelt hatte (vgl. auch Abb. 11, 13).

4. Vertikale Verteilung der Planktonorganismen

In Abb. 13 ist die monatliche vertikale Verteilung der wichtigsten pflanzlichen Nanno- und Netzplankter graphisch dargestellt. Die vertikale Verteilung der häufigsten Nannoplankter *Rhodomonas* und *Cryptomonas* stimmt auffallend gut mit dem jeweiligen thermischen Zustand des Sees überein. Zu beachten ist ihr Rückzug ins Epilimnion während der Sommermonate; möglicherweise besteht ein Zusammenhang mit einer gewissen Empfindlichkeit gegenüber niederen Sauerstoffgehalten. Deutlich zu erkennen ist die bekannte Vorliebe von *Gymnodinium helveticum* und *Gymnodinium lantzschii* für tiefere Temperaturen. Als typisch epilimnisch erwiesen sich die Grünalgen *Lambertia judayi* und *Elakatothrix gelatinosa*, während die übrigen nannoplanktischen Grünalgen keine prägnanten Schichtungsbilder zeigten. Unter den Netzplanktern ist als einzige auffallend verteilte Alge die Oberflächenform *Aphanizomenon flos-aquae* hervorzuheben.

Aus den durchschnittlichen Halbwertstiefen geht hervor, dass im Pfäffikersee die stärkste Entwicklung des Nannoplanktons oft in geringerer Wassertiefe stattfand als diejenige des Netzplanktons. Nur zur Zeit der Massentwicklung von *Aphanothece clathrata* var. *brevis* im Juli und *Aphanizomenon flos-aquae* im Oktober waren die Nannoplankter tiefer eingeschichtet als die Netzplankter.

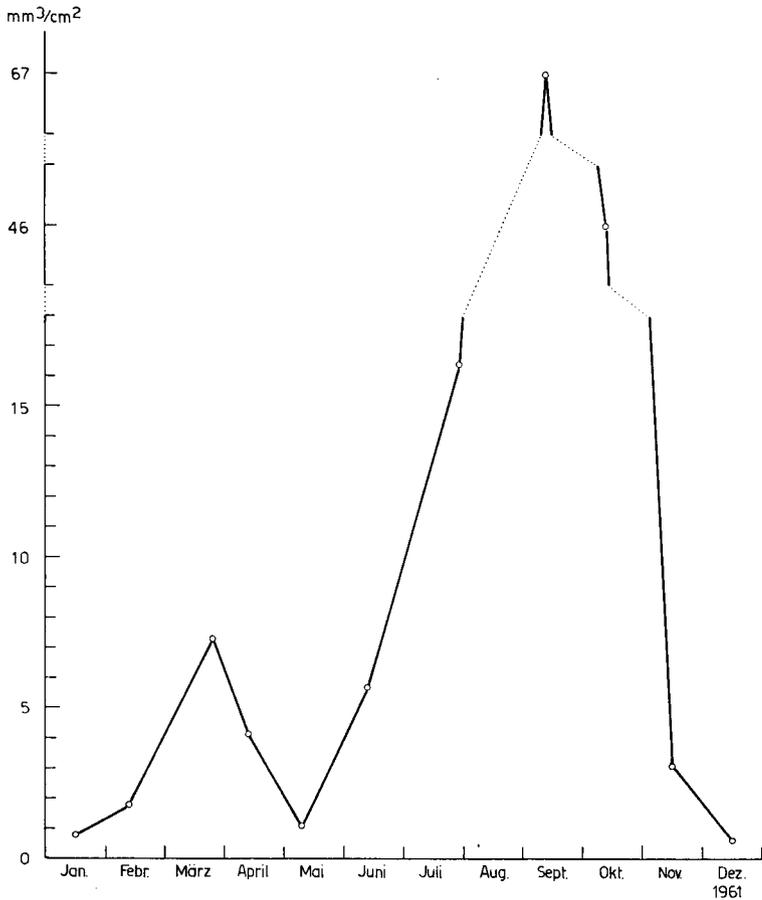


Abbildung 14
Pfäffikersee. Gesamtbioasse des Phytoplanktons (Januar bis Dezember 1961), in mm^3/cm^2 .

5. Biomasse und prozentuale Verteilung des Phytoplanktons

Überblicken wir die «standing crop»-Kurve des Pfäffikersees im Jahre 1961 (Abb. 14), so können wir drei ausgeprägte Biomassemaxima feststellen: eines im Frühling (März), ein höheres im Sommer (Juli) und ein ausserordentliches im Herbst (Oktober). In Abb. 15 kommt sehr schön die Gegenläufigkeit Nannoplankton-Netzplankton zum Ausdruck. Dabei beobachtet man eine Nannoplanktonproduktion vor allem in den Frühlingsmonaten bis zum April mit einem Maximum im März und eine zweite, kleine im Juni. In der zweiten Hälfte des Jahres wurde im Vergleich zum Netzplankton nur noch sehr wenig Nannoplankton produ-

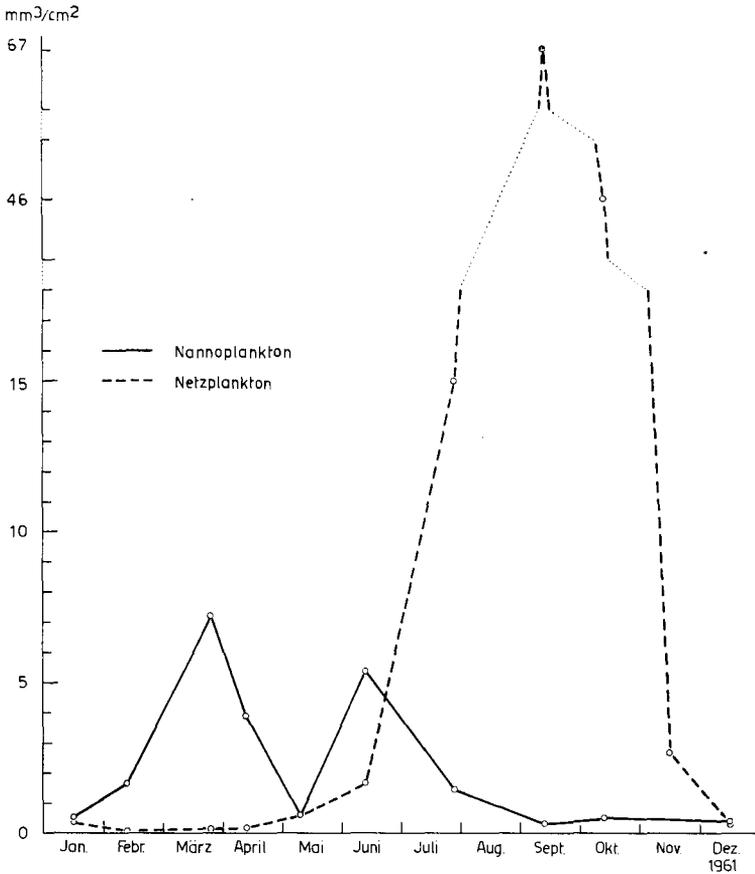


Abbildung 15

Pfäffikersee. Biomasse des Nannoplanktons im Vergleich zur Biomasse des Netzplanktons (Januar bis Dezember 1961), in mm^3/cm^2 .

ziert, das Netzplankton hingegen erreichte zwei scharfe Spitzen, die diejenige des Nannoplanktons im Frühling um das Zwei- bis Siebenfache volumemässig übertrafen. So bildete das Nannoplankton als Jahresmaximum im März $7,2 \text{ mm}^3$ organische Substanz unter 1 cm^2 , während das Netzplankton im Oktober $45,9 \text{ mm}^3$ unter 1 cm^2 entwickelte. Aus den prozentualen Werten (Abb. 16) und den Individuenzahlen der Nanno- und Netzplankter (Abb. 17) jedoch erkennen wir in eindrucklicher Weise die Bedeutung des Nannoplanktons in der ersten Jahreshälfte.

Es sind vor allem zwei Algengruppen, die diese klar verlaufenden, gegenläufigen Kurvenbilder kennzeichnen. Dies geht aus Abb. 18 hervor: Die Höchstsippen der Blaualgen fallen genau mit den Biomasse-

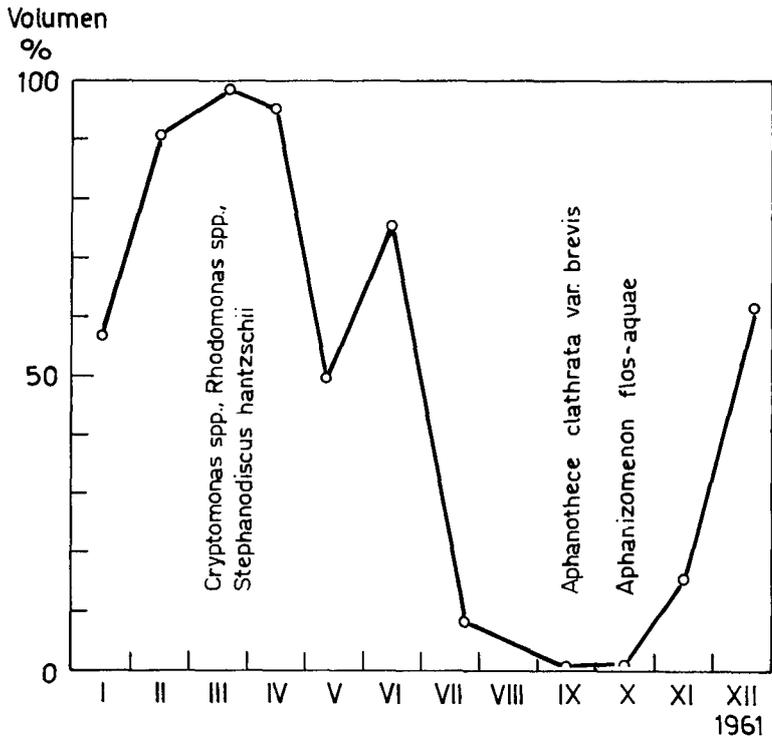


Abbildung 16

Pfäffikersee. Prozentualer Biomasseanteil des Nannoplanktons am Gesamtplankton (Januar bis Dezember 1961).

maxima des Netzplanktons (vgl. auch Abb. 17) im Sommer und Herbst zusammen, während die beiden Nannoplanktonmaxima vor allem durch Cryptophyceae erzeugt wurden.

Die exakten Zahlen der prozentualen Volumenanteile sind in Tab. 13 aufgeführt. Daraus ist ersichtlich, dass die Chrysophyceen volumenmässig überhaupt nicht ins Gewicht fallen. Auch die Euchlorophyceen, von denen bis zu 12 Arten ausgezählt wurden (s. Tab. 13 und 14), machen maximal nur 7,0% aus und die Diatomeen mit 10 Zählarten erreichten einen Höchstvolumenanteil von 24,4% (0,5 mm³ unter 1 cm²) im Februar. Die Cryptophyceae jedoch mit nur vier Zählarten bestritten 81,9% des Gesamtvolumens im März mit 6,0 mm³ unter 1 cm². Der höchste Volumenanteil der Blaualgen, die überhaupt die maximale Biomasse erzeugten, betrug 98,9% mit 45,4 mm³ unter 1 cm² im Oktober, zur Zeit der *Aphanizomenon*wasserblüte. Die Desmidiales waren volumen- und zahlenmässig unbedeutend, die Peridineae (mit 5 Zählarten) traten

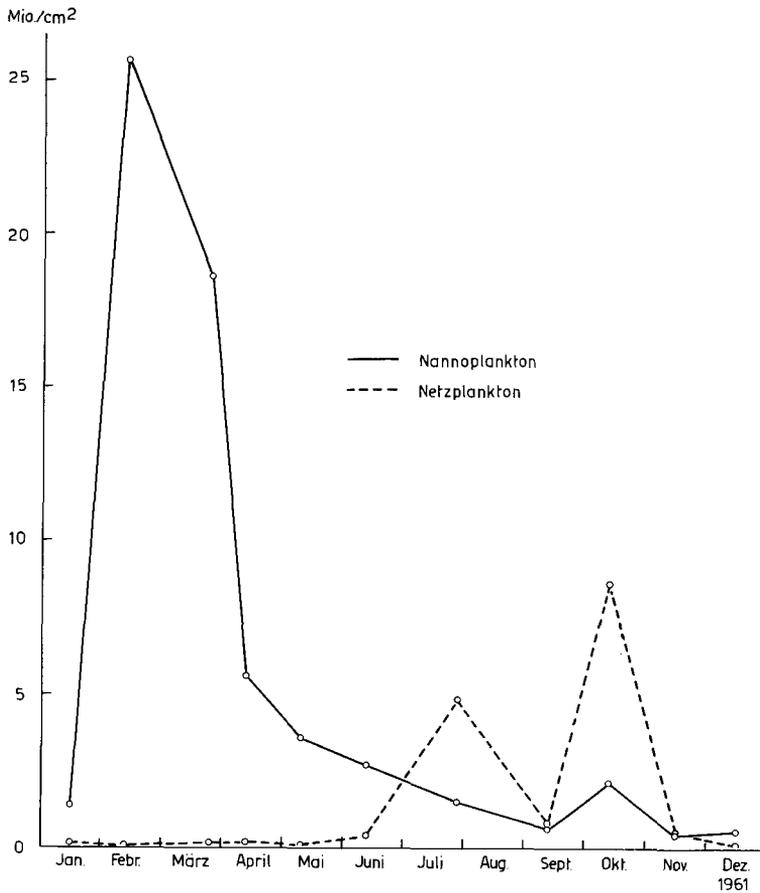


Abbildung 17

Pfäffikersee. Individuenzahlen des Nannoplanktons im Vergleich zu denjenigen des Netzplanktons (Januar bis Dezember 1961).

mit 17,2% im April am meisten in Erscheinung und zeigten im September mit $2,7 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ die grösste Masse. Eine kleine, volumenmässig ebenfalls unwichtige Gruppe wird von einigen kleinen, zum Teil unbestimmbaren Flagellaten (mit *Bodo*, *Monas*, *Ochromonas* usw.) gebildet.

Um eine Übersicht zu erhalten, wie gross der Anteil des Nannoplanktons in bezug auf die verschiedenen Algengruppen ist, wurden in Abb. 18 die Volumenprozent des Nannoplanktons eingetragen. Die exakten Werte (absolute und prozentuale) sind in Tab. 15 zu finden. Auffallend ist, dass die Cyanophyten reines Netzplankton, die Cryptophyceen und die kleinen Flagellaten reines Nannoplankton darstellen, aber auch die

Tabelle 13

Aufstellung über die Anzahl der ausgezählten Arten (A) und prozentualer Anteil derselben am Planktonvolumen (AV) des Pfäffikersees

	16.1.61		14.2.61		23.3.61		13.4.61		9.5.61			
	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV		
Bacteriophyta	2	0,1	1	+	—	—	1	+	1	0,8		
Cyanophyta	1	33,0	1	0,2	—	—	1	0,9	2	42,8		
Euchlorophyceae	4	2,2	6	5,1	3	0,6	4	0,1	5	3,7		
Desmidiales	2	0,6	2	0,1	2	—	1	0,2	2	0,9		
Chrysophyceae	2	—	1	—	1	—	1	—	—	—		
Kleine Flagellaten	1	2,5	1	2,5	1	1,6	1	2,9	1	4,9		
Diatomeae	9	9,8	9	24,4	10	9,7	11	15,1	10	17,9		
Cryptophyceae	2	46,2	2	64,1	2	81,3	2	63,6	2	20,3		
Peridineae	3	5,8	2	2,6	4	6,2	5	17,2	4	8,7		
Netzplankton	12	43,3	12	9,2	10	1,5	13	4,7	14	50,4		
Nannoplankton	14	56,7	13	90,8	13	98,5	13	95,3	13	49,6		
Total	26	100,0	25	100,0	23	100,0	26	100,0	27	100,0		
	13.6.61		27.7.61		12.9.61		11.10.61		16.11.61		20.12.61	
	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV	A	AV
Bacteriophyta	1	+	2	+	1	—	1	+	1	—	—	+
Cyanophyta	2	5,5	5	77,3	5	95,1	3	98,1	3	82,1	2	32,3
Euchlorophyceae	6	7,0	10	1,9	12	0,4	4	+	5	1,1	6	1,6
Desmidiales	2	1,0	3	0,1	3	+	2	+	2	0,1	2	0,3
Chrysophyceae	2	—	1	—	1	—	—	—	—	—	—	—
Kleine Flagellaten	1	1,0	1	0,5	1	+	1	+	1	0,2	1	0,9
Diatomeae	9	7,0	7	11,6	9	0,3	8	0,7	7	1,1	8	6,3
Cryptophyceae	2	72,2	2	7,7	2	0,2	2	0,6	2	14,3	2	50,7
Peridineae	4	6,3	4	0,9	3	4,0	2	0,6	3	1,1	2	7,1
Netzplankton	17	24,8	21	91,4	25	99,5	15	98,9	16	84,4	12	38,5
Nannoplankton	12	75,2	14	8,6	12	0,5	8	1,1	8	15,6	11	61,5
Total	29	100,0	35	100,0	37	100,0	23	100,0	24	100,0	23	100,0

Masse der Peridineen das ganze Jahr hindurch hauptsächlich von Nannoplanktern geformt wird, während sich bei den Diatomeen und Euchlorophyceen je nach Monat mehr Netz- oder mehr Nannoplanktonformen entwickeln.

6. Nannoplankton und Stoffkreislauf

Wie aus den vorstehenden Darstellungen hervorgeht, entwickelt sich im Pfäffikersee gleich nach der Frühjahrsvollzirkulation und der ersten Erwärmung der Oberflächenschichten fast explosionsartig eine riesige Individuenzahl von sozusagen reinem Nannoplankton. Diese starke Entfaltung ist meistens mit einer Vegetationsfärbung verbunden. Die ausser-

Tabelle 14

Phytoplanktonvolumen des Pfäffikersees in $10^6 \mu^3$ unter 1 cm^2

	16.1.61	14.2.61	23.3.61	13.4.61	9.5.61	
Bacteriophyta	1,0	0,1	—	—	9,0	
Cyanophyta	267,3	2,9	—	34,6	495,2	
Euchlorophyceae	19,2	93,4	44,0	2,4	42,5	
Desmidiales	2,9	2,2	0,3	7,3	9,9	
Chrysophyceae	—	—	—	—	—	
Kleine Flagellaten	19,8	45,1	115,7	119,4	57,0	
Diatomeae	79,2	461,9	708,6	615,2	206,6	
Cryptophyceae	373,2	1167,4	5975,3	2591,0	232,6	
Peridineae	47,2	47,7	450,3	698,4	100,7	
Netzplankton	349,7	167,9	108,0	187,6	581,3	
Nannoplankton	458,1	1652,8	7186,2	3878,7	572,2	
Total	807,8	1820,7	7294,2	4066,3	1153,5	
	13.6.61	27.7.61	12.9.61	11.10.61	16.11.61	20.12.61
Bacteriophyta	3,8	0,6	—	0,02	—	0,02
Cyanophyta	316,3	12690,2	62909,6	45411,2	2534,3	243,2
Euchlorophyceae	401,3	314,5	255,9	31,8	34,5	11,5
Desmidiales	60,1	17,3	20,8	0,8	3,0	2,3
Chrysophyceae	—	—	—	—	—	—
Kleine Flagellaten	57,6	75,0	11,9	30,9	4,7	6,6
Diatomeae	401,4	1910,0	179,8	310,4	33,2	51,5
Cryptophyceae	4156,1	1260,5	164,6	260,8	440,6	378,5
Peridineae	368,5	141,5	2684,0	276,1	33,7	53,2
Netzplankton	1429,3	14994,6	66919,7	45857,1	2604,4	287,5
Nannoplankton	4331,7	1408,0	306,1	464,9	479,6	459,3
Total	5761,2	16402,6	67225,8	46322,0	3084,0	746,8

ordentliche Aktivität der Organismen wird nicht nur in ihrer Dichte, sondern auch in den chemischen Daten sichtbar.

In nachstehender Tab. 16 seien einige Beispiele, in denen die Beziehung zwischen Nannoplankton und Stoffumsatz in prägnanter Weise gezeigt werden, dargestellt.

Der Frühling 1961 begann mit auffallend warmem, sonnigem Wetter (Ende Februar bis Mitte März), so dass am 21. 3. 61 die grosse Individuenzahl von rund 28 Mill. Indiv./l an der Oberfläche festgestellt werden konnte, bei einer Sichttiefe von 2,5 m. In 10 m Tiefe waren noch rund 6 Mio. Indiv./l vorhanden. Diese Frühjahrsentfaltung von reinem Nannoplankton hatte an der Oberfläche den hohen Sauerstoffgehalt von 15,3 mg/l zur Folge, während am Grund 8,7 mg/l bestimmt wurden. Beachtenswert war ferner die beträchtliche Zehrung des Nitrats, Phosphats und der Kieselsäure.

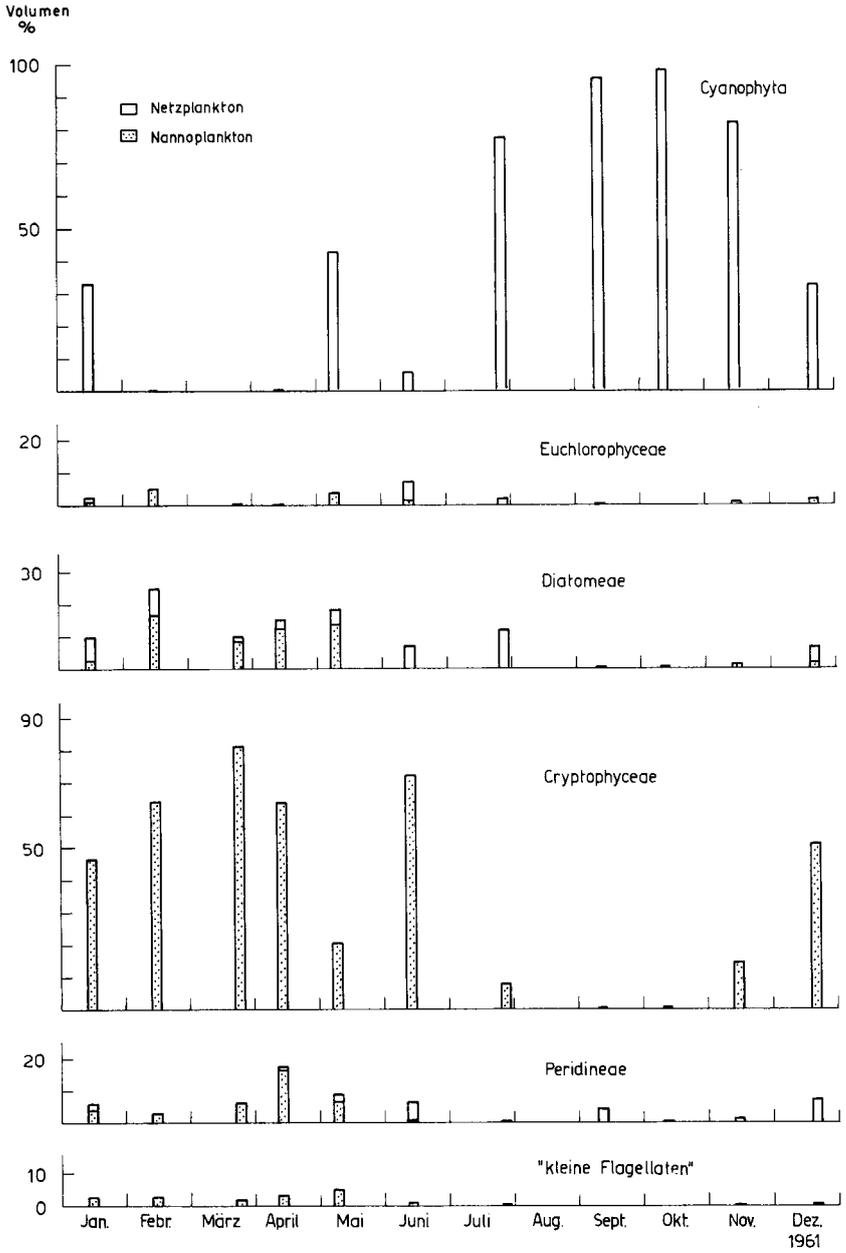


Abbildung 18
 Pfäffikersee. Prozentualer Biomasseanteil der verschiedenen Algengruppen am gesamten Phytoplankton, unter Berücksichtigung des Netz- und Nannoplanktons (Januar bis Dezember 1961).

Tabelle 15 a

Nannoplanktonvolumen des Pfäffikersees in $10^6 \mu^3$ unter 1 cm^2

	16. 1. 61	14. 2. 61	23. 3. 61	13. 4. 61	9. 5. 61	
Bacteriophyta	0,1	0,1	—	—	9,0	
Cyanophyta	—	—	—	—	—	
Euchlorophyceae	9,7	92,7	44,0	2,4	36,8	
Desmidiiales	—	—	—	—	—	
Chrysophyceae	—	—	—	—	—	
Kleine Flagellaten	19,8	45,1	115,7	117,4	57,0	
Diatomeae	21,6	299,8	613,8	501,2	159,2	
Cryptophyceae	373,2	1167,4	5975,3	2591,0	232,6	
Peridineae	32,8	47,7	437,4	666,7	77,6	
Total	458,1	1652,8	7186,2	3878,7	572,2	
	13. 6. 61	27. 7. 61	12. 9. 61	11. 10. 61	16. 11. 61	20. 12. 61
Bacteriophyta	3,8	0,6	—	0,02	—	0,02
Cyanophyta	—	—	—	—	—	—
Euchlorophyceae	63,2	25,2	116,3	7,2	2,9	9,9
Desmidiiales	—	—	—	—	—	—
Chrysophyceae	—	—	—	—	—	—
Kleine Flagellaten	57,6	75,0	11,3	30,9	4,7	6,6
Diatomeae	0,9	13,8	7,3	166,0	10,3	11,1
Cryptophyceae	4156,1	1260,5	164,6	260,8	440,6	378,5
Peridineae	50,1	32,9	6,1	—	21,1	53,2
Total	4331,7	1408,0	306,1	464,9	479,6	459,3

Am 9. 5. 61 befand sich an der Oberfläche und in 5 m Tiefe die viel kleinere Individuenzahl von nur 2,7 Millionen (fast reines Nannoplankton), der Sauerstoffgehalt betrug an der Oberfläche 10,5 mg/l; am Grund war er infolge von Zehrungsvorgängen auf 5 mg/l zurückgegangen. Noch sprechender waren die Analysenergebnisse ein Jahr später. Das Frühjahr 1962 zeichnete sich durch anhaltend schlechte, kalte Witterung aus im Gegensatz zum Frühjahr 1961. Das kühle Wetter spiegelte sich in der relativ schwachen Planktonentwicklung von 1,4 Mio. Individ./l wider und in der von der Oberfläche bis zum Grund gleichförmig verlaufenden Sauerstoffmenge und der übrigen gelösten Stoffe. Im Mai begann dann, wohl etwas verspätet, aber um so heftiger, die Nannoplanktonzeit des Frühjahrs, wobei im Oberflächenwasser 85,7 Mio. Individ./l gezählt wurden. Der Sauerstoffgehalt betrug daselbst 19,6 mg/l, und die Nitrate, Phosphate und Kieselsäure waren zum grössten Teil aufgebraucht.

Die aufgeführten Beispiele sind besonders klar und eindeutig, da sie aus der Zeit der beginnenden Frühjahrsstagnation stammen, wo kleinste Änderungen in der chemischen Schichtung noch viel besser wahrgenom-

Tabelle 15 b

Nannoplanktonvolumenprozent des Pfäffikersees

	16. 1. 61	14. 2. 61	23. 3. 61	13. 4. 61	9. 5. 61	
Bacteriophyta	0,1	+	-	-	0,8	
Cyanophyta	-	-	-	-	-	
Euchlorophyceae	1,2	5,1	0,6	0,1	3,2	
Desmidiales	-	-	-	-	-	
Chrysophyceae	-	-	-	-	-	
Kleine Flagellaten	2,5	2,5	1,6	2,9	4,9	
Diatomeae	2,7	16,5	8,4	12,3	13,8	
Cryptophyceae	46,2	64,1	81,9	63,6	20,3	
Peridineae	4,0	2,6	6,0	16,3	6,7	
Total	56,7	90,8	98,5	95,2	49,7	
	13. 6. 61	27. 7. 61	12. 9. 61	11. 10. 61	16. 11. 61	20. 12. 12
Bacteriophyta	+	+		+	-	-
Cyanophyta	-	-		-	-	-
Euchlorophyceae	1,1	0,2	0,2	+	+	1,3
Desmidiales	-	-		-	-	-
Chrysophyceae	-	-	-	-	-	-
Kleine Flagellaten	1,0	0,5	+	0,1	0,2	0,9
Diatomeae	+	0,1	+	0,4	0,3	1,5
Cryptophyceae	72,2	7,7	0,2	0,6	14,3	50,7
Peridineae	0,9	0,2	+	-	0,7	7,1
Total	75,2	8,7	0,5	1,1	15,5	61,5

men und erklärt werden können. Schwieriger ist es, ein analoges Beispiel für das Netzplankton darzulegen.

Am II. Oktober 1961 war der See überdeckt mit einer Wasserblüte von *Aphanizomenon flos-aquae*. An der Oberfläche waren 16,6 Mio. Fäden/l bestimmt worden. Im Monat vorher waren erst wenige Fäden von *Aphanizomenon* festgestellt worden. Die Sauerstoffwerte waren an der Oberfläche für solche Verhältnisse jedoch erstaunlich niedrig (8,6 mg/l). Vermutlich hatte schon eine Teilzirkulation stattgefunden (vgl. die Werte des Septembers), doch, trotzdem, schien durch diese *Aphanizomenon*-entwicklung nur wenig Sauerstoff produziert worden zu sein (vgl. Summe des Sauerstoffs von 0-15 m im September und Oktober).

Aber auch im Juli 1961, zur Stagnationszeit, wurde gegenüber dem Nannoplankton viel Netzplankton (1,2 Mio. Indiv. und Kol./l) entwickelt. Volumenmässig war eine zweimal so grosse Biomasse vorhanden als zur Zeit der Nannoplanktonentwicklung im März. Die Sauerstoffmengen jedoch waren eher gering (14,5 mg/l). Dies könnte möglicherweise mit der grossen Menge des zur Zeit der Probenahme vorhandenen

Tabelle 16

Einige Beispiele von Planktonentwicklungen im Pfäffikersee und entsprechende chemische Daten

21.3.61	0 m	5 m	10 m	20 m	30 m
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
<i>Chlorella pyr.</i> , <i>Ellipsoidion</i> sp.	8 500 000	—	4 300 000	1 600 000	1 400 000
Diverse Flagellaten	1 300 000	—	629 000	5 500	13 800
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	6 300 000	—	437 000	131 000	160 000
<i>Cryptomonas ovata</i>	1 600 000	—	51 000	2 500	0
<i>Rhodomonas lacustris</i>	10 000 000	—	219 000	22 300	10 000
Total	27 700 000	—	5 636 000	1 761 300	1 583 800
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	6,4	—	6,0	4,4	4,3
Sauerstoff (O) mg/l	15,3	—	13,6	10,5	8,6
Nitrat (N) mg/l	0,34	—	0,50	0,76	0,76
Phosphat (P) mg/l	0,060	—	0,070	0,122	0,130
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	2,00	—	2,40	3,40	3,70
Karbonathärte frz. H°	18,9	—	18,9	18,7	18,8
9.5.61					
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
<i>Selenastrum minutum</i>	1 300 000	1 200 000	341 000	146 000	137 000
Diverse Flagellaten	112 000	131 000	218 000	280 000	287 000
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	593 000	826 000	3 400	0	1 100 000
<i>Rhodomonas lacustris</i>	702 000	520 000	17 000	5 900	3 200
Total	2 707 000	2 677 000	579 400	577 900	1 527 200
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	12,8	9,2	7,1	4,6	4,3
Sauerstoff (O) mg/l	10,5	10,3	7,9	6,1	3,0
Nitrat (N) mg/l	0,68	—	0,86	1,20	1,20
Phosphat [P] mg/l	0,060	—	0,090	0,110	0,150
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	1,80	—	2,20	3,20	4,96
Karbonathärte frz. H°	19,3	—	19,3	19,2	19,3
27.7.61					
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
<i>Aphanothece clathrata</i> var. <i>brevis</i>	237 000	314 000	108 000	7 200	8 400
<i>Fragilaria crotonensis</i>	428 000	225 000	38 200	320	530
<i>Melosira granulata</i> var. <i>gran.</i>	253 000	75 400	4 200	430	0
Diverse Flagellaten	108 000	147 000	93 500	111 000	11 700
Total	1 026 000	761 000	243 900	118 900	20 600
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	21,6	18,4	16,3	10,3	8,0
Sauerstoff (O) mg/l	14,5	11,0	5,2	0,7	0,7
Nitrat (N) mg/l	0,04	—	0,32	0,66	0,34
Phosphat (P) mg/l	—	—	0,075	0,155	0,258
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	0,25	—	2,17	3,4	4,74
Karbonathärte frz. H°	17,6	—	18,9	19,3	19,5

Tabelle 16 (Fortsetzung)

12.9.61	0 m	5 m	10 m	20 m	30 m
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
<i>Aphanothece clathrata</i> var.	118000	97900	109000	2200000	210
<i>Phacotus lenticularis</i>	485000	150000	55200	49900	37200
<i>Rhodomonas lacustris</i>	166000	168000	2300	0	2300
Total	769000	415900	166500	2249900	39700
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	19,2	17,2	16,5	11,4	8,6
Sauerstoff (O) mg/l	15,3	8,5	4,8	0,2	0,4
Nitrat (N) mg/l	0,16	–	0,20	0,40	0,14
Phosphat (P) mg/l	0,025	–	0,042	0,152	0,215
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	1,20	–	1,70	3,80	4,95
Karbonathärte frz. H°	18,2	–	18,5	19,6	19,9
11.10.61					
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	16600000	–	0	10800	18600
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	1400000	–	47800	266600	13300
<i>Rhodomonas lacustris</i>	1200000	–	0	0	2700
Total	19200000	–	47800	277400	34600
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	17,7	16,6	16,4	13,1	10,3
Sauerstoff (O) mg/l	8,6	7,8	7,0	0,4	0,3
Nitrat (N) mg/l	0,04	–	0,06	0,14	0,06
Phosphat (P) mg/l	0,14	–	0,136	0,140	0,142
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	1,60	–	1,56	3,34	3,90
Karbonathärte frz. H°	17,4	–	17,3	19,6	19,8
16.3.62					
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
Diverse Flagellaten	171000	–	118000	124000	663000
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	210000	–	1100000	1500000	1400000
<i>Cryptomonas ovata</i>	480300	–	171000	27100	14800
<i>Rhodomonas lacustris</i>	559000	–	145000	111000	13000
Total	1420300	–	1534000	1762100	2090800
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	3,9	–	3,9	4,0	4,1
Sauerstoff (O) mg/l	11,3	–	11,0	11,0	10,8
Nitrat (N) mg/l	0,82	–	0,74	0,76	0,78
Phosphat (P) mg/l	0,139	–	0,142	0,148	0,144
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	3,63	–	3,63	3,70	3,75
Karbonathärte frz. H°	18,9	–	18,9	18,9	18,9

Tabelle 16 (Fortsetzung)

2.5.62	0 m	5 m	10 m	20 m	30 m
Wichtigste Planktonorganismen					
Indiv./l					
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	57 300 000	—	6 200 000	2 900 000	2 500 000
<i>Ankistrodesmus convolutus</i>	9 400 000	—	331 000	49 900	72 200
Diverse Flagellaten	4 600 000	—	171 000	245 000	196 000
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	3 700 000	—	3 500 000	2 300 000	4 300 000
<i>Cryptomonas ovata</i>	1 300 000	—	5 500	1 200	23 300
<i>Rhodomonas lacustris</i>	9 300 000	—	33 900	0	47 700
Total	81 000 000	—	10 070 400	5 251 100	6 943 200
Physikalisch-chemische Daten					
Temperatur °C	10,3	—	5,1	4,9	4,4
Sauerstoff (O) mg/l	19,6	—	12,6	12,0	9,3
Nitrat (N) mg/l	0,03	—	0,62	0,68	0,62
Phosphat (P) mg/l	0,006	—	0,115	0,125	0,151
Kieselsäure (SiO ₂) mg/l	1,32	—	2,07	2,40	3,52
Karbonathärte frz. H°	17,0	—	19,0	19,0	19,3

Zooplanktons erklärt werden. Aber auch im Frühjahr war das Zooplankton in grosser Dichte vorhanden, so dass die Vermutung naheliegt, dass das Netzplankton, trotz höherer Wassertemperatur als im Frühling, langsamer wächst als das Nannoplankton.

Bei einer zu grossen Berücksichtigung der Biomasse besteht somit die Gefahr, dass dem Netzplankton gegenüber dem Nannoplankton zuviel Gewicht beigemessen wird.

So wie sich diese Netzplankter langsam vermehren, werden sie, besonders die Blaualgen, auch entsprechend langsam abgebaut. Dies kam nach der *Aphanotbece-clathrata*-var.-*brevis*-Entwicklung im Juli schön zum Ausdruck (vgl. Abb. 13), wo diese Form sich in 20 m Tiefe langsam anreicherte und sogar den Winter über zum Teil noch vorhanden war. Dasselbe konnte auch bei *Aphanizomenon flos-aquae* beobachtet werden (Abb. 13, vgl. auch WILLÉN [77]).

7. Vergleich Zürichsee-Pfäffikersee

Bei einem Vergleich des Zürichsee- mit dem Pfäffikerseeplankton ist zu berücksichtigen, dass die beiden Gewässer stark verschieden sind und dass sie nicht in denselben Jahren und auch nicht gleich häufig untersucht wurden. Dagegen sind beide Seen stark eutroph.

Pro Probeserie betrug die durchschnittliche Biomasse für den Pfäffikersee im Jahre 1961 14,1 mm³/cm², für den Zürichsee im Jahre 1958 12,0

mm^3/cm^2 . Die Unterschiede zwischen maximalen und minimalen Biomasseerträgen variierten in beiden Seen (Pfäffikersee: 0,8–67,2 mm^3/cm^2 im Jahre 1961; Zürichsee: 1,0–26,2 mm^3/cm^2 im Jahre 1958 und 2,0–69,2 mm^3/cm^2 im Jahre 1959).

Verschieden jedoch war der Rhythmus, in dem die Biomasse dieser Seen entstanden war. Dies ist in erster Linie auf die Zusammensetzung des Planktons zurückzuführen. Während die grössten Biomassen des Pfäffikersees von Ende Juli bis Oktober auftraten, fielen sie für den Zürichsee auf Vorfrühling, Herbst und Winter. Auch in bezug auf die Bildung von Nannoplankton unterschieden sich die beiden Seen beträchtlich. So fand sich im Pfäffikersee im Frühjahr und Frühsommer ein stark entwickeltes, reines Nannoplankton vor, während man im Zürichsee den Eindruck gewann, dass diese kleinen Plankter volumenmässig fast durchwegs von grösseren Formen verdrängt waren, mit der Folge, dass das Nannoplankton in keinem Fall auch nur die Hälfte des gesamten Phytoplanktons erreichte. Die grösste Biomasse an Netzplankton wurde im Pfäffikersee am 11. 10. 61 mit 90,3 mm^3/l an der Oberfläche gefunden, im Zürichsee am 2. 9. 58 mit 29,7 mm^3/l in 8 m Tiefe. Die grösste Biomasse des Nannoplanktons im Pfäffikersee betrug 12,5 mm^3/l an der Oberfläche (23. 3. 61), im Zürichsee 3,9 mm^3/l in 2,5 m (29. 9. 58).

An der Zusammensetzung des Planktons fällt auf, dass die Höchstwerte der Biomasse in beiden Seen auf verschiedene Blaualgen-Massentfaltungen zurückgingen. Während im Zürichsee *Oscillatoria rubescens* sozusagen das ganze Jahr hindurch die «Grundfarbe» bildete, und im Herbst die nannoplanktischen Blaualgen *Oscillatoria obliqueacuminata* und *Pseudanabaena catenata* neben *Anabaena planctonica* und *Aphanizomenon flos-aquae* das Blaualgenbild bereicherten, waren im Pfäffikersee an den sprunghaften Sommer- und Herbstentwicklungen vor allem *Aphanothece clatrata* var. *brevis* und *Aphanizomenon flos-aquae* beteiligt. Waren im Pfäffikersee die Cryptophyceen an zweiter Stelle für die Biomasse ausschlaggebend und machten die Diatomeen einen kleineren Teil aus so bildeten im Zürichsee die letzteren den zweitgrössten Anteil. In jedem der beiden Seen war *Stephanodiscus hantzschii* ein typischer Frühjahrsnannoplankter, der in bedeutender Anzahl vorkam. An Chrysophyceen wurden im Pfäffikersee sozusagen keine, im Zürichsee nur wenige gefunden, darunter waren in beiden Seen *Kephyrion*arten, *Erkenia subaequiciliata* und *Heterochromonas* sp. mehr oder weniger zahlreich vorhanden. Peridineen und Grünalgen waren im Pfäffikersee in grösserer Masse festzustellen. Trotz diesen Verschiedenheiten waren – ganz allgemein gesehen – an der Zu-

sammensetzung des Nannoplanktons ungefähr die gleichen Arten beteiligt. Unter Berücksichtigung der quantitativen Verhältnisse könnte der Pfäffikersee als *Blaualggen-Cryptophyceen*-See, der Zürichsee als *Blaualggen-Diatomeen*-See bezeichnet werden.

E. Untersuchung des Phytoplanktons verschiedener Seen

I. Allgemeines

Um wenigstens eine Vorstellung vom Nannoplankton anderer Schweizer Seen zu erhalten, wurde das Plankton von sechs Seen, die sich in Grösse, Tiefe, ihrem chemisch-physikalischen Verhalten und Trophiegrad unterscheiden, anhand einer einmaligen Untersuchung zur Zeit der Sommerstagnation studiert. Mit diesen Voraussetzungen konnte das Plankton der sechs Seen wenigstens zur Sommerszeit hinreichend gekennzeichnet werden. Dabei waren wir uns völlig bewusst, dass eine einmalige Untersuchung nie ein lückenloses Bild über das Verhalten, Auftreten und die Zusammensetzung der Planktonorganismen ergibt.

Folgende Seen wurden untersucht: Brienersee, Thunersee, Walensee, Zürichsee, Sempachersee, Hallwilersee. Zudem wurden Resultate von Proben aus dem Pfäffikersee teilweise berücksichtigt. Während die drei erstgenannten Seen Vertreter des oligotrophen Typus darstellen, sind die übrigen drei unter die meso- bis eutrophen Typen einzureihen. Diese Seen können nach verschiedenen Gesichtspunkten miteinander verglichen werden. Einmal besteht die Möglichkeit, die drei oligotrophen oder die drei eutrophen Seen oder beide Typen einander gegenüberzustellen. Zum anderen können über Seen ähnlicher Lage Vergleiche angestellt werden, über Briener- und Thunersee, die durch die Aare verbunden, ein einheitliches System bilden, oder über Walen- und Zürichsee, welche durch den Linthkanal und den Obersee miteinander in Verbindung stehen. Nahe beieinander, allerdings nicht im gleichen Einzugsgebiet, liegen ferner Sempacher- und Hallwilersee. Zu erwähnen ist eine ökologische Gruppe: nämlich Seen *mit Oscillatoria rubescens*, wie der Hallwiler- und Zürichsee, in denen die Blualge so stark dominiert, dass man von eigentlichen *Oscillatoria-rubescens*-Seen spricht. In spärlicher Anzahl wurde diese Form auch im Thunersee gefunden, ausserdem erwähnte sie FLÜCK [16] in der Planktonliste des Brienersees; in unseren Proben war sie nicht vorhanden. Und Seen *ohne Oscillatoria rubescens* hingegen wie der Walensee, Sempachersee und der stark eutrophe Pfäffikersee.

Zur Charakterisierung der untersuchten Seen in bezug auf ihre Lage und Morphologie sind die wichtigsten Daten in Tab. 17 zusammengestellt. Datum und Stelle der Probenahme sind der Tab. 18 zu entnehmen.

Abschliessend seien Autoren genannt, die diese Seen vor allem in planktologischer Hinsicht untersucht haben. Erste Planktonbeobachtungen im Brienzensee wurden von HEUSCHER [25] festgehalten. Eine weitere Planktonarbeit, in der sogar das Nannoplankton berücksichtigt wurde, hat FLÜCK [16] veröffentlicht. NYDEGGER [48] machte Beobachtungen über das Lichtklima dieses Sees. In der gleichen Arbeit liegen unter anderem Resultate über das Lichtklima des Thuner-, Walen-, Zürich- und Sempachersees vor. Über das Plankton des Thunersees fand sich ausser der Arbeit von HEUSCHER [25] keine Veröffentlichung. HUBER-PESTALOZZI [27] vertiefte sich während der Jahre 1930–35 in das Studium des Planktons des Walensees anhand von Netzzügen. Seine Resultate stellte er früheren Planktonuntersuchungen des Walensees gegenüber. Autoren des Zürichsees sind auf Seite 10 erwähnt. Wiederum in einer Veröffentlichung von HEUSCHER [24] findet man einige Planktonangaben über den Sempachersee; THEILER [65] und GROBE [22] bearbeiteten das Zooplankton desselben. Leider bestehen keine schriftlich niedergelegten Untersuchungen über das Phytoplankton dieses Sees, so dass kein sicheres Bild über seine Entwicklung in den vergangenen Jahren entsteht. Anhand von Sauerstoffprofilen und besonders eindrücklich anhand von Bohrprofilen kann eine vermehrte Planktonentwicklung und ein biologisch gestörtes Gleichgewicht festgestellt werden [80]. Schon DU BOIS und GEIGY [14] kamen auf Grund von Oligochätenbestimmungen zum Schluss, dass sich der Sempachersee im Übergangsstadium vom oligotrophen zum eutrophen Seetypus befindet. Über den Hallwilersee erschien die früheste Arbeit, speziell über das Plankton, von BRUTSCHY [11]; KELLER [31] führte limnologisch-chemische Untersuchungen durch und BACHOFEN [5] versuchte den Stoffkreislauf mit Hilfe von Sedimentpfannen genauer abzuklären. Im Zusammenhang mit der zunehmenden Eutrophierung des Hallwilersees durch Einleitung von Abwässern hat dieser See in den vergangenen Jahren vermehrte Aufmerksamkeit auf sich gezogen [1, 6]. Das Schrifttum des Pfäffikersees ist auf Seite 264 ff. zu finden.

2. Chemische Charakterisierung der Seen

Um trotz einmaliger Untersuchung ein klares Bild vom Zustand der Seen zu erhalten, wurde parallel zu den quantitativen Planktonbestimmungen Wasser aus den entsprechenden Tiefenstufen chemisch analy-

Tabelle 17
Morphologische Daten

	m ü.M.	Länge in km	grösste Breite in km	max. Tiefe in m	Durchschn. Tiefe in m	Oberfläche in km ²	Volumen in km ³	Einzugsgebiet in km ²
Brienzersee	564	14,0	2,9	261	176	29,18	5,17	1126,4
Thunersee	558	18,2	3,8	217	135	48,08	6,50	2477,5
Walensee	419	15,6	2,0	151	103	23,27	2,49	1061,2
Sempachersee	504	7,6	2,5	87	46	14,37	0,70	76,7
Zürichsee (ohne Obersee)	406	28,0	3,9	143	54	67,00	3,60	1828,6
Hallwilersee	449	8,5	1,7	47	21	10,29	0,22	137,9
Pfäffikersee	537	2,6	1,4	35	18	3,25	0,06	29,7

Tabelle 18

Probenahme

	Datum	Tiefe (m)	Probenahmestelle	Wetter	Seeoberfläche
Brienzersee	30.7.61	0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 100; 150; 250 (ca. 10 m über dem Grund)	Auf der Linie: Oberried- Iseltwald, ca. 1300 m von Oberried entfernt	sonnig, leichter Ostwind	leicht gekräuselt
Thunersee	30.7.61	0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 100; 183 (Grund)	Auf der Linie: Spiez-Sigriswil, ca. 1000 m von Spiez entfernt	sonnig, leichter Ostwind	wellig
Walensee	29.7.61	0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 100; 138 (Grund)	Auf der Linie: Murg-Quinten, ca. 400 m von Quinten entfernt	Regen, stürmisch	stark bewegt
Sempachersee	3.8.61	0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 85 (Grund)	Auf der Linie: Meienbach- Chilchbüel, ca. 1500 m westlich von Sempach entfernt	sonnig, windstill	spiegelglatt
Zürichsee	4.8.61	0; 2,5; 5; 7,5; 10; 15; 20; 30; 50; 100; 134 (Grund)	Auf der Linie: Herrliberg- Oberrieden, Seemitte	sonnig	leicht wellig
Hallwilersee	28.7.61	0; 2,5; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 45 (Grund)	Auf der Linie: Delphin- Beinwil a. S., ca. 800 m westlich Seerose	bedeckt, feiner Regen	stark bewegt
Pfäffikersee	27.7.61	0; 5; 10; 15; 20; 25; 29 (Grund)	Auf der Linie: Pfäffikon- Seegraben, ca. 700 m von Pfäffikon entfernt		

Tabelle 19 a-c
Chemisch-physikalische Daten

a) *Brienzersee*

Tiefe m	<i>t</i> °C	O ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	NH ₃ (N) mg/l	NO ₂ (N) mg/l	NO ₃ (N) mg/l	PO ₄ (P) γ/l	SiO ₂ mg/l
0	15,5	11,0	0,0	0,02	0,010	0,10	5	0,42
2,5	15,3	11,0	0,0	0,02	0,005	0,03	0	0,44
5	14,7	11,9	0,0	0,02	0,010	0,10	5	0,77
7,5	12,9	11,5	0,0	0,02	0,010	0,10	0	0,78
10	11,8	10,7	0,0	0,02	0,010	0,14	5	0,86
15	10,3	10,1	0,0	0,01	0,005	0,04	5	0,92
20	8,5	10,0	0,0	0,01	0,005	0,24	5	1,33
30	6,0	10,4	0,0	0,02	0,005	0,29	5	1,68
50	4,8	10,0	0,0	0,01	0,005	0,19	5	1,80
100	4,8	10,0	0,0	0,01	0,005	0,28	5	1,91
150	–	9,6	0,0	0,02	0,000	0,12	5	1,80
240	4,8	9,7	0,0	0,02	0,000	0,12	5	2,12

b) *Thunersee*

Tiefe m	<i>t</i> °C	O ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	NH ₃ (N) mg/l	NO ₂ (N) mg/l	NO ₃ (N) mg/l	PO ₄ (P) γ/l	SiO ₂ mg/l
0	17,5	10,6	0,0	0,00	0,011	0,17	15	0,20
2,5	17,4	10,5	0,0	0,00	0,012	0,15	6	0,12
5	16,2	10,8	0,0	0,00	0,011	0,16	12	0,12
7,5	15,1	11,1	0,0	0,00	0,011	0,18	9	0,33
10	14,0	10,3	0,0	0,00	0,012	0,20	9	0,55
15	12,3	9,7	0,0	0,00	0,010	0,25	6	0,85
20	10,3	9,4	0,0	0,00	0,006	0,30	9	1,0
30	6,8	9,3	0,0	0,00	0,004	0,37	6	1,32
50	5,1	8,8	0,0	0,00	0,005	0,40	11	1,65
100	4,9	8,7	0,0	0,00	0,003	0,40	9	1,80
183	4,9	6,8	0,0	0,00	0,007	0,40	9	2,75

c) *Walensee*

Tiefe m	<i>t</i> °C	O ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	NH ₃ (N) mg/l	NO ₂ (N) mg/l	NO ₃ (N) mg/l	PO ₄ (P) γ/l	SiO ₂ mg/l
0	16,7	10,8	0,0	0,02	0,005	0,20	5	0,20
2,5	16,7	10,7	0,0	0,01	0,005	0,20	5	0,58
5	16,2	10,8	0,0	0,01	0,005	0,21	5	0,63
7,5	15,8	10,9	0,0	0,01	0,005	0,21	5	0,54
10	14,3	11,1	0,0	0,02	0,005	0,21	5	0,68
15	11,9	10,2	0,0	0,02	0,000	0,30	5	0,83
20	10,7	8,9	0,0	0,02	0,000	0,34	0	1,19
30	8,2	9,5	0,0	0,01	0,000	0,41	0	1,48
50	5,8	9,8	0,0	0,02	0,000	0,46	0	1,94
100	5,8	–	0,0	0,01	0,000	0,44	5	2,22
139	5,6	8,3	0,0	0,02	0,000	0,46	5	3,10

siert. Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoff und Kohlensäure wurden an Ort und Stelle oder unmittelbar nach der Probeerhebung bestimmt; die übrigen chemischen Komponenten aus tiefgekühlten Proben.

Tabelle 19 d-f

*Chemisch-physikalische Daten*d) *Sempachersee*

Tiefe m	<i>t</i> °C	O ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	NH ₃ (N) mg/l	NO ₂ (N) mg/l	NO ₃ (N) mg/l	PO ₄ (P) γ/l	SiO ₂ mg/l
0	20,4	10,0	0,0	0,00	0,004	0,00	9	0,33
2,5	20,4	10,0	0,0	0,01	0,005	0,00	0	0,14
5	20,2	9,9	0,0	0,04	0,005	0,06	2	0,14
7,5	18,2	9,6	0,0	0,00	0,005	0,00	8	0,10
10	9,9	4,6	0,0	0,05	0,004	0,16	0	0,30
15	7,6	3,9	3,6	0,00	0,004	0,35	2	0,65
20	6,2	6,0	3,6	0,00	0,006	0,38	0	0,98
30	5,2	6,2	3,7	0,00	0,006	0,42	21	1,17
50	4,7	5,8	3,6	0,00	0,004	0,42	29	1,63
85	4,3	0,7	6,7	0,00	0,004	0,53	90	3,2

e) *Zürichsee*

Tiefe m	<i>t</i> °C	O ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	NH ₃ (N) mg/l	NO ₂ (N) mg/l	NO ₃ (N) mg/l	PO ₄ (P) γ/l	SiO ₂ mg/l
0	21,6	10,9	0,0	0,00	0,005	0,00	9	0,15
2,5	20,2	11,5	0,0	0,00	0,006	0,00	11	0,03
5	19,5	10,8	0,0	0,00	0,002	0,00	8	0,03
7,5	18,8	10,1	0,0	0,00	0,006	0,00	15	0,05
10	14,6	4,8	0,0	0,00	0,007	0,22	12	0,35
15	7,5	4,2	6,1	0,00	0,006	0,53	60	1,95
20	6,4	4,7	6,1	0,00	0,006	0,55	77	2,25
30	5,6	5,6	5,8	0,00	0,008	0,56	95	1,53
50	4,6	6,2	5,3	0,00	0,006	0,57	100	2,42
100	4,3	2,1	8,3	0,00	0,004	0,60	140	2,85
136	4,3	0,3	10,6	0,27	0,067	0,20	232	4,78

f) *Hallwilersee*

Tiefe m	<i>t</i> °C	O ₂ mg/l	CO ₂ mg/l	NH ₃ (N) mg/l	NO ₂ (N) mg/l	NO ₃ (N) mg/l	PO ₄ (P) γ/l	SiO ₂ mg/l
0	21,4	11,8	0,0	0,02	0,000	0,00	5	0,73
2,5	21,4	11,9	0,0	0,02	0,005	0,00	5	0,68
5	18,2	9,7	0,0	0,02	0,000	0,00	5	1,00
7,5	15,0	0,8	8,2	0,02	0,000	0,00	5	2,44
10	9,8	0,3	8,1	0,02	0,065	0,00	30	2,98
15	7,5	2,0	8,1	0,03	0,005	0,52	93	3,48
20	5,7	3,1	8,4	0,02	0,000	0,55	103	3,62
25	4,5	3,5	8,1	0,02	0,000	0,57	83	3,65
30	4,0	0,2	8,4	0,16	0,052	0,38	133	5,22
40	4,0	0,2	9,9	0,17	0,055	0,36	126	5,20
45	4,0	0,2	12,1	0,22	0,059	0,38	127	5,22

Die wichtigsten chemisch-physikalischen Daten sind in der Tab. 19a-f und in den Abb. 19 und 20 zusammengestellt.

Temperatur. Aus den Abb. 19 und 20 sind deutlich zwei Gruppen von

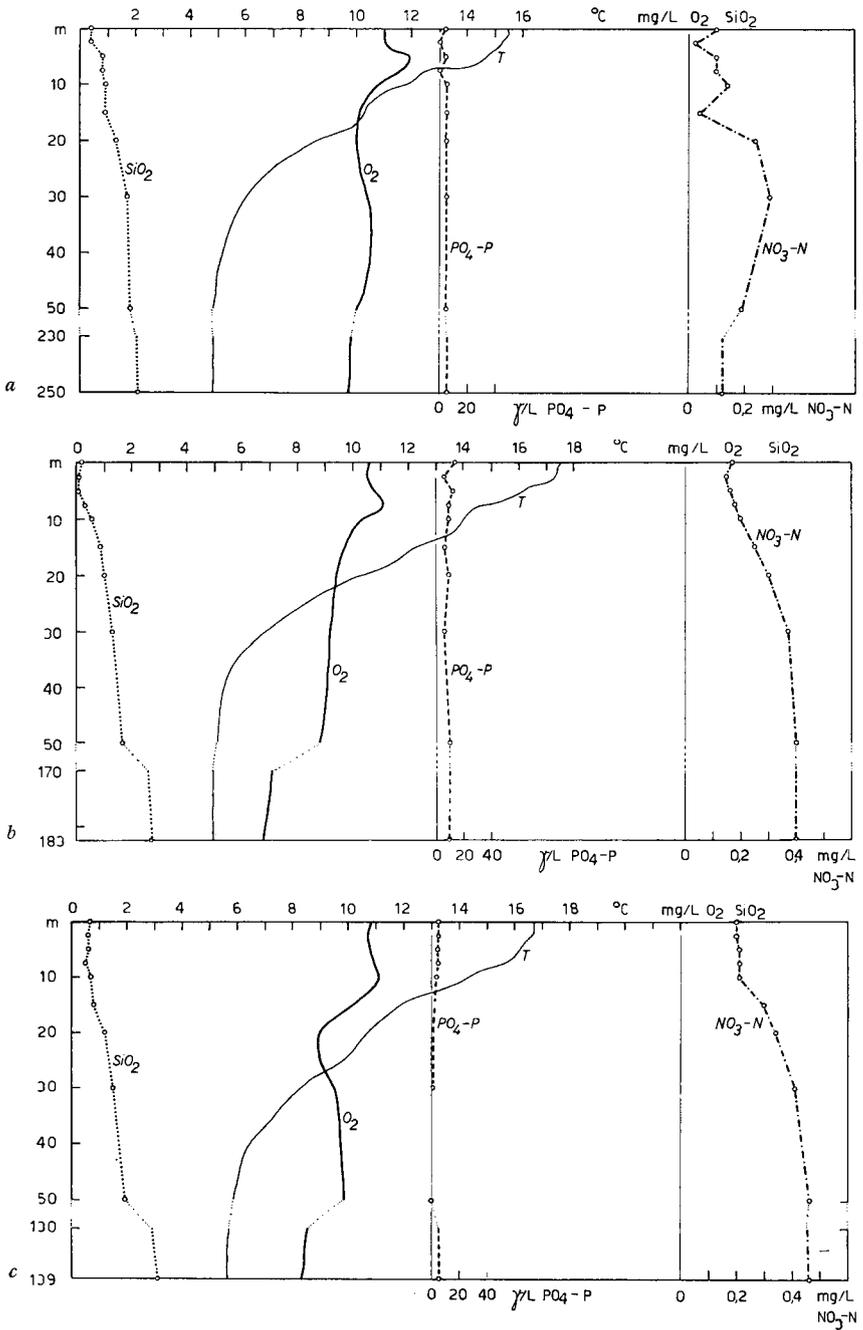


Abbildung 19a-c

Vertikaler Verlauf einiger chemisch-physikalischer Komponenten im a Brienzer-, b Thuner- und c Walensee.

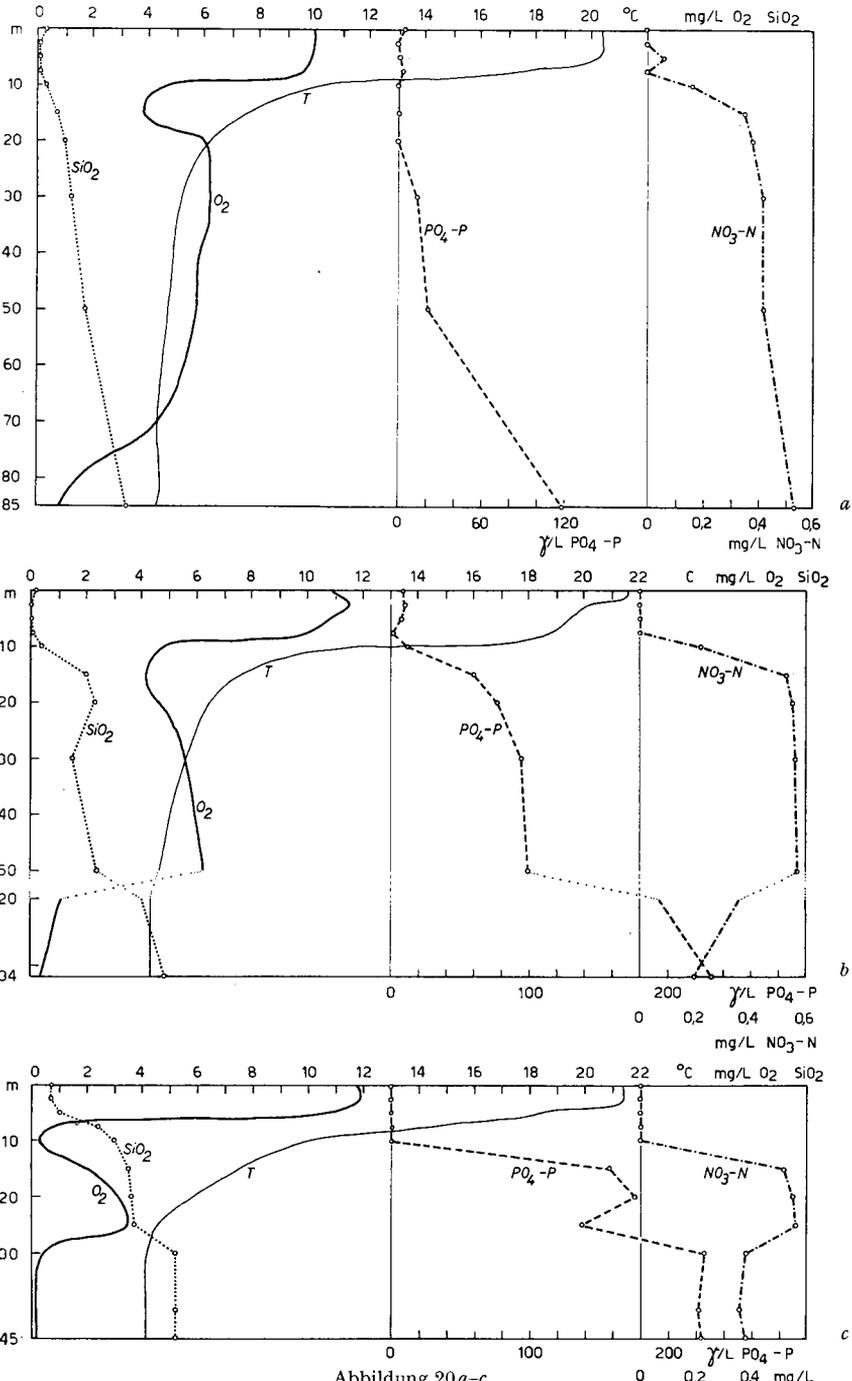


Abbildung 20 a-c
Vertikaler Verlauf einiger chemisch-physikalischer Komponenten im
a Sempacher-, b Zürich- und c Hallwilersee.

Seen zu erkennen: einerseits Hallwiler-, Sempacher- und Zürichsee mit ausgeprägter Sprungschicht, relativ hohen Oberflächen- und niedrigen Tiefentemperaturen, andererseits Briener-, Thuner- und Walensee mit auseinandergezogener Sprungschicht, für die Sommerszeit niedrigen Oberflächen- und relativ hohen Tiefentemperaturen. Diese Unterschiede in ihrem thermischen Verhalten sind vor allem auf die klimatische Lage (Mittelland: Hallwiler-, Sempacher- und Zürichsee; Voralpen: Briener-, Thuner- und Walensee) und ihre morphologische Beschaffenheit zurückzuführen.

Sauerstoff. Briener-, Thuner- und Walensee stimmen auch im Kurvenverlauf des Sauerstoffs bemerkenswert überein: schwach ausgebildetes Sauerstoffmaximum im Epilimnion, eine unbedeutende Sauerstoffabnahme im Metalimnion und gleichförmiger, beinahe gerader Verlauf im Hypolimnion. Die drei anderen Seen zeigten eine viel ausgeprägtere Sauerstoffschichtung, vor allem der Hallwilersee, der in der Oberflächenschicht überhaupt den höchsten Sauerstoffgehalt, ferner ein eindrückliches metalimnisches O₂-Minimum und von 30 m an ein sauerstofffreies Hypolimnion aufwies, als Folge der ausgesprochen eutrophen Verhältnisse.

Nitrat. Auch die Nitratwerte waren kennzeichnend für den Trophiezustand der verschiedenen Seen, so namentlich für den Hallwilersee, wo Nitrat bis in 10 m Tiefe nicht nachweisbar war, anschliessend ein rapider Anstieg im Metalimnion und ein erneuter Abfall im sauerstofffreien Hypolimnion (vgl. auch den NH₃-Gehalt von 0,22 mg/auf dem Grund). Einen ähnlichen Verlauf zeigt die Kurve des Zürichsees, während im Sempachersee das Nitrat bis zum Grund hinunter stetig ansteigt. Der Verlauf dieser Kurven steht in Übereinstimmung mit den Feststellungen in den Arbeiten von BACHOFEN [5] und ZIMMERMANN [79].

Phosphat. Die Phosphatkurven der drei oligotrophen Seen bilden, mit Ausnahme von leichten Schwankungen in der trophogenen Schicht, sozusagen eine Gerade von der Oberfläche bis zum Grund, mit Werten, die im Briener- und Walensee nie überschritten wurden. Im Thunersee betrug der höchste Gehalt 14,5 γ /l P in 0 m und 11,0 γ /l P in 50 m Tiefe. Die Phosphate der eutrophen Seen waren im Grunde bis auf 90 γ /l P (Sempachersee), 127 γ /l P (Hallwilersee) und 232 γ /l P (Zürichsee) angereichert, während sie im Epilimnion dieser Seen sozusagen aufgebraucht waren.

Silikat. Zwischen gelöster Kieselsäure und der Entwicklung der Diatomeen besteht eindeutig ein Zusammenhang [30, 60]. Interessant waren die Werte der Tiefenproben, wobei sich die Gruppe der eutrophen Seen durch bedeutend höhere Zahlen auszeichneten, ganz besonders der Hall-

wilersee mit 5,22 mg/l SiO₂. Diese Zahl und namentlich das starke Gefälle der Kieselsäurekurve besagt, dass der Hallwilersee im Vergleich zu den anderen Seen vermutlich eine intensive Diatomeenentwicklung hinter sich hatte, obgleich er immer noch die höchsten Kieselsäurewerte im Epilimnion aufwies. Aber auch die Kurve des Zürichsees, mit einer rapiden Zunahme an SiO₂ in 10 m Tiefe, und die Kurven des Sempacher- und Thunersees geben den Eindruck, dass die Kieselalgen in den vergangenen Monaten einen ziemlichen Anteil an der Biomasse ausgemacht hatten. Hingegen hatten Briener- und Walensee, deren Kurven das schwächste Gefälle aufweisen, wahrscheinlich erst eine geringe Diatomeendichte erreicht, oder es hatten sich kleine, zartere Kieselalgenformen, Nannoplankter, wie vor allem Cyclotellen, aber auch *Rhizosolenia*, entwickelt, deren Schalen weniger Kieselsäure für den Aufbau benötigen und rascher abgebaut werden, so dass die Kieselsäure jeweils schon in den oberen Wasserschichten während des Absinkens wieder für den Aufbau neuer Zellen frei wurde. So trafen wir beim Auszählen der Brienerseeeproben, in 100 m Tiefe und nur in dieser Stufe, auffallend rudimentär erhaltene *Rhizosoleniaschalen*. Im Gegensatz zu den anderen Seen waren im Briener- und Walensee die Kieselalgen gerade in auffälliger Entwicklung begriffen.

3. Resultate der Planktonproben

a) Brienersee

Qualitative Zusammensetzung und Volumenprozent:

Cyanophyta: Nicht vorhanden.

Chlorophyta: *Chlamydomonas* sp., *Sphaerocystis Schroeteri*, *Gloeocystis planctonica*, *Schroederia setigera*, *Elakatothrix gelatinosa*.

Chrysophyta: *Pseudopedinella erkensis* (0,1%), *Mallomonas acaroides* und *Mallomonas producta* (0,2%), *Erkenia subaequiciliata* (0,4%), *Ochromonas* sp. (0,7%), *Uroglena volvox*, *Dinobryon divergens* und *Dinobryon sociale* (1,0%), *Stelixomonas dichotoma*.

Diatomeae: *Cyclotella comensis* (0,6%), *Cyclotella operculata* (14,9%), *Fragilaria crotonensis* (31,6%), *Synedra acus* var. *delicatissima*, *Asterionella formosa* (6,7%).

Cryptophyceae: *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens* (7,8%), *Cryptomonas ovata* und *Cryptomonas erosa* (34,6%).

Peridineae: *Gymnodinium* sp., *Gymnodinium helveticum* (0,3%), *Peridinium cinctum*, *Ceratium birundinella*.

Das Phytoplankton des Brienersees war auffallend arm an Grünalgen, Blaualgen fehlten, dafür dominierten Diatomeen und Cryptophyceen. Seine qualitative Zusammensetzung wurde durch die Massenformen von *Cryptomonas ovata* (34,6%), *Fragilaria crotonensis* (31,6%) und *Cyclotella operculata* (14,9%) charakterisiert. Zwei Nannoplanktonorganismen mach-

ten also fast 50% der Gesamtmasse aus. Quantitativ von Bedeutung waren ausserdem *Asterionella formosa* mit 6,7% und *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens* mit 7,8%. Ferner erhielt das Planktonbild des Brienzersees seine besondere Note durch folgende Formen, die allerdings zur Zeit der Probenahme quantitativ nicht ins Gewicht fielen: *Diceras chodati*, *Stelexomonas dichotoma* (s. Abb. 27*), ein kalt stenothermer Organismus, und *Cryptomonas tetrapyrenoidosa* (s. Abb. 35*). Die beiden zuletzt genannten Formen sind deshalb bemerkenswert, weil sie in den anderen untersuchten Seen nicht beobachtet wurden.

Vertikale Verteilung. Dem ausgesprochen oligotrophen Charakter des Brienzersees und seinem tiefen, eher stark durchströmten Becken entsprechend, war auch die vertikale Verteilung der Organismen ausgebildet (s. Abb. 21a), von denen *Cyclotella operculata*, *Cryptomonas ovata* und *Fragilaria crotonensis* bis auf 150 m hinunter in beträchtlicher Menge gefunden wurden, wobei die Chromatophoren der Zellen noch auffallend schön erhalten waren und gar nicht den Eindruck von abgestorbenen Zellteilen erweckten. In 250 m Tiefe jedoch wurden nur noch leere, im Abbau begriffene Zellen festgestellt. Das gesamte Phytoplankton erreichte erst in einer durchschnittlichen Tiefe von 25,5 m noch 10% seiner Höchstwerte (= untere Verbreitung, s. S. 228). Berechnet man die untere Verbreitung getrennt für das Nanno- und Netzplankton, so erhält man 16,5 bzw. 25,2 m, also Zahlen von geringem Unterschied. Vor allem sind es *Fragilaria crotonensis* (ein Netzplankter) und *Rhodomonas lacustris* (ein Nannoplankter), die mit ihren vertikalen Ausdehnungen von 33,6 bzw. 41,2 m die Tiefenerstreckung des Netz- und Nannoplanktons dermassen beeinflussten. Bemerkenswert war aber auch das vertikale Auftreten von *Cryptomonas ovata* (untere Verbreitung 16,9 m), *Gymnodinium helveticum* (45,0 m) und *Cyclotella operculata* (16,9 m). Neben diesen weiträumig, eher gleichförmigen Verteilungsbildern von *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens*, *Cryptomonas ovata*, *Cyclotella operculata*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* heben sich typische, epilimnische Formen heraus, deren untere Verbreitung durchschnittlich 9,7 m betrug. Erwähnt seien einerseits die Nannoplankter *Erkenia subaequiciliata*, *Pseudopedinella erkensis*, *Ochromonas* sp. und *Monas* sp., andererseits der Netzplankter *Dinobryon* mit seinen Arten *sociale* und *divergens*. Auffallend klein war die Planktonentwicklung an der Oberfläche, was wahrscheinlich mit dem stürmischen Wetter an den der Probenahme vorangegangenen Tagen zu erklären ist. Zu dieser Zeit schwammen auf der leicht gekräuselten Seeoberfläche kleine und grosse Stücke von Treibholz.

Biomasse. Die Produktionsschicht des Brienersees war gross; bei 25 m Tiefe war noch die Hälfte des Phytoplanktons vorhanden. Dieses wies bei 5 m ein deutliches Maximum (2,2 mm³/l) auf (vgl. auch die Sichttiefe von 5,3 m), welche namentlich durch die beiden *Nannoplankter* *Cryptomonas ovata* und *Cyclotella operculata* bedingt waren. Zur Zeit der Probenahme müssen sich die kleineren Organismen vermutlich in starker Aktivität befunden haben, denn in der Tiefe der höchsten Individuenzahl dieser Organismen (5 m: 3 Mio. Individ./l) erreichte auch der Sauerstoff eine Spitze (11,9 mg/l). In nachstehender Tabelle sind die durchschnittlichen Planktonvolumen je Liter in mm³ eingetragen. Daraus geht deutlich die grössere und ausschlaggebende Menge des Nannoplanktons, insbesondere in der Tiefe zwischen 2,5 und 7,5 m hervor. Der Brienersee war denn auch der einzige See, in dem das *Nannoplankton* (60,5%) mit einer Biomasse von 3,0 mm³/cm² gegenüber dem Netzplankton dominierte.

Durchschnittliches Planktonvolumen je Liter in mm³ (Brienersee)

Tiefe (m)	Phytoplankton	Nannoplankton	Netzplankton
0 - 2,5	1,276	0,988	0,288
2,5 - 5	1,980	1,632	0,348
5 - 7,5	1,844	1,420	0,424
7,5 - 10	1,152	0,740	0,408
10 - 15	0,812	0,400	0,410
15 - 20	0,586	0,233	0,352
0- 10	1,564	1,186	0,368
10- 20	0,699	0,317	0,382
20- 30	0,361	0,184	0,177
30- 50	0,251	0,193	0,059
50-100	0,187	0,122	0,063
100-150	0,109	0,101	0,068
150-250	0,038	0,011	0,027
0-250	0,199	0,120	0,080

b) Thunersee

Qualitative Zusammensetzung und Volumenprozente:

Cyanophyta: *Anabaena flos-aquae*, *Oscillatoria rubescens*.

Chlorophyta: *Schroederia setigera* (0,1%), *Selenastrum minutum*, *Mougeotia* sp. (0,4%), «µ-Algen», *Elakatotrix gelatinosa*.

Chrysophyceae: *Pseudopedinella erkensis* (0,5%), *Mallomonas producta* und *Mallomonas acaroides* (0,8%), *Erkenia subaequiliata* (2,7%), *Uroglena volvox* (0,7%), *Dinobryon divergens*, *Dinobryon sociale* und *Dinobryon bavaricum* (23,1%), *Hyalobryon mucosa* (0,2%), *Diceras chodatii*, *Monas* sp. (0,3%).

Diatomeae: *Cyclotella comta* (0,6%), *Cyclotella operculata* (19,2%), *Synedra acus* var.

delicatissima (0,1%), *Asterionella formosa* (5,7%), *Synedra* cf. *nana* (0,2%), *Fragilaria crotonensis* (22,3%), *Tabellaria flocculosa* (0,6%).

Cryptophyceae: *Cryptomonas ovata* und *Cryptomonas erosa* (4,0%), *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens* (5,8%).

Peridineae: *Gymnodinium helveticum* (0,4%), *Gymnodinium* sp., *Peridinium cinctum* (0,3%), *Ceratium birundinella* (12,2%).

Wie beim Brienersee wird der Aspekt des Planktons durch das starke Zurücktreten der Blaualgen und Grünalgen gekennzeichnet. Chrysophyceen und Diatomeen waren zahlreich vertreten. Die häufigsten quantitativen Formen waren *Cyclotella operculata* (19,2%), *Erkenia subaequiciliata* (2,7%) und *Dinobryon sociale* (23,1%). Für die Masse bestimmend waren ferner *Ceratium birundinella* (12,2%), *Fragilaria crotonensis* (22,3%), *Asterionella formosa* (5,7%) und *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens* (5,8%).

Als besondere, eigentlich epiphytische Alge, die nur in den Planktonproben des Thunersees zu beobachten war, sei *Hyalobryon mucicola* genannt, die meistens losgelöst als freies Individuum und nur selten in Form kleiner Kolonien auf *Dinobryon sociale* sitzend gefunden wurde. Hervorzuheben ist das Vorkommen der Blaualge *Oscillatoria rubescens* mit 1800 Fäden/l in 15 m Tiefe.

Vertikale Verteilung (Abb. 21 b). Die untere Verbreitungsgrenze (10% der Höchstzahl) des Gesamtplanktons betrug 24,7 m, wobei das Nanoplankton 14,5 m, das Netzplankton 26,7 m erreichte. Diese erheblichen vertikalen Ausbreitungen ergaben sich wiederum, wie beim Brienersee, in erster Linie durch die tief hinuntersteigenden Diatomeen: *Fragilaria crotonensis* (untere Verbreitung 84,5 m), *Asterionella formosa* (27,4 m), *Synedra acus* var. *angustissima* (27,0 m) und die Cryptophyceen *Cryptomonas ovata* (75 m) und *Rhodomonas* spp. (80 m), ferner durch *Gymnodinium helveticum* (45,0 m). Auch die maximale Volkdichte der Organismen lag zum Teil verhältnismässig tief, hauptsächlich in 10 und 15 m; sogar die typisch epilimnischen Gattungen *Dinobryon* und *Erkenia* mit den Höchstzahlen an der Oberfläche, reichten bis 20 bzw. 15 m hinunter.

Biomasse. Die Halbwerttiefe wurde im Vergleich zum Brienersee (25 m) schon bei 9,3 m erreicht. Der mittlere Litergehalt mit 0,17 mm³ und die Totalmasse von 3,21 mm³/cm² waren zu jenem Zeitpunkt die geringsten der untersuchten Seen. Das Nanoplankton machte mit 1,2 mm³/cm² gut 1/3 der Gesamtproduktion (3,2 mm³/cm²) aus. Ausschlaggebend für diesen Volumenanteil war das Massenvorkommen von *Cyclotella operculata* (19,2%), die schon im Brienersee mit 14,9% vertreten war. Sie erreichte im Thunersee ihr Maximum in 7,5 m (0,5 mm³/l = 2,6 Mio.

Indiv./l). Aber auch *Cryptomonas ovata* und *Rhodomonas lacustris* mit zusammen $0,3 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ bestritten den bedeutenden Volumenanteil von $9,8\%$. Im Gegensatz zum Brienersee wurde die Biomasse des Netzplanktons vorwiegend von *Dinobryon sociale* – ausserdem *Dinobryon divergens* und *Dinobryon bavaricum* – ($23,1\%$) und *Fragilaria crotonensis* ($22,7\%$) geformt, ausserdem durch die grosse Form *Ceratium hirundinella* ($12,2\%$) und *Asterionella formosa* ($5,7\%$). Aus folgender Tabelle, in welcher die durchschnittlichen Litergewichte zusammengestellt sind, ist sehr schön ersichtlich, dass die Produktion vor allem in den oberen 10 m stattfand.

Durchschnittliches Planktonvolumen je Liter in mm^3 (Thunersee)

Tiefe (m)	Phytoplankton	Nannoplankton	Netzplankton
0 – 2,5	2,008	0,689	1,319
2,5– 5	1,804	0,674	1,142
5 – 7,5	1,625	0,735	0,889
7,5–10	1,365	0,649	0,716
10 –15	0,801	0,268	0,532
15 –20	0,287	0,138	0,149
0– 10	1,701	0,687	1,017
10– 20	0,544	0,203	0,341
20– 30	0,221	0,074	0,148
30– 50	0,110	0,043	0,066
50–100	0,122	0,018	0,031
100–183	0,033	0,005	0,031
0–183	0,174	0,064	0,110

c) *Walensee*

Qualitative Zusammensetzung und Volumenprozente:

Cyanophyta: keine.

Chlorophyta: *Schroederia setigera*, *Sphaerocystis schroeteri*, *Elakatothrix gelatinosa*, *Oocystis lacustris*.

Chrysophyceae: *Pseudopedinella erkensis* ($1,2\%$), *Mallomonas acaroides*, *Erkenia subaequiciliata* ($0,6\%$), *Ochromonas* sp., *Pseudokephyron entzii* ($0,1\%$), *Uroglena volvox* ($4,4\%$), *Dinobryon divergens* und *Dinobryon sociale* ($0,2\%$), *Chrysolykos planctonicus*, *Monas* sp. ($0,3\%$).

Diatomeae: *Cyclotella comensis*, *Cyclotella stelligera* ($0,2\%$), *Cyclotella pseudostelligera*, *Stephanodiscus alpinus* ($0,1\%$), *Fragilaria crotonensis* ($10,3\%$), *Tabellaria flocculosa* ($64,2\%$), *Synedra acus* var. *angustissima* ($0,4\%$), *Synedra acus* var. *radians* ($0,2\%$), *Synedra* cf. *nana*.

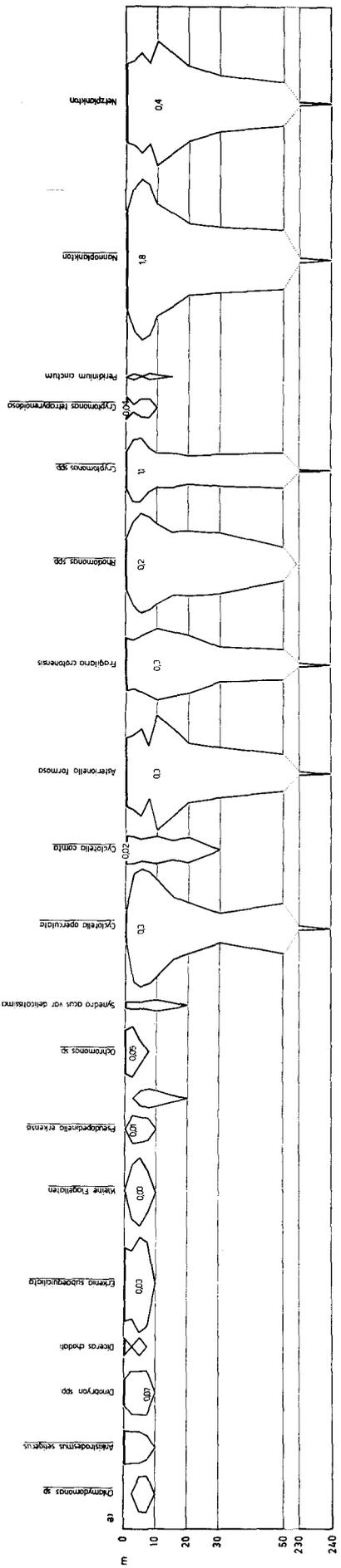
Cryptophyceae: *Cryptomonas ovata* und *Cryptomonas erosa* ($12,3\%$), *Rhodomonas lacustris* und *Rhodomonas lens* ($2,5\%$).

Peridinieae: *Gymnodinium helveticum* ($0,6\%$), *Peridinium cinctum*, *Peridinium inconspicuum* ($0,6\%$), *Ceratium hirundinella* ($18,3\%$).

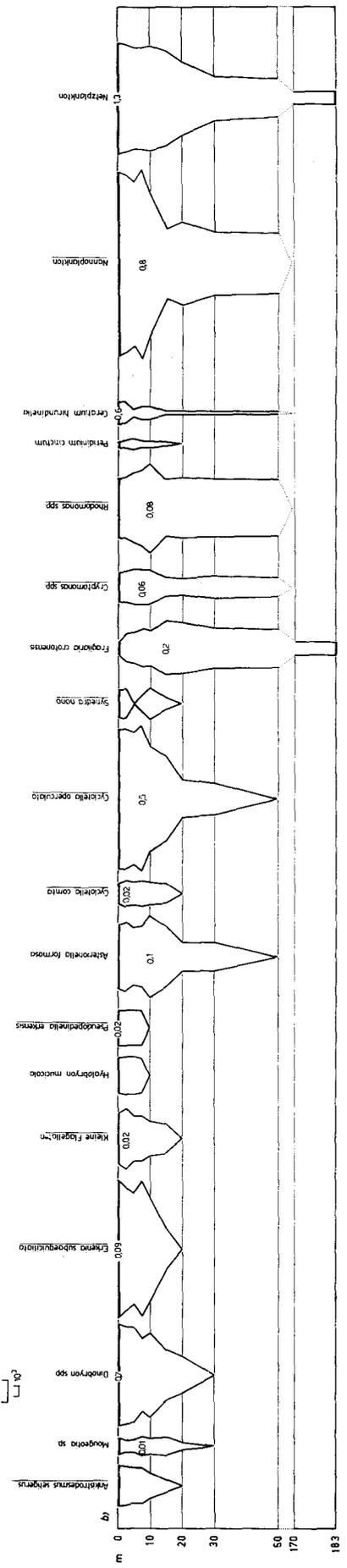
Das Phytoplankton des Walensees zeigte in qualitativer Hinsicht grosse Ähnlichkeit mit demjenigen des Brienzer- und Thunersees. Blaualgen waren zu dieser Zeit keine vorhanden, Grünalgen nur wenige, vereinzelte Formen. Hingegen wurde das Bild wiederum von Chrysophyceenarten und namentlich von Formen aus der Reihe der Diatomeen zusammengesetzt. Vor allem herrschte eine grössere Art, *Tabellaria flocculosa*, vor. Weitere wichtige Massenformen waren die Netzplankter *Fragilaria crotonensis*, *Ceratium hirundinella* und als Nannoplankter *Cryptomonas ovata* und *Cryptomonas erosa*. Die anderen kleinen, zum Teil äusserst feinen, für den Walensee charakteristischen Formen, wie *Cyclotella stelligera*, *Pseudokephyrion entzii*, ferner *Peridinium inconspicuum*, waren zur Zeit der Entfaltung nur in kleiner Menge vorhanden. Merkwürdig war das Auftreten von *Chrysolykos planctonicus* (vgl. Abb. 27*), die in BOURRELLY [9] beschrieben ist.

Vertikale Verteilung. (Abb. 21 c). Wie im Brienzer- und Thunersee, wo der auseinandergezogenen Temperaturkurve und chemischen Schichtung entsprechend die Organismen in grosse Tiefen vordrangen, liegt das durchschnittliche untere Auftreten (10%) der Höchstzahlen der Organismen noch relativ tief bei 19,4 m. In den Verteilungsbildern der einzelnen Arten fallen wiederum die weit auseinandergezogenen, gleichförmig verlaufenden Kurven von *Rhodomonas* und *Cryptomonas* auf. Auch *Fragilaria crotonensis* und *Tabellaria flocculosa* steigen tief hinunter, allerdings sind die grössten Dichten eindeutig auf die oberen 20 m konzentriert. Die Vertreter der Cryptophyceen, wie *Dinobryon*, *Pseudopedinella*, *Erkenia*, farblose Flagellaten besiedelten jedoch ziemlich gleichmässig die oberen 10–15 m. Eine extreme Oberflächenform waren *Peridinium inconspicuum* und *Sphaerocystis Schroeteri*. Nur bei vier Formen, *Dinobryon* spp., *Synedra acus* var. *radians*, *Rhodomonas lacustris* und *Peridinium inconspicuum*, lag das Maximum der Entfaltung an der Oberfläche, bei den anderen Organismen entwickelten sich die grössten Individuenzahlen in den Tiefen zwischen 2,5 und 10 m.

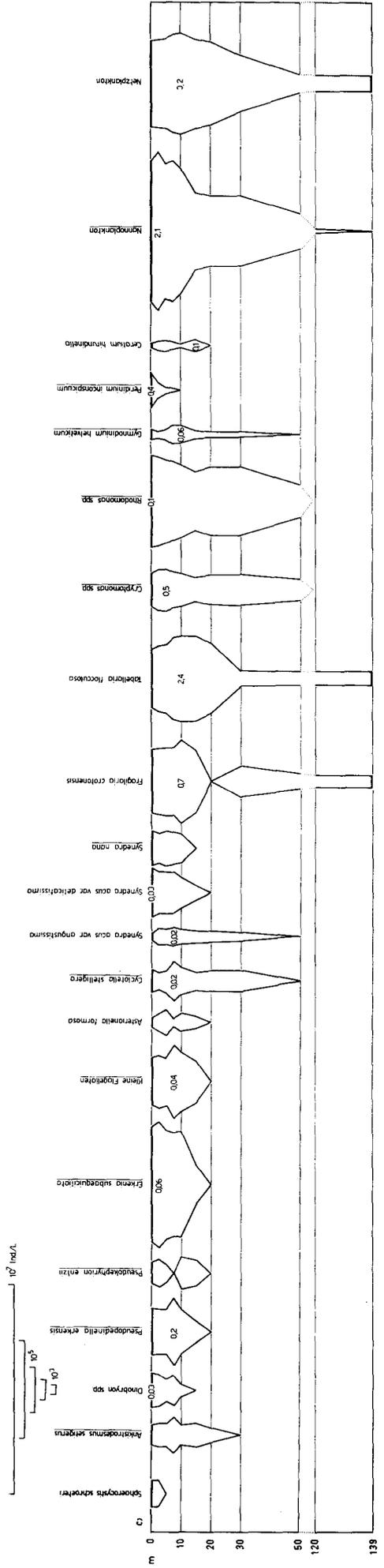
Biomasse. Die Biomasse des Phytoplanktons betrug $9,0 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$, davon bestritt das Nannoplankton gut $\frac{1}{5}$ (22,2%). Vor allem war es *Cryptomonas ovata*, der die Menge des Nannoplanktons bestimmte. Die Hauptmasse des Phytoplanktons machte *Tabellaria flocculosa* (64,2%) aus mit $5,8 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$. Wie aus der Zusammenstellung der durchschnittlichen Planktonvolumen zu sehen ist, fand man in der Wasserschicht zwischen 30 und 50 m noch einen auffallend hohen Litergehalt von $0,328 \text{ mm}^3$, was sonst in keinem der untersuchten Seen der Fall war, und in der Schicht von 10–20 m wurde der höchste durchschnittliche Gehalt



a Brienzersee



b Thunersee



c Walensee

Abbildung 21 a-c
Vertikale Verteilung der Netz- und Nanoplankton im Brienzer-, Thuner- und Walensee. Graphische Darstellung: Individuenzahlen in «Kugeln» (Genau genommen in Würfelkurven [33], da die Durchmesser der dritten Wurzel aus den Individuenzahlen entsprechen [80]). Zahlenangaben: Biomasse in mm^3/l . Unterstrichene Namen: Nanoplankton.

des Walensees, nämlich 3,008 mm³/l bestimmt. Dieser Wert wurde vor allem wegen der Massentfaltung von *Tabellaria flocculosa* erreicht, die in 10 m Tiefe in einer Menge von 2,4 mm³/l (= 677600 Zellen/l) auftrat. Diese Massentfaltung wurde auch im Sauerstoffgehalt sichtbar; der maximale Gehalt von 11,06 mg/l befand sich in der Tiefe von 7,5 m. Die relativ mächtige Produktionsschicht kommt auch in der Halbwertstiefe von 12,5 m zum Ausdruck. Wie im Thuner- und Brienersee entwickelten sich die Nannoplanktonformen im Vergleich zum Netzplankton mehr in den oberen Wasserschichten. So betrug die Halbwerttiefe für das Nannoplankton des Walensees 8,1 m, für das Netzplankton hingegen 16,4 m.

Durchschnittliches Planktonvolumen je Liter in mm³ (Walensee)

Tiefe (m)	Phytoplankton	Nannoplankton	Netzplankton
0 - 2,5	2,858	1,535	1,322
2,5- 5	1,995	1,505	0,490
5 - 7,5	2,979	0,827	2,153
7,5-10	3,533	0,649	2,884
10 -15	3,219	0,331	2,888
15 -20	2,797	0,189	2,608
0- 10	2,841	1,129	1,712
10- 20	3,008	0,260	2,748
20- 30	2,317	0,231	2,087
30- 50	0,328	0,115	0,202
50-100	0,053	0,003	0,049
100-136	0,013	0,001	0,012
0-136	0,660	0,123	0,516

d) *Sempachersee*

Qualitative Zusammensetzung und Volumenprozent:

Cyanophyta: *Microcystis flos-aquae*, *Chroococcus limneticus*, *Coelosphaerium kützingiana* (47,9%), *Chroococcus minutus* var. (4,1%), *Aphanocapsa delicatissima* (0,4%).

Chlorophyta: *Carteria* sp. (1,1%), *Chlamydomonas* sp. (0,1%), *Gloeocystis planctonica* (3,3%), *Characium gracilipes*, *Oocystis marssonii* (5,2%), *Oocystis solitaria*, *Tetraëdron minimum*, *Closterium acutum* var. *variabile* (0,2%), *Staurastrum gracile* (0,2%), *Cosmarium phaseolus* (0,1%), *Coelastrum reticulatum*, *Scenedesmus acuminata*, *Gemelliscystis neglecta*.

Chrysophyceae: *Erkenia subaequiciliata* (1,8%), *Monas* sp. (0,1%), *Sphaeroeca volvox*.

Diatomeae: *Stephanodiscus hantzschii*, *Fragilaria crotonensis* (2,3%).

Tabellaria fenestrata, *Asterionella formosa*.

Cryptophyceae: *Cryptomonas ovata* (2,3%), *Rhodomonas lacustris* (2,0%),

Peridineae: *Gymnodinium belveticum* (0,9%), *Peridinium cinctum* (3,3%), *Ceratium birundinella* (24,4%).

Im Sempachersee herrschten die Blaualgen vor, an zweiter Stelle Peridinee, ausserdem fielen die zahlreichen Arten [24] von Grünalgen, darunter 10 Nannoplankter auf. Bemerkenswert an der Planktonzusammensetzung des Sempachersees waren Massenformen, die in den anderen Seen nicht oder nur vereinzelt aufgetreten waren. Unter den Blaualgen war dies für *Coelosphaerium kützingiana*, dem stärksten Vertreter überhaupt, und *Chroococcus minutus* (vgl. Abb. 6*) der Fall. Die Grünalgen traten durch das zahlreiche Vorhandensein von *Oocystis marssonii*, *Gloeocystis planctonica*, ferner *Characium gracilipes* und je einer Art der Gattungen *Carteria* und *Chlamydomonas* besonders hervor. Dafür waren die Diatomeen bis auf *Fragilaria* nur spärlich und vereinzelt anzutreffen und von den Chrysophyceen war nur *Erkenia subaequiciliata* stark entwickelt und *Monas* sp. und *Sphaeroeca volvox* vorhanden.

Vertikale Verteilung (Abb. 22a). Die untere Verbreitung (10% der Höchstzahlen) betrug für das Gesamtplankton noch 15,4 m.

Die Verteilungsbilder der einzelnen Arten zeigen, dass die lang ausinandergezogenen, tief hinuntersteigenden Kurven fehlen. Dies rührt vor allem davon her, dass gerade die Diatomeen, die bis in grosse Tiefen vorzudringen vermögen, fehlten. Ausser *Gymnodinium helveticum* war in 30 m Tiefe nur noch viel Detritus vorhanden. Aber auch *Rhodomonas lacustris* und *Cryptomonas ovata*, die in den oligotrophen Seen einen ausgedehnten Tiefenbereich aufwiesen, waren in 20 m bzw. 30 m überhaupt nicht mehr zu finden. Dies kann vermutlich mit dem Einfluss der ausgeprägten Temperatursprungschicht, und für *Rhodomonas* mit dem Sauerstoffschwund in 10 und 15 m erklärt werden. Ein eigenes Schichtungsbild boten die Blaualgen *Chroococcus minutus*, *Coelosphaerium kützingiana* und *Aphanocapsa delicatissima*, die ihre höchste Individuenzahl in 10 m gebildet hatten. Eindrücklich war vor allem die scharfe Einschichtung von *Chroococcus*, der bis und mit 5 m überhaupt nicht anzutreffen war. Von 10 m an ist in seinem Kurvenbild sowohl nach oben als auch nach unten ein ausserordentlich starkes Gefälle der Bevölkerungsdichte zu beobachten. Worauf diese ausgeprägte Einlagerung chroococcaler Blaualgen, analog zur Blaualge *Oscillatoria rubescens* in anderen Seen, zurückzuführen ist, ist schwierig zu deuten und kann aus einer einmaligen Untersuchung nicht festgestellt werden. Auch *Aphanocapsa delicatissima* trat erst in 2,5 m auf, reicherte sich in 10 m an und verschwand in 15 m vollständig; *Coelosphaerium* hingegen war von 0–10 m fast in gleichmässiger Dichte, mit grösster Zahl in 7,5 m, verteilt, um plötzlich auf wenige Individuen zurückzufallen. Die Maxima der Euchlorophyceae jedoch lagen im Epilimnion

(vgl. *Carteria* sp., *Tetraëdron minimum*, *Characium gracilipes*, *Gloeocystis planctonica* und *Oocystis marssonii*). Besonders erwähnt sei *Oocystis marssonii*, deren vertikale Schichtung parallel mit der Temperaturschichtung zu verlaufen schien.

Biomasse. Die gesamte Phytoplanktonproduktion konzentrierte sich vorwiegend in den oberen 10 m. So fanden sich in 7,1 m noch die Hälfte des Totalvolumens von 5,9 mm³/cm², in 15 m aber war nur noch 1/18 des Maximums, und in 20 m nur mehr 1/50 desselben vorhanden. Dasselbe Bild bringt auch die Zusammenstellung der durchschnittlichen Litervolumen gut zum Ausdruck. Schon in der Schicht zwischen 20 und 30 m lag nur noch ein Litervolumen von 0,046 mm³/l vor. Dafür fand in den oberen 10 m eine intensive Produktion statt, was im Litergewicht von 4,338 mm³/l erkennbar ist. Volumenmässig war das Netzplankton (77,9%) knapp viermal stärker vertreten als das Nannoplankton. Den Volumenanteil des Nannoplanktons bildeten hauptsächlich *Oocystis marssonii* (5,2%), *Chroococcus minutus* (4,1%), *Gloeocystis planctonia* (3,3%), *Rhodomonas lacustris* und *Cryptomonas ovata* (zusammen 4,3%), ferner *Erkenia subaequiciliata* (1,8%), *Gymnodinium helveticum* (2,0%) und verschiedene kleine Flagellaten. Das Netzplankton bestand in erster Linie aus *Coelosphaerium kützingiana* (47,9%) und den allgemein verbreiteten Formen *Ceratium birundinella* und *Peridinium cinctum* (zusammen 28,6%).

Durchschnittliches Planktonvolumen je Liter in mm³ (Sempachersee)

Tiefe (m)	Phytoplankton	Nannoplankton	Netzplankton
0 - 2,5	4,413	0,560	3,853
2,5 - 5	4,105	0,549	3,555
5 - 7,5	4,004	0,734	3,270
7,5 - 10	4,830	0,761	4,068
10 - 15	2,898	0,473	2,426
15 - 20	0,210	0,139	0,071
0-10	4,338	0,651	3,687
10-20	1,554	0,306	1,248
20-30	0,046	0,039	0,007
30-50	0,003	0,003	0,000
50-85	0,001	0,001	0,000
0-85	0,700	0,118	0,881

e) Zürichsee

Qualitative Zusammensetzung und Volumenprozent:

Cyanophyta: *Anabaena flos-aquae* (0,1%), *Pseudanabaena catenata* (4,1%), *Aphanizomenon flos-aquae* (0,3%), *Oscillatoria rubescens* (55,0%), *Oscillatoria obliqueacuminata* (0,6%).

Chlorophyta: *Chlamydomonas* sp., *Phacotus lenticularis*, *Pandorina morum* (0,1%), *Actinastrum bantzschii* (0,1%), *Treubaria triappendiculata*, *Selenastrum minutum*, *Scenedesmus* spp., *Chlorella pyrenoidosa* und *Coccomyxa minor* (=« μ -Algen» 2,4%), *Elakatotbrix gelatinosa*, *Closterium acutum* var. *variabile*, *Ankistrodesmus falcatus*.

Chrysophyceae: *Erkenia subaequiciliata* (0,4%), *Uroglena volvox* (0,3%), *Dinobryon sertularia*, *Dinobryon divergens*, *Dinobryon sociale* (3,4%), *Monas* sp.

Diatomeae: *Cyclotella comensis*, *Cyclotella pseudostelligera* (0,4%), *Stephanodiscus bantzschii* (7,9%), *Stephanodiscus astraea*, *Synedra acus* var. *delicatissima* (8,0%), *Synedra acus* var. *angustissima*, *Tabellaria flocculosa* (4,3%), *Tabellaria fenestrata* (0,2%), *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa* (0,1%).

Cryptophyceae: *Rhodomonas lacustris* (1,7%), *Cryptomonas ovata* (2,2%).

Peridineeae: *Gymnodinium helveticum* (3,0%), *Peridinium inconspicuum* (0,1%), *Peridinium cinctum*, *Ceratium birundinella* (7,0%).

Die Planktongemeinschaft ist durch fädige Blaualgen gekennzeichnet, zu denen zwei Nannoplankter, *Oscillatoria obliqueacuminata* und *Pseudanabaena catenata* gehören. Neben den üblichen Diatomeen sind zahlreiche Arten von Chlorophyceen vorhanden, unter denen qualitativ *Actinastrum bantzschii*, *Treubaria triappendiculata*, *Selenastrum minutum* und, bezüglich Individuenzahlen, die kleinen kugeligen Grünalgen (« μ -Algen») *Chlorella pyrenoidosa* und *Coccomyxa minor* als Nannoplankter auffallen. Im übrigen zeichnete sich das Plankton durch keine Besonderheiten aus.

Vertikale Verteilung. (Abb. 22 b). Die untere Verbreitung aller Planktonalgen betrug 9,8 m; für das Nannoplankton 9,8, für das Netzplankton 9,6 m. Die kleinen Formen waren, mit Ausnahme von *Cryptomonas ovata*, bei 10 m überhaupt nicht mehr vorhanden. Die maximale Individuenzahl lag in 7,5 m Tiefe, bedingt durch die Blaualgen *Oscillatoria rubescens*, *Oscillatoria obliqueacuminata* und *Pseudanabaena catenata*. Typische Oberflächenentwicklung war bei *Peridinium inconspicuum*, *Ceratium birundinella* und *Erkenia subaequiciliata* der Fall. Es sei noch speziell auf das vertikale Auftreten von *Rhodomonas* aufmerksam gemacht, der im Gegensatz zu den oligotrophen Seen nur noch in der Schicht von 0–7,5 m zu finden war, was wahrscheinlich wie im Sempachersee vor allem auf den Sauerstoffschwund zwischen 7,5 und 10 m zurückzuführen ist. Erwähnenswert ist die extrem hohe Individuenentwicklung der « μ -Algen» im Epilimnion, die sogar eine leicht grünliche Vegetationsfärbung erzeugten (Sichttiefe: 1,9 m). In 10 m Tiefe waren nur noch ganz vereinzelt « μ -Algen» zu finden. Die grosse Entfaltung der *Tabellaria flocculosa* im Walensee trat auch im Zürichsee in Erscheinung, wo sie ihr Individuenmaximum in 20 m Tiefe erreichten.

Biomasse. Der Zürichsee wies eine erstaunlich geringe Planktonproduktion auf mit nur 3,7 mm³/cm² und einem durchschnittlichen Litergehalt

von 2,2 mm³. Der grösste Litergehalt (3,0 mm³) wurde in 7,5 m Tiefe gefunden. Das Nannoplankton umfasste knapp $\frac{1}{3}$ der Biomasse. Die Halbwerttiefe betrug noch 8,7 m. Die Blaualgen machten 60,1% aus, die Diatomeen gut 20% und an den restlichen Volumenprozenten waren Chlorophyten, Peridineen und Cryptophyceen beteiligt. Von der totalen Biomasse des Nannoplanktons entfallen 4,9% auf die beiden feinen, fädigen Blaualgen, ferner 7,9% auf *Stephanodiscus hantzschii*, 3% auf *Gymnodinium helveticum*, 2,4% auf die kugeligen Grünalgen und 1,9% auf *Rhodomonas* und *Cryptomonas*.

Durchschnittliches Planktonvolumen je Liter in mm³ (Zürichsee)

Tiefe (m)	Phytoplankton	Nannoplankton	Netzplankton
0 – 2,5	2,237	0,833	1,403
2,5– 5	1,732	1,180	0,552
5 – 7,5	2,507	1,279	1,228
7,5–10	1,923	0,653	1,270
10 –15	0,706	0,061	0,644
15 –20	0,441	0,015	0,426
0– 10	2,099	0,986	1,113
10– 20	0,573	0,038	0,535
20– 30	0,164	0,011	0,150
30– 50	0,123	0,009	0,114
50–100	0,122	0,009	0,113
100–140	0,038	0,002	0,036
0–140	0,267	0,078	0,188

f) Hallwilersee

Qualitative Zusammensetzung und Volumenprozent:

Cyanophyta: *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena planctonica* (12,1%), *Pseudanabaena catenata*, *Aphanizomenon flos-aquae* (9,5%), *Oscillatoria rubescens* (64,4%), *Oscillatoria obliqueacuminata* (1,0%).

Chlorophyta: *Phacotus lenticularis*, *Platymonas cordiformis*, *Pandorina morum* (2,8%), *Dictyosphaerium pulchellum*, *Oocystis lacustris*, *Scenedesmus quadricauda*, *Tetraëdron minimum*, *Elakatotbrix gelatinosa*, *Mougeotia* sp., *Closterium acutum* var. *variabile*, *Staurastrum cingulum*.

Chrysophyceae: *Erkenia subaequiciliata* (0,4%), *Dinobryon sociale*, *Dinobryon bavaricum*, *Dinobryon sertularia*, *Dinobryon divergens* (1,2%), *Monas* sp. (0,1%).

Diatomeae: *Cyclotella comensis*, *Cyclotella kützingiana* (0,3%), *Fragilaria crotonensis* (0,6%), *Synedra acus* var. *angustissima* (0,3%), *Asterionella formosa* (0,4%).

Cryptophyceae: *Cryptomonas ovata*, *Cryptomonas erosa* var. *reflexa* (0,4%).

Peridineae: *Gymnodinium helveticum* (0,6%), *Peridinium inconspicuum* und *Peridinium bipes* (1,7%), *Peridinium cinctum* (0,2%), *Ceratium hirundinella* (3,1%).

Wie beim Zürichsee herrschten im Phytoplankton des Hallwilersees die hormogonalen Blaualgen vor. Charakteristisch waren ausserdem *Cyclotella kützingiana*, *Cryptomonas erosa* var. *reflexa*, *Peridinium bipes*, drei Nannoplankter, und zahlreiche Arten von Chlorophyten.

Vertikale Verteilung. (Abb. 22 c). Sowohl in der chemischen Schichtung als auch in der vertikalen Verteilung des Phytoplanktons kommt die starke Eutrophierung des Hallwilersees zum Ausdruck. Die untere Verbreitungsgrenze (10% der Höchstzahlen) – die geringste der untersuchten Seen – liegt allerdings noch in 12,8 m Tiefe. Diese wurde erzeugt durch die bis in grössere Tiefen auftretenden Diatomeen *Synedra acus*, *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis*. Daneben waren Formen wie *Erkenia subaequiciliata*, *Ceratium hirundinella*, verschiedene Arten von *Dinobryon* und *Peridinium* teilweise schon in 7,5 m nicht mehr vorhanden. Unter den Blaualgen erreichten *Anabaena planctonica*, *Aphanizomenon flos-aquae* und *Oscillatoria obliqueacuminata* ihre Maxima ebenfalls an der Oberfläche. *Oscillatoria rubescens* hingegen zeigte wieder das übliche «geflügelte» Kurvenbild, wobei die Einschiebung auffallend hoch in 5 m erfolgte. Dies rührte wahrscheinlich davon her, dass die enorm scharfe Sauerstoffabnahme zwischen 5 und 7,5 m (genau zwischen 5 und 6 m) erfolgte, und zwar von 9,68 mg/l O₂ auf 0,76 l O₂. Es ist deshalb denkbar, dass nicht mehr Temperatur oder Licht, sondern in erster Linie der Sauerstoffgehalt für diese abweichende Schichtung von *Oscillatoria rubescens* massgebend war. Erwähnenswert ist ferner die prägnante Einschichtung von *Pandorina* in 5 m Tiefe.

Biomasse. Die Biomasse von 14 mm³/cm² war ansehnlich, insbesondere wenn man bedenkt, dass diese Menge innerhalb der oberen 10 m produziert worden war, was einem durchschnittlichen Litergehalt von 12,8 mm³ in der Wassersäule von 0–10 m entspricht. Die Halbwerttiefe lag bei 4,3 m, und die weitaus stärkste Planktonentwicklung mit 26,3 mm³/l befand sich in 5 m und fiel mit dem *Oscillatoria-rubescens*-Maximum von 21,8 mm³/l zusammen. In 7,5 m war jedoch nur noch 1/7, in 10 m noch 1/13 des Planktonmaximums vorhanden. *Oscillatoria rubescens* stellte mit 64,6% des Gesamtphytoplanktonvolumens die Hauptmassenform dar. Mit rund 76% lag ein typisches Blaualgenmaterial vor uns. *Nannoplanktonformen*, 20 an der Zahl, waren volumenmässig äusserst schwach entwickelt und hätten beim Hallwilersee mit 5% Volumenanteil (oder 0,7 mm³/cm²) bei der Biomasseberechnung des Sees ebensogut vernachlässigt werden können. Die stärkste Nannoplanktonentwicklung von 0,7 mm³/l fand an der Oberfläche statt. Diese Masse wurde hauptsächlich von *Erkenia*

subaequiciliata, *Peridinium inconspicuum* und *Peridinium bipes*, ferner von der feinfädigen *Oscillatoria obliqueacuminata* gebildet.

Durchschnittliches Planktonvolumen je Liter in mm^3 (Hallwilersee)

Tiefe (m)	Phytoplankton	Nannoplankton	Netzplankton
0 - 2,5	13,068	0,868	12,200
2,5- 5	21,124	0,792	20,336
5 - 7,5	14,112	0,292	14,820
7,5-10	2,972	0,116	2,856
10 -15	1,346	0,139	1,206
15 -20	0,506	0,082	0,424
20 -25	0,274	0,041	0,232
25 -30	0,108	0,015	0,094
30 -45	0,048	0,023	0,025
0-10	12,819	0,517	12,302
10-20	0,925	0,111	0,815
20-30	0,244	0,028	0,163
0-45	3,112	0,152	2,959

4. Vergleich der Resultate der untersuchten Seen

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der analysierten Planktonproben miteinander verglichen, und zwar in erster Linie in bezug auf das Nannoplankton.

a) *Qualitative Zusammensetzung des Planktons*

Aus Tab. 20, in der die Phytoplankter der untersuchten Seen zusammengestellt sind, ist zu entnehmen, dass in diesen einmaligen Probenahmen 57 Nannoplankter (61%) und 36 Netzplankter (39%) erfasst wurden. In den einzelnen Seen wurden 30-40 Phytoplankter beobachtet, wobei der Artenbestand des Nannoplanktons im Brienzer-, Walen- und Sempachersee etwa 70%, der des Thunersees etwa 60%, des Zürichsees etwa 50%, des Hallwiler- und Pfäffikersees etwa 45% ausmachte. Schlüsse hinsichtlich der Artenzahlen des Nannoplanktons verschiedener Seetypen können jedoch aus diesen vereinzelt Stichproben nicht gezogen werden, obgleich es auf Grund dieser Zahlen scheinen will, dass das Nannoplankton oligotropher Seen zur Zeit der Sommerstagnation prozentual artenreicher ist als das Netzplankton.

Die Arten der Nannoplankter entstammen vornehmlich zwei Algengruppen (vgl. Tab. 21), den Chrysophyceen (12 Arten) und den Eucytophyceen (19 Arten), ausserdem den Cryptophyceen, die nur Nanno-

Tabelle 20

Die Phytoplankter der untersuchten Seen (in Volumenprozenten der Totalmasse unter 1 cm² der einzelnen Seen)

Art	Br	Th	Wa	Se	Zü	Ha	Pf
Nannoplankter							
<i>Chroococcus</i> cf. <i>minutus</i> (Kütz.) Naeg. var.				4			
<i>Aphanocapsa delicatissima</i> W. u. G. S. West				+			
<i>Oscillatoria obliqueacuminata</i> Skuja					1	1	
<i>Pseudanabaena catenata</i> Lauterb.					4	+	
<i>Chlamydomonas</i> spp.	+			+			
<i>Carteria</i> sp.			+	+			
<i>Platymonas cordiformis</i> (Carter) Korschikow						+	
<i>Phacotus lenticularis</i> Ehrenberg					+	+	+
<i>Gloeocystis planctonica</i> (W. u. G. S. West) Lemm.				3			
<i>Chlorella pyrenoidosa</i> Chick und							
<i>Coccomyxa minor</i> Skuja		+	+		2		
<i>Oocystis lacustris</i> Chodat			+			+	+
<i>Oocystis marssonii</i> Lemm.				5			
<i>Scenedesmus</i> spp.			+			+	
<i>Tetraëdron minimum</i> (A. Br.) Hansg.				+		+	
<i>Treubaria triappendiculata</i> Bernard					+		
<i>Selenastrum minutum</i> (Naeg.) Collins		+			+		
<i>Characium gracilipes</i> F. D. Lambert			+	+			
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs			+		+		
<i>Ankistrodesmus longissimus</i> (Lemm.) Wille					+		
<i>Elakathrix gelatinosa</i> Wille	+	+	+	+	+	+	+
<i>Lambertia judayi</i> (G. M. Smith) Korschikow							+
<i>Actinastrum hantzschii</i> Lagerh.					+		
<i>Closterium acutum</i> var. (Lemm.) Krieger				+	+	+	+
<i>Cosmarium phaseolus</i>				+			+
<i>Ochromonas</i> sp.	1		+				
<i>Erkenia subaequiciliata</i> Skuja	+	3	1	2	+	+	+
<i>Pseudopedinella erkensis</i> Skuja	+	1	1				
Kleine Flagellaten	+	+	+	+	+	+	1
<i>Pseudokephyrion entzii</i> Conrad			+				+
<i>Diceras chodati</i> Reverdin	+	+					
<i>Hyalobryon mucicola</i> Pascher		+					
<i>Chrysolykos planctonicus</i> Mack		+	+				
<i>Mallomonas acaroides</i> Perty	+	1					
<i>Uroglena americana</i> Calkins	+	1	4		+		
<i>Sphaeroeca volvox</i> Lauterborn				+			
<i>Stelixomonas dichotoma</i> Lackey	+						
<i>Cyclotella kützingiana</i> Thwaites						+	
<i>Cyclotella operculata</i> (Ag.) Kg.	15	19					
<i>Cyclotella comta</i> (E.) Kg.	1	1					
<i>Cyclotella comensis</i> Grun.	+	+	+		+	+	
<i>Cyclotella stelligera</i> Cleve et Grun.			+				
<i>Cyclotella pseudostelligera</i> Hustedt			+		+		
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun.				+	8		+
<i>Stephanodiscus alpinus</i> Hustedt			+				
<i>Synedra nana</i> Meister		+	+				
<i>Rhodomonas lacustris</i> Pascher et Ruttner	8	6	3	2	2		+
<i>Rhodomonas lens</i> Pascher et Ruttner							
<i>Cryptomonas ovata</i> Ehrenberg	35	4	12	2	+	+	8
<i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenberg							
<i>Cryptomonas erosa</i> . var. <i>reflexa</i> Marsson						+	

Tabelle 20 (Fortsetzung)

Art	Br	Th	Wa	Se	Zü	Ha	Pf
<i>Cryptomonas</i> cf. <i>tetrapyrenoidosa</i> Skuja	+						
<i>Gymnodinium helveticum</i> Penard	+	+	1	1	3	1	+
<i>Gymnodinium lantzschii</i> Utermöhl	+			+			+
<i>Peridinium inconspicuum</i> Lemm.			1		+	+	
<i>Peridinium bipes</i> Stein						2	
<i>Gymnodinium</i> spp.	+	+					
Netzplankter							
<i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittr.) Kirchn. em. W.-L.				+			+
<i>Coelosphaerium kützingerianum</i> Naeg.				48			+
<i>Aphanothece clathrata</i> var. <i>brevis</i> Bachm.							77
<i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.				+			+
<i>Oscillatoria rubescens</i> D. C.		+			55	65	
<i>Anabaena planctonica</i> Brunth.					+	12	
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb.		+			+	+	1
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs.					+	10	
<i>Pandorina morum</i> (Müller) Bory			+		+	3	+
<i>Eudorina elegans</i> Ehrenberg						+	
<i>Gloeococcus schroeteri</i> (Chod.) Lemm.	+	+				+	1
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen.							+
<i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh.							+
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> Wood.			+		+	+	
<i>Coelastrum reticulatum</i> (Dang.) Senn.						+	+
<i>Chodatella citriformis</i> Snowa.				+			
<i>Botryococcus braunii</i> Kütz.				+	+	+	
<i>Hormidium</i> sp.						+	
<i>Mougeotia</i> sp.		+	+			+	
<i>Staurastrum gracile</i> Ralfs.				+		+	+
<i>Closterium aciculare</i> T. West							+
<i>Mallomonas producta</i> Iwan.	+	+	+				
<i>Dinobryon sociale</i> Ehrnb.							
<i>Dinobryon divergens</i> Imhof	1	23	+		3	1	
<i>Dinobryon bavaricum</i> Imhof							
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrnb.							
<i>Rhizosolenia eriensis</i> H. L. Smith	+						
<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i> Müller							3
<i>Stephanodiscus astraea</i> (E.) Grim					+		
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	7	6	+	+	+	+	+
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kg.		1	64		4		
<i>Tabellaria fenestrata</i> (Lyngb.) Kg.			+	+	+		
<i>Fragilaria crotonensis</i> Kitton	32	22		2	+	1	8
<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> Grim.	+	+	+		+	+	
<i>Synedra acus</i> var. <i>delicatissima</i> (W. Sm.) Grun.	+		+		8		
<i>Peridinium willei</i> Huitf.-Kaas					+		+
<i>Peridinium cinctum</i> (Müller) Ehrnb.	+	+	+	3	+	+	
<i>Ceratium hirundinella</i> (O. F. Müller) Schrank	+	12	2	24	7	3	+

planktonformen umfassen. Unter den Cyanophyceen überwiegen die Formen des Netzplanktons, während sich die Diatomeen etwa zu gleichen Teilen auf Netz- und Nannoplankton aufteilen. Dieses Resultat ist im Grunde genommen einleuchtend, da unter den planktischen Blaualgen die meisten Formen relativ grosse Kolonien oder Fäden ausbilden, die Chloro-

phyceen, ganz besonders jedoch die Chrysophyceen und Cryptophyceen, für die reiche Vielfalt an kleinen, oft geißeltragenden, einzelligen Organismen bekannt sind. Die Verbreitung der Formen ist ebenfalls aus Tab. 21 zu entnehmen. So gab es 6 Nannoplankter (gegenüber 2 Netzplanktern), die in allen Seen auftraten, 20 Nannoplankter (gegenüber 11 Netzplanktern), die nur in einem der untersuchten Seen beobachtet wurden, 26 Nannoplankter (gegenüber 18 Netzplanktern), die in 2–3 der untersuchten Seen festgestellt wurden, und 5 Nannoplankter (gegenüber 8 Netzplanktern), die in 4–6 Seen vorhanden waren. Am auffallendsten vielleicht war die verhältnismässig grosse Zahl an Organismen, die nur in einem See anzutreffen waren. Die Ursache dieser Erscheinung liegt vermutlich im unterschiedlich ökologischen und regionalen Charakter der Seen, wie weiter unten noch dargelegt wird. Es fanden sich demnach stenöke als auch weitverbreitete Netz- und Nannoplanktonorganismen, wobei die Zahl der Nannoplankter meistens etwas grösser war (was jedoch noch nichts aussagt über das quantitative Auftreten dieser Nannoplanktonformen).

Was die Zahl der *Massenformen* anbelangt, das heisst von Formen, die mindestens in einem See wenigstens 0,5% Volumenanteil erreichten, gibt Tab. 21 in der letzten Kolonne wieder. Nur 42% aller Arten erfüllten diese Bedingung, davon 20 Nannoplankter (gegenüber 19 Netzplanktern). Über 10% Volumenanteil wurde nur von 2 Nannoplanktern und 8 Netzplanktern (zusammen 11% aller Arten) erreicht. Den höchsten Volumenanteil bildete ein Netzplankter: *Aphanothece clathrata* var. *brevis* mit 77,3%. Zwei weitere Blaualgen, *Oscillatoria rubescens* und *Coelosphaerium kützingerianum*, waren mit 64,5% bzw. 47,9% und die beiden Kieselalgen *Tabellaria flocculosa* und *Fragilaria crotonensis* mit 64,2% bzw. 31,6% beteiligt. Nur zwei Nannoplankter hingegen, *Cyclotella operculata* und *Cryptomonas ovata*, bestritten mehr als 10% der Biomasse (vgl. auch Tab. 20 und 21). Obgleich also die Netzplankter prozentual ärmer an Arten waren, fielen sie zur Sommerszeit durch 8 besonders «leistungsfähige» Formen volumenmässig stärker ins Gewicht als die Nannoplankter, von denen nur zwei Organismen die Grösse der Biomasse in signifikanter Weise zu beeinflussen vermochten.

Nach diesen mehr allgemeinen Feststellungen hinsichtlich Artenzahlen und Massenformen von Netz- und Nannoplanktonorganismen ist es vielleicht nützlich, einige Einzelheiten näher zu erörtern. In Tab. 22, wo die Algengruppen der einzelnen Seen nach Artenzahl und Volumenanteil auseinandergehalten sind, treten die Besonderheiten ihrer Vertei-

Tabelle 21
Zahl der Arten, Verbreitung der Arten und Massenformen der untersuchten Seen

Alcengruppen	Aufreten der Arten												
	Artenzahl		in allen Seen		in einem See		in 2-3 Seen		in 4-6 Seen		Massenformen (maximaler Volumenanteil)		
	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	
Cyanophyta	4	8	-	-	2	1	2	6	-	1	3	1	4
Chrysophyceae	12	5	-	-	5	-	4	3	1	2	6	3	-
Euchlorophyceae	19	10	1	-	7	5	11	3	-	2	2	2	1
Desmidiales	2	3	-	-	-	1	1	2	1	-	-	-	-
Diatomeae	9	9	-	1	3	3	5	3	1	2	1	1	2
Cryptophyceae	6	-	2	-	2	-	-	-	2	-	-	1	1
Peridineae	5	3	1	1	1	-	3	1	-	1	3	1	-
Total (Arten)	57	36	6	2	20	10	26	18	5	8	15	8	3
%	61	39	6	2	21	11	28	19	5	9	16	9	3

Tabelle 22

Volumenprozent der verschiedenen Alcengruppen betreffend das Netz- und Nannoplankton (Na: Nannoplankton, Ne: Netzplankton, Zahlen in Klammern: Artenzahlen)

Alcengruppen	Brienzersee		Thunersee		Walensee		Sempachersee		Zürichsee		Hallwilersee		Pfäffikersee	
	Na%	Ne%	Na%	Ne%	Na%	Ne%	Na%	Ne%	Na%	Ne%	Na%	Ne%	Na%	Ne%
Cyanophyta	(0)	(0)	(0)	(2)	(0)	(0)	(2)	(3)	(2)	(4)	(2)	(4)	(0)	(5)
Chrysophyceae	(8)	(4)	(7)	(5)	(7)	(3)	(2)	(0)	(3)	(4)	(2)	(4)	(3)	(0)
Euchlorophyceae	(4)	(1)	(4)	(1)	(7)	(0)	(8)	(2)	(8)	(2)	(6)	(6)	(4)	(5)
Desmidiales	(0)	(0)	(0)	(1)	(0)	(2)	(2)	(1)	(1)	(0)	(1)	(2)	(2)	(2)
Diatomeae	(3)	(3)	(4)	(4)	(5)	(5)	(1)	(3)	(3)	(6)	(2)	(3)	(1)	(3)
Cryptophyceae	(5)	(0)	(4)	(0)	(4)	(0)	(3)	(0)	(3)	(0)	(2)	(0)	(2)	(0)
Peridineae	(3)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)	(2)
Total	(23)	(10)	(21)	(15)	(25)	(12)	(20)	(11)	(22)	(19)	(18)	(21)	(14)	(17)
%	61	39	35	65	23	77	22	78	22	78	5	95	9	91

lung klar hervor. Schon die *Artenzahlen* lassen teilweise Unterschiede erkennen, jedoch ergäben diese Zahlen für sich allein betrachtet ein falsches Bild über die effektive Bedeutung der einzelnen Algengruppen an der Zusammensetzung des Planktons (vgl. z. B. die Artenzahlen und die Volumenprozente der Euchlorophyceen mit denjenigen der Cyanophyten und Diatomeen in Tab. 22). Hingegen kommen in der prozentual unterschiedlichen Verteilung (Tab. 22) der Algengruppen, analog zu den chemischen Resultaten, wiederum deutlich die oligotrophen (Brienzer-, Thuner-, Walensee) und die eutrophen (Sempacher-, Hallwiler-, Zürich-, Pfäffikersee) Seetypen zum Ausdruck. In der Reihe der eutrophen Seen herrschten die Blaualgen vor, während sie unter den oligotrophen Seen nur im Thunersee, zudem in unbedeutender Menge, vorhanden waren. Dafür zeichnete sich das Planktonbild der letzteren durch das Hervortreten der Diatomeen, Cryptophyceen und teilweise der Chrysophyceen aus, Algengruppen, die in den vier eutrophen Seen zur Untersuchungszeit stark zurücktraten. Die Euchlorophyceen, zum grössten Teil Nannoplanktonformen, bildeten in allen Seen nur einen kleinen Massenanteil. In den eutrophen Seen wurden sie wohl etwas artenreicher vertreten.

Weitere interessante Vergleichsmöglichkeiten ergaben das Auftreten der einzelnen Nannoplankter in den untersuchten Seen (vgl. Tab. 20):

Cyanophyta. Vier Blaualgenvertreter, zwei chroococcale, *Aphanocapsa delicatissima* und *Chroococcus minutus*, und zwei hormogonale, *Oscillatoria obliqueacuminata* und *Pseudanabaena catenata*, kennzeichneten das gefundene Nannoplankton. Die beiden chroococcalen Arten wurden nur im Sempachersee beobachtet. *Aphanocapsa delicatissima* allerdings ist eine verbreitete, doch nie zahlreich auftretende Form, die wir schon im Zürich-, Pfäffiker-, Vierwaldstätter- und Bodensee vereinzelt festgestellt hatten. *Chroococcus* cf. *minutus* hingegen wurde von uns zum erstenmal in den Proben des Sempachersees bestimmt, wo sie sowohl als Charakter- als auch Massenform dem Planktonbild einen eigenen Aspekt verlieh. Die beiden fädigen Blaualgen hingegen bildeten zwei interessante Charakter- und Massenformen des Hallwiler- und Zürichsees. Eutrophe Gewässer fördern wahrscheinlich das Wachstum dieser hormogonalen Nannoplankter.

Chlorophyta. Obgleich die grösste Zahl von Nannoplanktern von den Grünalgen gestellt wurde, waren nur drei Formen auch quantitativ von Bedeutung, nämlich *Chlorella pyrenoidosa* im Zürichsee, *Gloeocystis planctonica* und *Oocystis marssonii* im Sempachersee. Charakterformen waren *Treubaria triappendiculata* und *Actinastrum hantzschii* im Zürichsee, *Schroete*

deria setigera in den oligotrophen Seen und *Lambertia judayi* im Pfäffikersee. Die restlichen Formen waren mehr oder weniger in allen Seen zu finden.

Chrysophyceae. Von der relativ grossen Anzahl [12] der Nannoplankter aus dieser Algengruppe waren zwei Formen in allen untersuchten Seen zu finden, sogar zum Teil als Massenformen, *Erkenia subaequiciliata* und ein *Monas* sp. Eine andere Chrysophycee, *Pseudopedinella erkensis*, fand sich zur Zeit der Probenahme als Massenform in den drei oligotrophen Seen vor. Im Thuner- und Brienersee waren *Diceras chodati* und *Mallomonas acaroides* verbreitet. Ein für den Brienersee kennzeichnender Chrysoflagellat stellte *Stelixomonas dichotoma* (s. Abb. 27*), für den Thunersee *Hyalobryon mucicola* dar, und für den Walensee waren *Kephyrion entzii* und vor allem *Chrysolykos planctonicus* (s. Abb. 24*) typisch. Nur im Sempachersee wurde zur Zeit der Probenahme *Sphaeroeca volvox* angetroffen.

Unter den Nannoplanktern der Chrysophyceen kommt der allgemeine ökologische Charakter dieser Algengruppe zum Ausdruck. Es gibt wenige ökologisch und regional indifferente Formen (*Erkenia subaequiciliata*), die Mehrzahl der Formen zieht kühleres Wasser vor und wurde deshalb auch nur in den drei oligotrophen Alpenrandseen, die sich im Vergleich zu den anderen Seen durch tiefere Temperaturen auszeichneten, gefunden, so zum Beispiel *Pseudopedinella erkensis*, *Diceras chodati*, *Chrysolykos planctonicus*, *Stelixomonas dichotoma*, *Kephyrion entzii*. In diesem Zusammenhang ist zu bemerken, dass *Diceras chodati* wahrscheinlich nicht unbedingt nur auf kälteres Wasser, sondern eher auf reines Wasser angewiesen ist, im Gegensatz zu *Pseudopedinella*, bei welcher vor allem der Temperaturfaktor die Entwicklung beeinflusst, denn wir fanden diese Form auch im Zürichsee, Pfäffikersee und Untersee (Seen des Mittellandes), vorwiegend im frühen Frühjahr.

Diatomeae. Die Nannoplanktonformen der Diatomeen unserer Breiten umfassen hauptsächlich zentrische Formen, die oft nur vereinzelt, dann aber auch wieder in grossen Massen in den Seen auftreten können. So prägte *Cyclotella operculata* den Gesamtaspekt des Planktons im Thuner- und Brienersee, während sie in den anderen Seen fehlte. Dazu war *Cyclotella comta* in den beiden Seen reichlich entwickelt. Neben den dominierenden Blaualgen trat im Hallwilersee *Cyclotella kützingiana* als typische Form zahlreich in Erscheinung; im Walensee fiel die eher seltene kleine *Cyclotella stelligera* als Charakterform auf. Daneben lagen vereinzelt Zellen von *Cyclotella pseudostelligera*, die im Zürichsee zu jener Zeit sporadisch in 5 m Tiefe auftauchte, vor. Typisch für den Walensee war ferner *Stepha-*

nodiscus alpinus, der weder im Briener- noch im Thunersee festgestellt werden konnte, und *Synedra nana*, die auch im Thunersee zu finden war. *Stephanodiscus hantzschii* war im Sempacher- und Zürichsee vorhanden, während sie in den anderen Seen nicht nachgewiesen werden konnte.

Cryptophyceae. Als weitverbreitete und häufigste Nannoplankter unserer Seen spielen einzelne Arten der Cryptophyceen oft die Rolle von Massenformen, so namentlich *Cryptomonas ovata* und *Rhodomonas lacustris*, weniger *Cryptomonas erosa* und *Rhodomonas lens*. *Cryptomonas ovata* wurde in allen untersuchten Seen beobachtet. Im Brienersee bildete er mit *Cryptomonas erosa* zusammen gut einen Drittel der Gesamtmasse. Im Brienersee trat ferner *Cryptomonas* cf. *tetrapyrenoidosa* auf und im Hallwilersee charakterisierte vor allem *Cryptomonas erosa* var. *reflexa* als Cryptophycee das Plankton, wo sie sich hauptsächlich im Metalimnion aufhielt.

Peridineae. Von den wenigen beobachteten Arten sei nur das Auftreten von *Peridinium bipes* im Hallwilersee erwähnt.

Immer wieder fühlt man sich versucht, analog zu den Pflanzengesellschaften der Makrophyten, die Zusammensetzung des Phytoplanktons der Seen zu charakterisieren, indem Massenformen und ökologische Charakterformen zu Assoziationsgruppen vereinigt werden [12, 72]. Dies ist nicht ganz einfach, da nur einmalige Probenahmen für die Kennzeichnung der Planktongemeinschaften vorliegen, und die Seen sich regional und ökologisch – vor allem durch Temperatur- und Trophiefaktoren – unterscheiden. Ausserdem sind die autökologischen Merkmale der Planktonorganismen nur teilweise bekannt. Immerhin bilden die physikalisch-chemischen Untersuchungen der Seen und die quantitative Auswertung der Planktonproben eine sichere Grundlage, um die vorgefundene Planktongemeinschaft einigermaßen vernünftig und kurz zu benennen.

Die wichtigsten Merkmale des Planktons der oligotrophen Seen: In jedem der untersuchten Seen waren eine bis zwei Kieselalgen neben einer Chrysophycee oder Cryptophycee mit mindestens 10% Volumenanteil unter den Hauptformen vertreten. Im Briener- und Thunersee finden sich dieselben Hauptkieselalgen, *Fragilaria crotonensis* und *Cyclotella operculata*. Im Brienersee überwog *Cryptomonas ovata* und *erosa*, im Thunersee *Dinobryon sociale* (mit *Dinobryon bavaricum* und *Dinobryon divergens* zusammen) und *Ceratium hirundinella*. Möglicherweise rührt dieser Unterschied von der etwas höheren Temperatur des Thunersees her. Beiden Seen gemeinsam waren die Hauptkieselalgen *Fragilaria crotonensis* und *Cyclotella*

operculata und die Nannoplankter *Diceras chodati* und *Pseudopedinella erkensis*. Die Planktongemeinschaft des *Walensees* war eindeutig durch Kieselalgen geprägt, wobei *Tabellaria flocculosa* mit nahezu 50% die Hauptform darstellt. Entsprechenden Erfahrungen an anderen Seen zufolge liesse diese Entwicklung der Kieselalgen eigentlich auf einen leicht eutrophen Zustand des Sees schliessen, was die chemischen Analysenresultate jedoch nicht bestätigen. Wie bereits erwähnt, war *Pseudopedinella erkensis*, welche wir auch im Briener- und Thunersee fanden, ebenfalls hier vertreten. Ausschliesslich auf den Walensee beschränkt waren dagegen *Cyclotella stelligera*, *Pseudokephyrion entzii* und *Chrysolykos planctonicus*, ein äusserst zarter Chrysoflagellat, der nur in vereinzelt Exemplaren in verschiedenen Tiefen (0, 2,5 und 15 m) vorhanden war.

Die eutrophen Seen wurden durch das Massenaufreten von Blaualgen charakterisiert. Eine auffällende Ähnlichkeit zeigten die Planktongemeinschaften des *Hallwiler-* und des *Zürichsees*; hier dominierte *Oscillatoria rubescens* mit je über 50% Volumenanteil. Für diese zwei Seen waren ferner die beiden fädigen Blaualgen, *Oscillatoria obliqueacuminata* und *Pseudanabaena catenata* und eine epilimnische kleine, zarte Form aus dem Kreis der Bacteriophyta (*Planctomyces bekefi*) gemeinsam. Unterschiede zeigten sich hingegen in der Zusammensetzung der Grünalgen. So fand sich im Hallwilersee als typische, in grosser Zahl vorhandene Form *Pandorina morum* zusammen mit *Phacotus lenticularis*, im Zürichsee hatten sich im Bereich von 0 bis 7,5 m Tiefe *Chlorella pyrenoidosa* und *Coccomyxa minor* (« μ -Algen») in so grosser Individuendichte entwickelt, dass sie eine grünliche Vegetationsfärbung verursachten. Ausserdem waren zur Zeit der Untersuchung die Grünalgen *Treubaria triappendiculata* und *Actinastrium hantzschii* spezifisch für das Plankton des Zürichsees.

Der *Pfäffiker-* und der *Sempachersee* wiesen eine ganz andere Blaualgenzusammensetzung auf. Den Pfäffikersee kennzeichnete eine Massenfaltung von *Aphanothece clathrata* var. *brevis*, ein Hinweis auf den eutrophen Charakter dieses Gewässers, während im Sempachersee *Coelosphaerium kützingerianum* den grössten Volumenanteil erreichte. Zusammen mit *Chroococcus minutus* war diese Form typisch für diesen See. Unter den Grünalgen zeichnete er sich durch das verhältnismässig zahlreiche Hervortreten von *Gloeocystis planctonica* und *Characium gracilipes* aus, während im Pfäffikersee die Grünalgen *Phacotus lenticularis* und *Oocystis lacustris* stärker in Erscheinung traten. Das sommerliche Phytoplankton der untersuchten Seen könnte demnach mit folgenden Haupt-, Begleit- und Charakterformen umschrieben werden (s. Tab. 23):

Tabelle 23

Haupt-, Begleit- und Charakter-Planktonalgen der untersuchten Seen

See	Hauptformen (mehr als 10% Volumenanteil)	Begleitformen	Charakterformen
Brienzersee	<i>Cryptomonas ovata</i> <i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Cyclotella operculata</i>	<i>Rhodomonas lacustris</i> <i>Rhodomonas lens</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Erkenia subaequiciliata</i> <i>Pseudopedinella erkensis</i>	<i>Cryptomonas tetrapyrenoidosa</i> <i>Diceras chodati</i> <i>Cyclotella comta</i> <i>Stelixomonas dichotoma</i>
Thunersee	<i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Cyclotella operculata</i> <i>Dinobryon sociale</i> <i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Cryptomonas ovata</i> <i>Rhodomonas lacustris</i> <i>Erkenia subaequiciliata</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Pseudopedinella erkensis</i> <i>Dinobryon divergens</i> <i>Dinobryon bavaricum</i>	<i>Diceras chodati</i> <i>Hyalobryon mucicola</i>
Walensee	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Cryptomonas ovata</i>	<i>Erkenia subaequiciliata</i> <i>Uroglena volvox</i> <i>Rhodomonas lacustris</i> <i>Pseudopedinella erkensis</i> <i>Peridinium inconspicuum</i> <i>Dinobryon sociale</i> <i>Dinobryon divergens</i>	<i>Pseudokephyrion entzii</i> <i>Cyclotella stelligera</i> <i>Stephanodiscus alpinus</i> <i>Chrysolykos planctonicus</i>
Sempachersee	<i>Coelosphaerium kützingianum</i> <i>Ceratium hirundinella</i>	<i>Erkenia subaequiciliata</i> <i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Gloeocystis planctonica</i> <i>Characium gracilipes</i> <i>Cryptomonas ovata</i> <i>Rhodomonas lacustris</i> <i>Tetraëdron minimum</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i>	<i>Chroococcus cf. minutus</i> <i>Oocystis marssonii</i> <i>Aphanocapsa delicatissima</i>
Zürichsee	<i>Oscillatoria rubescens</i>	<i>Cryptomonas ovata</i> <i>Rhodomonas lacustris</i> <i>Dinobryon sertularia</i> <i>Erkenia subaequiciliata</i> <i>Stephanodiscus hantzschii</i> <i>Synedra acus</i> var. <i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Actinastrum hantzschii</i> « μ -Algen» <i>Selenastrum minutum</i> <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Peridinium inconspicuum</i>	<i>Planctomyces bekefii</i> <i>Oscillatoria obliqueacuminata</i> <i>Pseudanabaena catenata</i>
Hallwilersee	<i>Oscillatoria rubescens</i> <i>Anabaena planctonica</i>	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> <i>Anabaena flos-aquae</i>	<i>Planctomyces bekefii</i> <i>Oscillatoria obliqueacuminata</i>

Tabelle 23 (Fortsetzung)

See	Hauptformen (mehr als 10% Volumenanteil)	Begleitformen	Charakterformen
		<i>Dinobryon sociale</i>	<i>Pseudanabaena catenata</i>
		<i>Erkenia subaequiciliata</i>	<i>Cyclotella kützingiana</i>
		<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Cryptomonas erosa</i> var. <i>reflexa</i>
		<i>Asterionella formosa</i>	<i>Peridinium bipes</i>
		<i>Pandorina morum</i>	
		<i>Phacotus lenticularis</i>	
		<i>Peridinium inconspicuum</i>	
		<i>Peridinium cinctum</i>	
		<i>Ceratium hirundinella</i>	
Pfäffikersee	<i>Aphanothece clathrata</i>	<i>Anabaena flos-aquae</i>	<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>
		<i>Fragilaria crotonensis</i>	
		<i>Cryptomonas ovata</i>	
		<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	
		<i>Pandorina morum</i>	
		<i>Ceratium hirundinella</i>	

b) Vertikale Verteilung der Planktonorganismen

Um die vertikale Verbreitung der Netz- und Nannoplankter innerhalb der untersuchten Seen miteinander zu vergleichen, wurde neben der maximalen Individuendichte der Begriff der «unteren vertikalen Verbreitung» (s. S. 228) herbeigezogen und die berechneten Werte nach Seen und Algengruppen geordnet in Tab. 24 zusammengestellt.

Die untere Verbreitung der *Cyano*-, *Chryso*- und *Chlorophyceen* lagen zwischen 7 und 18 m, ohne dass bedeutende Unterschiede zwischen Nanno- und Netzplanktonformen in Erscheinung getreten wären. Die *Diatomeen* erreichten im allgemeinen grössere Tiefen (28 m), wobei die untere vertikale Verbreitung der Netzplankter durchschnittlich etwas tiefer lag als die der Nannoplankter. Dieser Unterschied rührt vermutlich vom geringeren spezifischen Gewicht und der kleineren Sinkgeschwindigkeit des letzteren her. Bemerkenswerte, doch gut erklärbare Differenzen waren zwischen den Netz- und Nannoplanktern der *Peridineen* zu beobachten. Die Netzplankter bestanden nämlich hauptsächlich aus Organismen des Epilimnions und der Oberfläche (*Ceratium hirundinella*, *Peridinium cinctum* usw.), während unter den wenigen Nannoplanktern oft *Gymnodinium helveticum*, eine typisch meta- und hypolimnische Form, neben der charakteristischen Oberflächenform *Peridinium inconspicuum* dominierte. Vergleichen wir die unteren Verbreitungen des Netz- und Nannoplanktons innerhalb der verschiedenen Seen, so ist besonders auffällig, dass in den oligo-

trophen Seen das Nannoplankton meistens eine geringere vertikale Verbreitung aufzeigte als das Netzplankton. Dies ist darauf zurückzuführen, dass unter den Netzplanktern bezüglich Individuenzahlen die Diatomeen vorherrschten; im Briener- und Thunersee *Asterionella formosa* (untere vertikale Verbreitung 22,0 bzw. 27,4 m), im Walensee *Tabellaria flocculosa* (untere vertikale Verbreitung 45 m). Die untere vertikale Verbreitung bestimmte im Brienersee die kleine *Cyclotella operculata*, im Thunersee das zahlreiche Auftreten von *Erkenia subaequiciliata* und *Cyclotella operculata*; und im Walensee wiederum das zahlenmässige Vorherrschen von *Erkenia subaequiciliata*. Im Sempachersee wurde die untere Verbreitung des Nanno- und Netzplanktons durch Blaualgen festgelegt, nämlich durch den Nannoplankter *Chroococcus* cf. *minutus* und den Netzplankter *Coelosphaerium kütztingianum*, wobei *Chroococcus* cf. *minutus* eher tiefer eingeschichtet war. Im Zürichsee dominierten zahlenmässig nicht die Blaualgen, sondern die Grünalgen (*Chlorella*, *Coccomyxa*) und die Chrysophyceen (*Dinobryon* spp.), und im Hallwilersee hatten für das Nannoplankton wiederum *Erkenia subaequiciliata*, für das Nannoplankton *Oscillatoria rubescens* und *Pandorina morum* die für die untere Verbreitung ausschlaggebenden Individuenzahlen geliefert.

Gewisse, durch die Verhältnisse der Seen bedingte Unterschiede in der unteren vertikalen Verbreitung der einzelnen Algengruppen innerhalb der untersuchten Seen lassen sich nur bei den Cryptophyceen und Chrysophyceen beobachten. So steigen sie in den oligotrophen Seen teilweise tiefer hinunter als in den eutrophen, was wohl mit der Lage und der Mächtigkeit des Metalimnions zusammenhängt. Besonders zu erwähnen sind die prägnanten, stark streuenden Werte der unteren vertikalen Verbreitung der Cryptophyceen, die mit 80 m (Thunersee) überhaupt die grösste untere vertikale Erstreckung aufwiesen. Diese Zahlen sind so eindrucklich, dass man sich fragt, ob sich in diesen Tiefen nur abgesunkene Organismen befanden oder ob hier die Umweltsverhältnisse den Organismen tatsächlich noch ein Weiterleben gestattet hätten, denn diese zarten, auf äussere Umweltsveränderungen meist negativ reagierenden Flagellaten waren in den Proben der oligotrophen Seen noch erstaunlich gut erhalten. Im Zürichsee lag die untere Verbreitungsgrenze dieser Formen erheblich höher. Begrenzender Faktor schien, vor allem für *Rhodomonas*, das metalimnische Sauerstoffminimum zwischen 7,5 und 5 m zu sein (s. Abb. 22 b). Im Hallwilersee fehlte *Rhodomonas lacustris* völlig zur Zeit der Probenahme. Zahlreich wurde in diesem See dafür *Cryptomonas erosa* var. *reflexa* beobachtet, wo er sich im Metalimnion angereichert

Tabelle 24

Untere vertikale Verbreitung (= 10% der maximalen Individuenzahl des Nanno- und Netzplanktons [Na bzw. Ne])

	Max. Indi- viduendichte		Gesamt- plankton		Cyanophyta		Chryso- phyceae		Diatomeae		Crypto- phyceae		Peridinea		Chlorophyta	
	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne	Na	Ne
Brienzersee	5	10	16,5	25,2	-	-	9,7	9,8	16,9	25,1	40,2	-	45,0	9,4	9,7	19,3
Thunersee	10 (0)	0	14,5	26,7	-	9,8	13,9	15,5	20,7	24,5	80,0	-	45,0	12,9	13,0	-
Walensee	2,5	10	15,6	35,9	-	-	14,0	9,7	13,9	28,0	45,6	-	11,0	9,7	18,3	4,7
Sempachersee	10	10	17,4	14,5	17,2	14,5	9,1	-	14,5	14,5	17,7	-	31,9	8,9	13,5	14,0
Zürichsee	5	5	9,8	9,6	9,8	13,3	6,8	9,3	9,8	14,2	7,0	-	17,5	2,3	9,8	-
Hallwilersee	2,5	5	6,9	8,1	7,2	8,6	6,8	7,0	15,8	28,7	14,5	-	20,6	7,3	12,0	7,2

Tabelle 25

Phytoplanktonvolumen unter 1 cm², Phytoplanktonvolumen je Liter, maximaler Ertrag in mm³ und prozentualer Anteil am Phytoplanktonvolumen des Nanno- und Netzplanktons (Na bzw. Ne) der untersuchten Seen

	Phytoplanktonvolumen/l in mm ³		Phytoplankton- volumen		Maximaler Ertrag		Phytoplankton- volumen											
	Na	Ne	Total	Ne	Tiefe m	mm ³ /l	Total	Ne										
Brienzersee	19,7	39,4	25,0	0,8	0,3	1,0	3,0	2,0	5,0	5	7,5	5	1,8	0,4	2,2	60,7	29,3	100
Thunersee	8,5	9,9	9,3	0,7	1,0	1,7	1,2	2,0	3,2	7,5	0	0	0,8	1,3	2,0	36,9	63,1	100
Walensee	8,1	16,4	12,5	1,2	2,8	3,6	2,0	7,0	9,0	2,5	10	10	2,1	3,2	3,7	22,2	77,8	100
Sempacher- see	3,5	6,9	7,1	0,6	3,6	4,2	1,3	4,6	5,9	5	10	0 und 10	2,5	4,8	5,5	22,1	77,9	100
Zürichsee	5,4	14,0	8,7	1,0	0,9	2,2	1,1	2,6	3,7	5	0	7,5	1,4	2,3	3,0	29,5	70,5	100
Hallwiler- see	4,1	4,3	4,3	0,8	15,5	16,2	0,7	13,3	14,0	0	5	5	0,7	25,8	26,4	5	95	100
Pfäffiker- see	7,3	4,4	4,4	1,0	17,0	18,6	1,4	15,0	16,4	5	5	5	2,5	17,7	20,2	8,6	91,4	100

hatte. Im Gegensatz zu *Rhodomonas lacustris* scheint diese Art eher resistent zu sein gegenüber Sauerstoffschwund.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die vertikale Verteilung (vgl. Tab. 24) der Netz- und Nannoplankter keine wesentlichen Unterschiede aufzeigte. Dies ist begreiflich, wenn man bedenkt, dass das Nanno- wie das Netzplankton aus beweglichen und unbeweglichen, kugeligen, stäbchenförmigen und koloniebildenden, mit Gasvakuolen und Gallerten versehenen Formen zusammengesetzt ist. Ein Unterschied kann höchstens bei den unbeweglichen Planktonorganismen, infolge des unterschiedlichen spezifischen Gewichtes und der Sinkgeschwindigkeit, auftreten.

c) Die Biomasse

In Tab. 25 (vgl. auch Abb. 23 b) sind die durchschnittlichen Volumina je Liter sowie die maximalen Erträge und Phytoplanktonmassen unter 1 cm² des Nanno-, Netz- und Totalphytoplanktons zusammengestellt, wobei die Seen nach steigendem Trophiegrad geordnet wurden.

Wie zu erwarten war, wiesen der *Pfäffiker-* und *Hallwilersee* die grössten durchschnittlichen Litervolumen und extreme Höchstwerte auf.

Auffallend niedrig war der Litergehalt des *Zürichsees*. Ein ähnlicher Tiefpunkt der Biomasse war 1958 im *Zürichsee* (Abb. 6) und im *Pfäffikersee* im Jahr 1961 (Abb. 15) zu beobachten gewesen. Auch FINDENEKG [15] berichtet von ähnlichen «Atmungspausen» in der Planktonentwicklung der Kärntner Seen. Vermutlich liegt hier ein Zusammenhang mit der Erschöpfung der Nährstoffe in der Produktionsschicht vor. Der durchschnittliche Litergehalt des *Nannoplanktons* war in allen untersuchten Seen klein und bewegte sich in schwachen Schwankungen zwischen den Werten von 0,6 bis 1,2 mm³/l. Das durchschnittliche Litergewicht des Totalphytoplanktonvolumens wurde demnach durch die teilweise sehr hohen Netzplanktonvolumen verursacht. Nur im *Brienzer-* und im *Zürichsee* war das mittlere Nannoplanktonvolumen je Liter etwas grösser als dasjenige des Netzplanktons, was wohl auf die grossen Unterschiede der Halbwerttiefen der Phytoplanktontypen zurückzuführen ist (vgl. Tab. 25, Kolonne Halbwerttiefen). Der durchschnittliche Litergehalt lag, mit Ausnahme des *Zürichsees*, in guter Korrelation zum Trophiegrad, das heisst zum Nährstoffgehalt der produzierenden Schicht, was auch den Feststellungen von FINDENEKG [15] und RUTNER [60] entspricht.

Die Mächtigkeit der Produktionsschicht, die in den verschiedenen Seetypen stark variieren kann, kam in der Planktonmasse unter 1 cm² der untersuchten Seen zum Ausdruck (Tab. 25, Abb. 23). Der *Brienzersee* zum

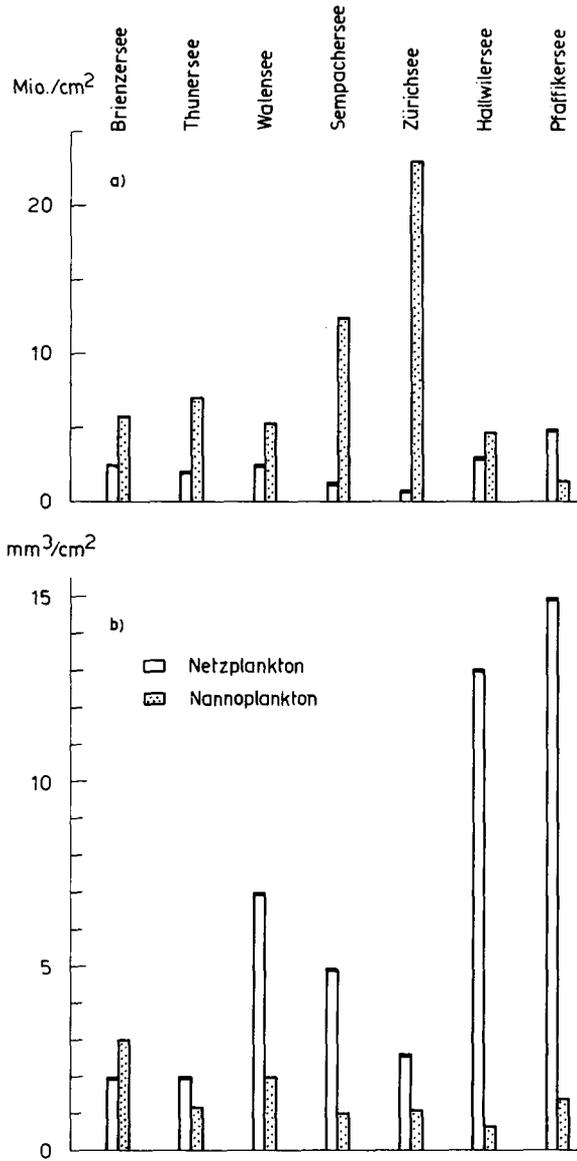


Abbildung 23 a und b

Netz- und Nannoplankton der untersuchten Seen. a) Individuenzahlen in Mio/cm². b) Biomasse in mm³/cm².

Beispiel hatte trotz kleinstem Litergehalt eine grössere Biomasse als der Zürichsee und der Thunersee, und der Walensee – aus dem gleichen Grund – eine höhere als der Sempachersee.

Das Nannoplankton erreichte im *Brienzersee* ($3 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$) die stärkste, im *Hallwilersee* ($0,7 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$) die geringste Biomasse.

Gesetzmässigkeiten für die Entwicklung der beiden Planktontypen hinsichtlich «Fruchtbarkeit und Mächtigkeit der Produktionsschicht» analog zum Totalplankton können aus diesen wenigen Zahlen nicht herausgelesen werden, obschon man vom Brienzer- und Walensee den Eindruck gewinnt, dass die Masse des Nannoplanktons zur Sommerszeit in oligotrophen Seen grössere Werte aufweist als in den eutrophen Seen; doch müsste das zuerst in weiteren Untersuchungen abgeklärt werden. Fest steht dagegen, dass zur Zeit der Probenahme das Netzplankton, mit Ausnahme des Brienzersees, wo das Nannoplankton gut 60% ausmachte, sowohl in den oligo- als auch in den eutrophen Seen dominierte (vgl. auch die Prozentzahlen in Tab. 25). Ursache dafür war die starke Blualgenentfaltung in den eutrophen, warmen und das Vorherrschen der grösseren Kieselalgen in den oligotrophen, kühleren Seen. Doch war das Nannoplankton, mit Ausnahme des Hallwilersees, in den untersuchten Seen prozentual so stark vertreten, dass es bei der Erfassung der Biomasse nicht hätte vernachlässigt werden können.

F. Schlussbemerkungen

I. Nannoplankton und Zusammensetzung des Phytoplanktons

Im Laufe der Untersuchungen wurden unter andern aus folgenden Gattungen wichtige Vertreter des Nannoplanktons gefunden: *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, *Phacotus*, *Chlorella*, *Coccomyxa*, *Erkenia*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Rhodomonas*, *Cryptomonas*, *Katablepharis*, *Gymnodinium*.

Während im ganzen durchschnittlich meistens doppelt so viele Nannoplanktonformen bestimmt wurden, wurden in dieser Arbeit ungefähr gleich viele Netz- und Nannoplanktonorganismen für die *quantitative* Auswertung berücksichtigt. Oft gab es unter den Nannoplanktern Organismen, die den Biotop ausgezeichnet charakterisierten, zum Beispiel *Stelixomonas dichotoma*: kalt-stenotherm, oligotroph (Brienzersee); *Chrysolynos planctonicus*: kalt-stenotherm, oligotroph (Walensee); *Diceras chodatii*: oligotroph (Brienzersee, Thunersee); *Oscillatoria obliqueacuminata*: warm-stenotherm, eutroph (Hallwilersee, Zürichsee, auch Untersee); *Planctomyces bekefii*: warm-stenotherm, eutroph (Hallwilersee, Zürichsee).

Daraus geht hervor, dass das Nannoplankton bei limnologischen Untersuchungen, wenn auch nicht immer quantitativ, doch wenigstens *qualitativ* berücksichtigt werden sollte, da es einen wesentlichen Teil einer Plankton-

gemeinschaft ausmachen kann, und es gerade unter dem Nannoplankton oft sehr charakteristische Formen gibt, die einen See als Lebensraum gut zu kennzeichnen vermögen.

2. Nannoplankton und Biomasse

Versucht man, unsere Resultate einigermaßen vergleichbaren Biomassewerten aus anderen Arbeiten gegenüberzustellen, so fällt auf, dass der Volumenanteil bzw. die Biomasse des Nannoplanktons zum gesamten pflanzlichen Plankton in den von uns bearbeiteten Seen eher gering ist, dass dagegen der absolute Biomassegehalt pro Flächeneinheit höher liegt. Im Jahre 1958 machte das Nannoplankton des Zürichsees durchschnittlich 5,9%, im Jahre 1959 9,0% des gesamten Phytoplanktons aus; der Durchschnitt des Pfäffikersees betrug 14%, und die einmalige Untersuchung der übrigen Seen ergab einen Anteil von 18%.

Im Lunzer Untersee hingegen war die jährliche Nannoplanktonmasse dreimal grösser als jene des Netzplanktons [54]. In den ostalpinen Seen wurde sozusagen reines Nannoplankton, vor allem kleine Cyclotellen, gefunden, während Netzformen, wie grössere Diatomeen, stark zurücktraten [56]. GRIM bezeichnete den Bodensee noch als Cyclotellensee [21].

In den einzelnen Kärntner Seen [15] herrschten hauptsächlich Cyclotellen vor, in anderen bestimmten *Oscillatoria rubescens* und *Ceratium hirundinella* das Bild. Durchschnittlich 10% Nannoplanktonanteil ergaben einmalige Untersuchungen an 6 oberitalienischen Seen [59].

Besonders eindrücklich sind die interessanten Resultate von Untersuchungen an hochalpinen Seen Österreichs durch RODHE [51], wo das Nannoplankton den Hauptanteil der Biomasse (z. B. im Schwarzsee 97%) ausmachte. RUTTNER [58] betont in den Untersuchungsergebnissen des Sundamaterials, dass die meisten pflanzlichen Vertreter zum Nannoplankton gehören. Nahezu 40% Volumenanteil erreichte das Nannoplankton im schwedischen See Mälaren [76].

Zu diesen Beispielen sei bemerkt, dass erstens das Netz- und Nannoplankton nicht immer getrennt berücksichtigt worden war, zweitens die Resultate von zeitlich und zahlenmässig unterschiedlichen Untersuchungen herstammten und dass zudem, je nach Gutdünken der Autoren, gewisse Grenzformen noch zum Nannoplankton gerechnet wurden, andere wieder nicht.

Dadurch und durch andere ungleiche Voraussetzungen und Durchführungen der vorerwähnten Arbeiten wird der Vergleich natürlich erschwert. Man kann sich beispielsweise fragen, ob Ergebnisse von ein-

maligen Untersuchungen überhaupt mit durchschnittlichen Jahreszahlen verglichen werden dürfen, besonders wenn man berücksichtigt, wie gross allein die Schwankungen der Biomasse von Probe zu Probe sein können (vgl. Min./Max. Zürichsee-Pfäffikersee, S. 284), und wie sehr das Verhältnis zwischen Netz- und Nannoplankton ändert, je nachdem man einen Organismus noch zu einer oder anderen Gruppe zählt (vgl. *Coelosphaerium kützingianum* im Sempachersee, das rund 48% des Gesamtvolumens bestreitet. In unseren Untersuchungen als Netzplankter behandelt, könnte man es auch als Nannoplankter berücksichtigen). Äusserst vorsichtig sollte man sein bei klimatisch und ökologisch vollständig verschiedenen Seen (z. B. Tropenseen der Sundainseln oder der durch Brackwasser beeinflusste See Mälaren). Wenn wir aus den Zahlen unserer Untersuchungen im Vergleich zu den anderen Arbeiten trotzdem allgemeine Schlüsse zu ziehen versuchen, so nur mit Vorbehalt und in Form von Vermutungen, welche in weiteren Untersuchungen noch gründlicher abgeklärt und bewiesen werden müssen.

Die am Anfang dieses Abschnittes genannten, zum Teil auffallend grossen Unterschiede bezüglich Nanno- und Netzplankton in den verschiedenen Seen werden vor allem durch die artenmässige Zusammensetzung bestimmt. In den Seen unseres Gebietes entwickeln sich häufig koloniebildende, grössere Kieselalgen wie *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa* und *Tabellaria fenestrata*. Oft entstehen, vor allem in den eutrophen Seen, Massenfaltungen von Blaualgen wie *Microcystis flos-aquae*, *Oscillatoria rubescens* und *Aphanizomenon flos-aquae*, die durch ihre grossen Volumina die Biomasse eines Sees ausschlaggebend erhöhen können (z. B. Pfäffikersee, 28. 7. 61: *Aphanothece clatrata* var. *brevis* $12,5 \text{ mm}^3/\text{cm}^2 = 250600 \text{ Kolonien}/\text{cm}^2 = 77\%$ der gesamten Phytoplanktonmasse; 11. 10. 61: *Aphanizomenon flos-aquae*: $44,9 \text{ mm}^3/\text{cm}^2 = 8,3 \text{ Mio. Fäden}/\text{cm}^2 = 96,6\%$. Zürichsee, 2. 2. 59: *Oscillatoria rubescens*: $68,7 \text{ mm}^3/\text{cm}^2 = 1,8 \text{ Mio. Fäden}/\text{cm}^2 = 99,4\%$). Während diese grossen Formen somit schon mit relativ kleinen Individuenzahlen beträchtliche Biomasse (vgl. auch die grösste einzellige Phytoplanktonform des Süsswassers: *Ceratium hirundinella*, die mit nur 24.200 Individuen schon eine Biomasse von $1,4 \text{ mm}^3$ formt) ausbilden, vermögen die Nannoplankter nicht einmal zu Zeiten riesiger Volksdichten annähernd ähnliche Biomassen zu erreichen, auch dann nicht, wenn Vegetationsfärbungen und auffallend niedrige Sichttiefen das Gegenteil erwarten liessen (vgl. Zürichsee, 5. 8. 58: *Chlorella pyrenoidosa* $85,8 \text{ Mio.}/\text{cm}^2 = 1,2 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$; 3. 3. 59: *Stephanodiscus hantzschii* $37 \text{ Mio.}/\text{cm}^2 = 6,7 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$).

Nach diesen Hinweisen über die Biomasse des Netz- und des Nannoplanktons ist es begreiflich, dass in Seen, wo koloniebildende Kieselalgen und vor allem grosse Blaualgen vorherrschen – erfahrungsgemäss ist das häufig in den *eutrophen Seen* der mitteleuropäischen Region der Fall – die prozentuale Biomasse des Nannoplanktons im Laufe des Jahres oft bis auf Bruchteile von Prozenten zurückgedrängt werden kann (z. B. war der Anteil des Nannoplanktons im Zürichsee am 8. I. 58: 0,8%, am 14. IO. 58: 0,8%, am 17. 2. 59: 0,4%, am 29. 9. 59: 0,1%, am 8. 12. 59: 0,7%, und im Pfäffikersee am 12. 9. 61: 0,4%). Daneben aber kann je nach der Zusammensetzung des Planktons eine Hochproduktion von beinahe reinem Nannoplankton eintreten, die jedoch nie die eindrucklichen Biomassen, welche Netzplankter zu bilden vermögen, erreicht (vgl. Pfäffikersee 23. 3. 61: Nannoplankton (Cryptophyceen und *Stephanodiscus hantzschii*) $7,2 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ (= 98,5%); 11. IO. 61: Netzplankton (fast ausschliesslich *Aphanizomenon flos-aquae*) $45,9 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ (= 99%). Zürichsee: 3. 3. 59: Nannoplankton (*Stephanodiscus hantzschii*) $7,8 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ (= 42,3%), 17. 2. 59: Netzplankton (*Oscillatoria rubescens*) $68,9 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$ (= 99,6%). In *oligotrophen Seen* Mitteleuropas hingegen scheint das Nannoplankton das Netzplankton meistens um ein Mehrfaches an Biomasse zu übertreffen (vgl. Lunzer Untersee, ostalpine Seen). Die grösseren, koloniebildenden Kieselalgen, aber auch Blaualgen des Netzplanktons treten in auffallend kleiner Zahl auf oder finden sich überhaupt nicht in den Artenlisten. Ausdrücklich erwähnt seien nochmals die Untersuchungsergebnisse RODHES [51] für hochalpine Seen in Österreich, wo allerdings neben einer extremen Nährstoffarmut auch die für solche Seen typischen tiefen Dauertemperaturen die Auslese der Planktonorganismen bestimmte. In unserer Vergleichsreihe wies der noch am ehesten als oligotroph zu bezeichnende Brienersee, als einziger eine Nannoplanktonmenge auf (60%), die grösser war als das Netzplankton, und zwar zu einer Jahreszeit, wo in den eutrophen, wärmeren Seen die Blaualgen des Netzplanktons vorherrschten.

Diese Erläuterungen erwecken den Eindruck, dass die Nannoplankter im Vergleich zu den Netzformen des Phytoplanktons in verschiedenen extremen Lebensbedingungen, wie zum Beispiel in stark oligotrophen Seen, überwiegen, während sie in den eutrophen Seen durch das gehäufte Auftreten von Netzplanktern volumenmässig stark zurückgedrängt werden können. Dem ist entgegenzustellen, dass auch in extrem hypertrophen Gewässern – solche findet man allerdings häufiger unter Teichen als bei tiefen Seen – enorme Algenentwicklungen beobachtet werden können, die aus kleinem Nannoplankton bestehen [73].

Die Behauptung, dass ein Zusammenhang besteht zwischen extremen Umweltbedingungen und der Entwicklung von Nannoplankton (vgl. Abb. 24), wartet allerdings noch einer Bestätigung.

Diese Vermutung wird teilweise erklärt und unterstützt, wenn man die einzelnen Algengruppen hinsichtlich planktischer Nanno- und Netzplanktonformen miteinander vergleicht. Es gibt nämlich ganz allgemein viel mehr pflanzliche Nanno- als Netzplankter. Daher ist auch die Wahrscheinlichkeit verhältnismässig gross, dass unter extremen Bedingungen die Nannoplankter den Netzplanktern ökologisch überlegen sind.

Die meisten planktischen Blaualgen sind grössere Formen, die sich hauptsächlich in nährstoffreicherem und warmem Wasser in eindrucklicher Masse entfalten können. Die Euchlorophyceen und Euglenophyten bestehen zum grössten Teil aus Nannoplankton und ziehen im allgemeinen eutrophes Milieu vor. Eine bedeutende Anzahl dieser Formkreise entwickeln sich in auffallender Menge oft in extrem eutrophen Gewässern, meist kleineren Teichen und häufig in gedüngten Tümpeln. Ein grosser Prozentsatz der Chrysophyceen umfasst kleine Formen, die, um gut zu gedeihen, vorwiegend (abgesehen von den grösseren koloniebildenden Formen wie *Dinobryon*- und *Uroglena*arten) auf reines und eher kühles Wasser angewiesen sind. Die Diatomeen, die ungefähr gleich viele Nanno- und Netzplanktonarten aufweisen, reagieren ökologisch oft ganz unterschiedlich; viele Cyclotellen ziehen oligotrophes Wasser vor, *Stephanodiscus hantzschii* wiederum bildet Massenentfaltungen in eutrophen Seen, wie auch die meisten Netzformen unter den Kieselalgen. Die Planktonvertreter der Cryptophyceen, alles Nannoplankter, sind durch ökologische Spezialisten, aber auch durch Ubiquisten gekennzeichnet und können sowohl in eutrophen als auch in oligotrophen Seen zahlreich in Erscheinung treten. Die Peridineen, aus Netz- und grösstenteils Nannoplankton bestehend, sind ebenfalls ein ökologisch variierender Formkreis, der durch Spezialisten für verschiedene Wassertypen und -schichtungen hervortritt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Plankton der oligotrophen Seen unserer Regionen vor allem aus Nannoplanktern der Chrysophyceen, Diatomeen, Cryptophyceen und Peridineen gebildet ist. Die eutrophen Seen aber sind vorwiegend von Netzplanktern aus den Gruppen der Diatomeen und Blaualgen besiedelt. In den Gewässern jedoch, die noch stärker mit organischen Stoffen belastet sind, treten vorwiegend Nannoplankter aus den Gruppen der Euchlorophyceen und Euglenophyten auf (Abb. 24).

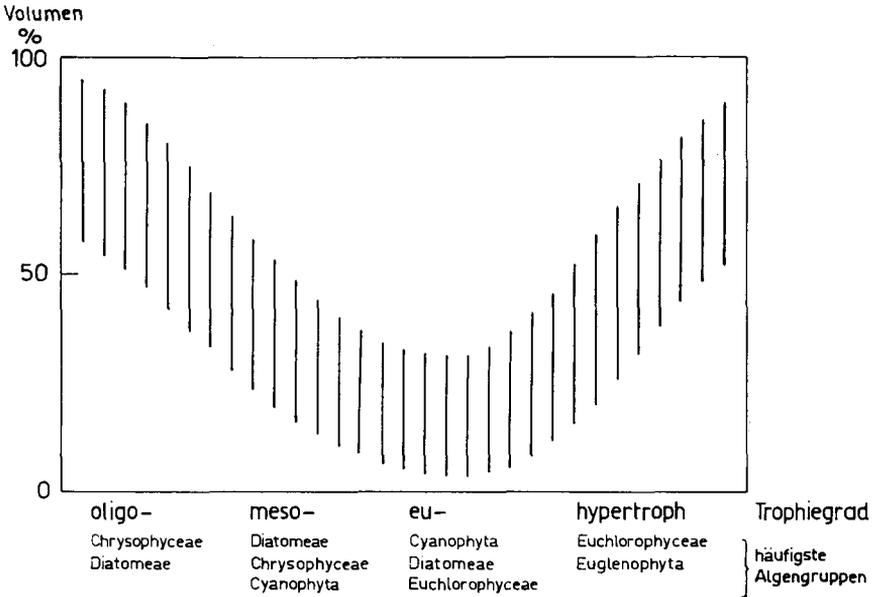


Abbildung 24

Prozentualer Biomasseanteil des Nannoplanktons am gesamten Phytoplankton in Gewässern von verschiedenem Trophiegrad (schematische Darstellung).

3. Nannoplankton und Individuenzahlen

Wie die vorstehenden Ausführungen zeigen, sind die prozentualen Anteile der Biomasse des Nanno- und des Netzplanktons zumindest in den untersuchten Seen stark verschieden, meistens zugunsten des Netzplanktons. Vom praktischen Standpunkt aus läge deshalb der Schluss nahe, dass zur Feststellung der gesamten Biomasse das Nannoplankton manchmal überhaupt vernachlässigt werden könnte. Werden jedoch die absoluten Werte dieser Planktontypen in Betracht gezogen, so erkennt man, dass neben einem verhältnismässig stark entwickelten Netzplankton ebensogut eine an Individuen, aber auch an Volumen bzw. Biomasse nicht unbedeutende Menge Nannoplankton vorhanden sein kann (z. B. Hallwilersee 28. 7. 61: Nannoplankton 5% Volumenanteil = 4,8 Mio. Individ./cm² = 0,7 mm³/cm², Netzplankton 95% Volumenanteil = 2,9 Mio. Individ./cm² = 14,0 mm³/cm²; Zürichsee 7. 7. 59: Nannoplankton 5% Volumenanteil = 2,2 Mio. Individ./cm² = 0,5 mm³/cm², Netzplankton 95% Volumenanteil = 0,6 Mio. Individ./cm² = 7,3 mm³/cm²; 13. 5. 59: Nannoplankton 5% = 8,6 Mio. Individ./cm² = 8,8 mm³/cm²).

In den ostalpinen Seen bestand der überwiegende Anteil des Planktons

aus Nannoformen, während das Netzplankton nur in bedeutungslosen Zahlen vorhanden war. Diese Feststellung allein ist indessen unvollständig. So finden wir sowohl im Zürich- als auch im Pfäffikersee und in den übrigen untersuchten Seen trotz überwiegendem Netzplankton für den Nannoanteil immer noch um ein Mehrfaches höhere Maximalliterzahlen und -biomassewerte. Im Lunzer Untersee zum Beispiel erreichte die häufigste Diatomee *Cyclotella comta* während der Jahre 1911–1913 die Höchstzahl von gut 600000 Indiv./l, was überhaupt die grösste beobachtete Dichte darstellte [51]. Die höchste Biomasse, die bei den Untersuchungen der ostalpinen Seen Österreichs [52] beobachtet wurde, war $4,0 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$. Im Zürichsee betrug die grösste Dichte, die eine Alge erreichte, 129 Mio./l (*Chlorella pyrenoidosa*), und die grösste Nannoplanktonmasse ($7,8 \text{ mm}^3/\text{cm}^2$) wurde ebenfalls im Zürichsee festgestellt. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass das Zooplankton, welches sich vorwiegend von Nannoplankton ernährt, in eutrophen Seen zahlreicher vorhanden ist als in oligotrophen, obgleich hier das Nannoplankton im Vergleich zum Netzplankton volumenmässig stark zurücktritt.

Dass aber weder prozentuale Volumenzahlen noch absolute Biomassewerte allein genügen, um die Bedeutung des Nannoplanktons zu beurteilen, kann anhand weiterer Beispiele dieser Untersuchung und aus Literaturangaben gezeigt werden. Betrachten wir die Individuenzahlen des Nannoplanktons, so stellen wir fest, dass sie diejenigen des Netzplanktons oft um ein Vielfaches übersteigen. So waren im Zürichsee die Individuenzahlen des Nannoplanktons in $\frac{3}{5}$ von rund 50 Probeserien höher als diejenigen des Netzplanktons. Durchschnittlich waren sie im Zürichsee fünfmal und im Pfäffikersee viermal grösser als die Netzplanktonzahlen (vgl. auch Abb. 17, 23 b).

Beim Vergleich von Individuenzahlen ist allerdings zu bemerken, dass mit dem Begriff «Individuen» nicht immer einzellige Algen, sondern auch mehrzellige Formen bezeichnet werden, wie zum Beispiel *Microcystis*- und *Coelosphaerium*kolonien oder Blaualgenfäden, darunter *Oscillatoria rubescens* und *Oscillatoria obliqueacuminata*. Trotzdem glauben wir, dass es wiederum nicht richtig wäre, die durchschnittliche Zellzahl eines Fadens zu berechnen und diese einzelnen Zellen als Individuen zu betrachten. *Oscillatoria rubescens* zum Beispiel ist eine langsam wachsende Form, so dass diese Zellzahlen eine zu grosse Teilungsaktivität dieser Alge vortäuschen würden im Gegensatz zu den Individuenzahlen der kleinen Flagellaten. Waren letztere in grosser Anzahl vorhanden, zeigten sie nämlich meistens auch eine grosse Teilungsaktivität, was besonders schön in der O_2 -

Produktion und in der Zehrung von Nährstoffen sichtbar wurde (vgl. Tabelle 16).

Ferner kann es auch Fälle geben, in denen es angezeigt ist, die Bedeutung des Nanno- gegenüber dem Netzplankton anhand der Individuenzahlen und nicht der Biomassewerte zu beurteilen. Nach einer Ruhepause in den Sommermonaten 1958 stiegen die Individuenzahlen von *Oscillatoria rubescens* Ende August stark an, fielen jedoch vierzehn Tage später wieder stark zurück. Möglicherweise ist dieser Rückgang auf die plötzliche Massenentfaltung der feinen, fädigen Blaualgen *Oscillatoria obliquacuminata* zurückzuführen, die im September 3,4 Mio. Fäden/cm² und eine Höchstliterzahl von 3,8 Mio./l in 2,5 m erreichte gegenüber rund 16000 Fäden/cm² der *Oscillatoria rubescens* (vgl. Abb. 2). Anhand der Biomasse käme die Aktivität und die Konkurrenzfähigkeit dieser feinen Blaualgen nicht zum Ausdruck (*Oscillatoria rubescens* 5,9 mm³/cm², *Oscillatoria obliquacuminata* 3,1 mm³/cm²).

Die Bedeutung der Individuenzahl gegenüber der Biomassezahl wird auch in der starken Entfaltung der « μ -Alge» *Chlorella pyrenoidosa* im Juli 1961 klar, wo diese Form im Zürichsee, in der Schicht von 0–7,5 m ziemlich gleichmässig verteilt, einen durchschnittlichen Litergehalt von 23 Mio./l erreichte und unter 1 cm² 21,3 Mio. Individuen entwickelt hatte. Durch diese Volksdichte wurde die Sichttiefe auf 1,9 m herabgesetzt. Diese kleine Alge schwächte durch ihre hohe Populationsdichte die Lichtintensität der oberen Wasserschichten in bedeutendem Masse, was man sich mit Biomassezahlen nie vorstellen könnte. Der Biomasseanteil betrug nämlich nur 2,4%, während *Oscillatoria rubescens* mit 55% nur 118000 Fäden/cm² aufwies.

4. Nannoplankton – Stoffkreislauf

Bei diesen Untersuchungen konnten leider nur statische Eigenschaften der Organismen, wie Individuenzahlen und Biomasse, berücksichtigt werden. Im Abschnitt über Nannoplankton Pfäffikersee-Stoffkreislauf (S. 276 ff.) wurde jedoch anhand chemischer Daten auf die Bedeutung des Nannoplanktons für den Stoffkreislauf in einem See hingewiesen. Um seine Wichtigkeit für das limnische Geschehen voll zu erfassen, müsste man beispielsweise seine Dynamik im Vergleich zum Netzplankton beobachten. Dies hat RODHE [50] für den Erkensee mittels der C₁₄-Methode gemacht und festgestellt, dass die Aktivität bzw. die Teilungsgeschwindigkeit der kleinen Organismen (allerdings rechnete er dazu solche bis

zu 100 μ Grösse) um ein Vielfaches grösser ist als beim pflanzlichen Netzplankton. Ferner wäre es ausserordentlich interessant, die Abbaugeschwindigkeit dieser kleinen Organismen zu ermitteln, ferner, in welcher Tiefe diese hauptsächlich stattfindet. GOLTERMANN [20] hat im Labor Abbauersuche durchgeführt und unter anderem festgestellt, dass Phosphate, aber auch Kieselsäure und Nitrate innerhalb kurzer Zeit wieder freigesetzt werden können.

Man kann sich gut vorstellen, dass besonders die kleinen, zarten Flagellaten und « μ -Algen» (weniger die kleinen Kieselalgen) durch ihre grössere Aufbau- und Abbaugeschwindigkeit und kleinere Sinkgeschwindigkeit den Stoffumsatz vor allem eines tieferen Sees im Epi- und Metalimnion stärker beeinflussen als das Netzplankton, dies ganz besonders auch in Zeiten der Teilzirkulationen. Die grösseren Formen indessen, die relativ langsam wachsen, schneller absinken und für ihren Abbau mehr Zeit benötigen, wirken in Zeiten ihrer Höchstentfaltungen durch Nährstoffentzug und Abgabe von Stoffwechselprodukten auf Epi- und Metalimnion ein, dann aber sind sie hauptsächlich mit dem Zooplankton zusammen an der Schlamm- und Sedimentbildung beteiligt. Ein grosser Teil der mineralisierten organischen Stoffe, die mit den Vollzirkulationen wieder ins Pelagial gelangen, stammt vermutlich von pflanzlichen Netzplanktern.

In ihrem dynamischen Verhalten stehen wahrscheinlich viele kleine Nannoplankter den Bakterien näher als dem Netzplankton.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Nannoplankton sowohl für die qualitative Zusammensetzung des Planktons, für die Biomasse, die Produktion und für den gesamten Stoffkreislauf eines Sees von Bedeutung ist und bei Planktonuntersuchungen nicht vernachlässigt werden darf.

G. Zusammenfassung

Das pflanzliche Nannoplankton des Zürichsees und Pfäffikersees wurde im Laufe einer zweijährigen bzw. einjährigen Periode qualitativ und quantitativ untersucht, und zwar besonders im Vergleich zum Phytonetzplankton. Daneben liegen Resultate einmaliger Untersuchungen von sechs Seen mit verschiedenem Trophiegrad vor (oligotroph: Brienzer-, Thuner- und Walensee; eutroph: Sempacher-, Hallwiler- und Zürichsee).

Die Organismen wurden mit Hilfe der Zentrifugenmethode nach LOHMANN lebend bestimmt. Die quantitative Bestimmung erfolgte mit der

Auszählmethode nach UTERMÖHL im Umkehrmikroskop und durch Berechnung der Biomasse nach LOHMANN. Im Laufe der Untersuchungszeit wurden in den Proben des Zürichsees rund 130 Phytoplankter, davon etwa 70–80 Nannoplankter bestimmt. Rund 40 Formen, fast durchwegs Nannoplankter, wurden für den unteren Zürichsee neu gefunden. Im Pfäffikersee wurden 80 Formen, davon ungefähr 40 Nannoplankter, und in der einmaligen Untersuchung der obenerwähnten sechs Seen etwa 100 Phytoplankter (davon etwa 60 Nannoplankter) beobachtet (pro See durchschnittlich 30–40). Der Artenbestand des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton war in den oligotrophen Seen prozentual höher als in den eutrophen.

Die jahreszeitliche und vertikale Verteilung der Organismen ist in Tabellen und Abbildungen festgehalten.

Ferner wurden die Individuenzahlen, die Biomasse und der prozentuale Volumenanteil des Netz- und Nannoplanktons tabellarisch und graphisch dargestellt und diskutiert. Fast in allen untersuchten Seen waren die Individuenzahlen des Nannoplanktons wesentlich grösser als die Zahl der Netzplankter. Die Biomasse des Nannoplanktons trat im eutrophen Zürichsee gegenüber dem Netzplankton, das zum grossen Teil durch *Oscillatoria rubescens* beherrscht wurde, zu gewissen Zeiten stark zurück. Während der Untersuchungsjahre hat sie nie 50% der totalen Biomasse erreicht. Im eutrophen Pfäffikersee bestand das Frühjahrs- und Frühsommerplankton sozusagen aus reinen Nannoformen, das Sommer- und Herbstplankton aus reinen Netzformen. Die absolute Biomasse des Netzplanktons war jedoch um ein Mehrfaches grösser. In den anderen, nur einmal untersuchten Seen spielten die Formen des Nannoplanktons zur Zeit der Untersuchung bezüglich der Biomasse nur im oligotrophen Brienzersee eine wichtige Rolle.

Anhand der Untersuchungsergebnisse und der Arbeiten anderer Autoren gelangte man zur Vermutung, dass der prozentuale Biomasseanteil des Nannoplanktons in oligotrophen Seen Mitteleuropas im allgemeinen grösser, in eutrophen Seen kleiner ist als derjenige des Netzplanktons. Hingegen scheint die absolute Biomasse des Nannoplanktons in oligotrophen Seen kleiner zu sein als in eutrophen.

Aus Vergleichen zwischen Individuenzahlen, Biomasse und chemischen Analysenergebnissen aus dem Pfäffikersee zu schliessen, ist die Aktivität des Nannoplanktons gegenüber dem Netzplankton verhältnismässig gross, ebenso seine Wirkung auf den gesamten Stoffhaushalt des Sees.

Für die Charakterisierung der Biozönose sowie für die Berechnung der

Planktondichte, der Biomasse, der Produktion und des Stoffkreislaufs eines Sees ist das Nannoplankton von wesentlicher Bedeutung. Es sollte deshalb bei Planktonuntersuchungen sowohl qualitativ als auch quantitativ berücksichtigt werden.

Summary

The phytoplankton of the Lakes of Zurich and Pfäffikon was examined for a period of two years (1958 and 1959) and one year (1961) respectively both qualitatively and quantitatively in relation to the phytonetplankton. Moreover the results of planktonic samples of six lakes (autumn 1961) of different trophic degrees (oligotrophic: Lakes of Brienz, Thun and Walen; eutrophic: Lakes of Sempach, Hallwil, Zurich), were dealt with in this Paper.

The organisms were identified qualitatively by the centrifugal method of LOHMANN [36] from living material, quantitatively by the counting method and inverted microscope of UTERMÖHL [74] and by calculating the volume of the different organisms, the biomass or standing crop respectively [35]. In Tables 3 and 4 unfiltered and filtered samples are compared, to demonstrate the enormous loss of algae by filtration.

During the investigations important representatives of nannoplanktonic organisms were found from the following genera (Plates 1-5): *Oscillatoria*, *Chlamydomonas*, *Phacotus*, *Chlorella*, *Coccomyxa*, *Erkenia*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Rhodomonas*, *Cryptomonas*, *Katablepharis*, *Gymnodinium*. We often observed nannoplankton organisms which are characteristic of the biotop; e. g. *Stelexomonas dichotoma*: cold-stenothermic oligotrophic (Lake of Brienz); *Chrysolykos planctonicus*; cold-stenothermic, oligotrophic (Lake of Walen); *Diceras chodati*: oligotrophic (Lake of Brienz and Thun); *Oscillatoria obliqueacuminata*: warm-stenothermic, eutrophic (Lake of Hallwil and Zurich).

About 130 phytoplankton species, 80 of them representing nannoplankters, were recorded in the Lake of Zurich. About 40 species, almost without exception nannoplanktonic forms, were named for the first time in the Lake of Zurich, though it is one of the most thoroughly investigated lakes, both biologically and chemically (Table 6). In the Lake of Pfäffikon about 80 species, 40 of them nannoplanktonic and in the six lakes mentioned above about 100 phytoplankton organisms (60 of them nannoplanktonic) were observed (Table 20). The percentage of nannoplankton species was rather higher in oligotrophic than in eutrophic lakes. The qualitative results show

on the whole that the nannoplankton constitutes an essential part of the algal plankton community, both numerically and as ecological indicators.

The vertical distribution of some net- and nannoplankton organisms are plotted in Figures 13, 21 and 22. The nannoplankters show no special characteristics in comparison with the netplankton organisms (Table 24).

In nearly all samples examined the numbers of nannoplankton individuals per unit of volume were much greater than those of netplankton (Figs. 17 and 23a). The nannoplankton standing crop in the eutrophic Lake of Zurich was insignificant in comparison with its netplankton. The characteristic and big blue-green alga *Oscillatoria rubescens* often dominated the net- and nannoplankton (Figs. 6 and 7). The standing crop of the nannoplankton therefore never reached 50% of the total phytoplankton (Figs. 7, 9 and Table 9). Notable are the following peaks of nannoplanktonic developments (Figs. 6, 7 and Tables 8, 9), namely in April 1958 by *Rhodomonas lacustris* and *Cryptomonas ovata*, at the end of May by *Cryptomonas ovata*, in the beginning of August by *Chlorella pyrenoidosa* and *Coccomyxa minor*, at the end of September by the little blue-green alga *Oscillatoria obliqueacuminata* and in February 1959 by *Stephanodiscus hantzschii*. See also Figs. 2-5, where the seasonal abundance of the most important species and groups are plotted in number of individuals below a unit of area.

In the highly eutrophic Lake of Pfäffikon a great amount of pure nannoplankton was exhibited in spring and early summer. The plankton of summer and autumn represents pure netplankton (Figs. 15-17, Tables 13, 14). The absolute biomass amount however was several times larger than the nannoplanktonic (Fig. 15 and Table 13). The spring development of algae consisted especially of *Rhodomonas lacustris* and *Stephanodiscus hantzschii*, the peaks of netplankton in summer and autumn were caused by the blue-green algae *Aphanothece clathrata* var. *brevis* and *Aphanizomenon flos-aquae* (Figs. 11 to 13, 16 and 18). The great nannoplankton development in spring had a considerable influence on the amount of the chemical compounds dissolved (Table 16) and support the idea that nannoplankters are biologically much more active than the netplankton.

Comparing the Lake of Zurich with the Lake of Pfäffikon we can say that the average standing crop in the one does not differ significantly from that of the other. The average biomass of the Lake of Zurich amounted to 12,0 mm³/cm², in the year 1958 and to 14,1 mm³/cm² for the Lake of Pfäffikon in 1961. The difference between the lowest and the highest standing crop varied in both lakes in the same limits (Lake of Zurich: 1,0-26,2 mm³/cm² in the year 1958 and 2,0-69,2 mm³/cm² in 1959; Lake of Pfäffikon: 0,8-67,2

mm³/cm² in 1961). They differed mainly in their rhythm of producing phytoplankton and in their forming nannoplankton. In the other six lakes mentioned the nannoplankton standing crop of the oligotrophic Lake of Brienz alone was significant, with a percentage of 60 (Fig. 23).

The results of the present papers and those of other authors [15, 21, 51, 54, 59 and 77] lead us to surmise that the percentage biomass of nannoplankton in the oligotrophic lakes of Middle Europe is generally higher than in the eutrophic lakes. Heavy algal developments formed of pure nannoplankton can be observed also in hypertrophic lakes. These facts suggest that there is a close relation between extreme environmental factors and the percentage of nannoplankton. The more extreme the environmental conditions are the greater is the percentage of nannoplankton in relation to the netplankton. This suggestion is supported by the fact that generally there are many more species of nannoplankton than of netplankton. The possibility therefore that under extreme environmental conditions more nannoplankton is produced than netplankton is relatively great. Furthermore, this fact can be explained by comparing the different algal groups with regard to the nannoplanktonic and netplanktonic organisms they produce. The algal plankton community of the oligotrophic lakes of our regions consists mainly of nannoplanktonic species of the groups of the Chrysophyceae, Diatomeae, Cryptophyceae and Peridineae. The eutrophic lakes, on the other hand, are inhabited primarily by netplankton organisms of the groups of the Cyanophyta and Diatomeae. And in the hypertrophic lakes again nannoplankton species of the groups of the Euchlorophyceae and Euglenophyta are particularly developed (Fig. 24).

For the characterization of the plankton bicoenosis, the plankton density, the biomass, the production and the metabolism of a lake the nannoplankton is all important. It ought not to be neglected therefore, both qualitatively and quantitatively, in any planktological examination of a lake.

LITERATURVERZEICHNIS

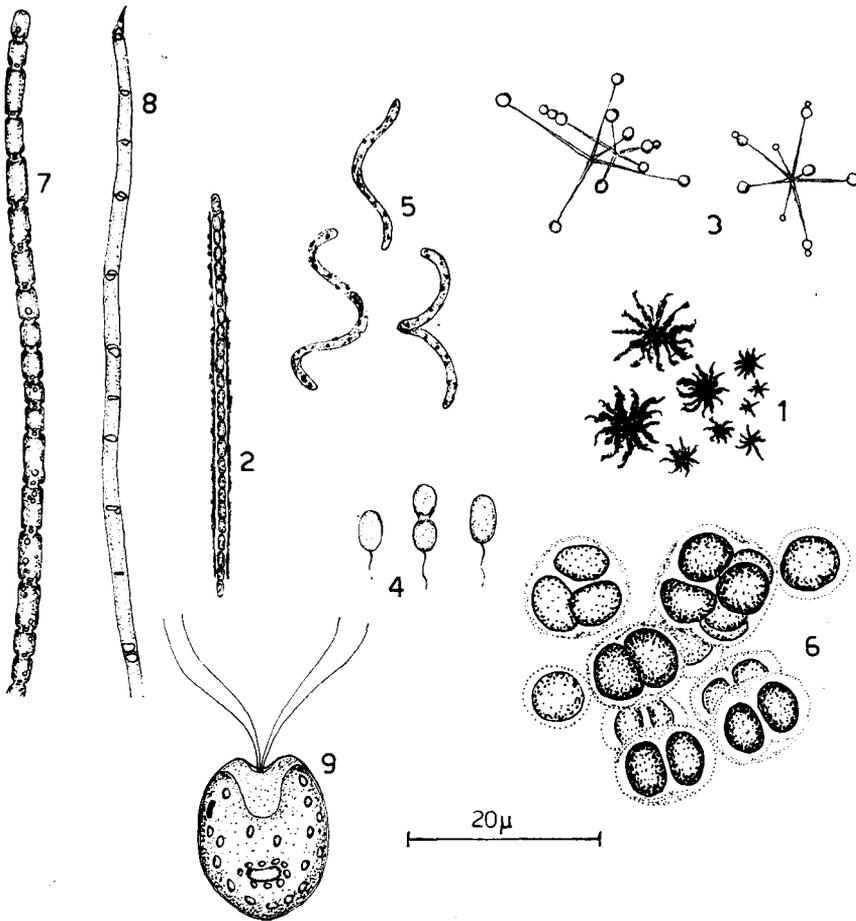
- [1] AMBÜHL, H., *Die Nährstoffzufuhr zum Hallwilersee*, Schweiz. Z. Hydrol. 22, 563–597 (1960).
- [2] AMBÜHL, H., *Die künstliche Belüftung des Pfäffikersees*, Verbandsber. VSA, Nr. 77/2 (1963).
- [3] BACHMANN, H., *Charakterisierung der Planktonvegetation des Vierwaldstättersees mittels Netzfängen und Zentrifugenproben*, Verh. Naturf. Ges., Basel 35, 148–167 (1923).

- [4] BACHMANN, H., *Hydrobiologische Untersuchungen am Rotsee*, Schweiz. Z. Hydrol. 5, 39–81 (1931).
- [5] BACHOFEN, R., *Stoffhaushalt und Sedimentation im Baldegger- und Hallwilersee*, Diss. Univ. Zürich, 118 S. (1960).
- [6] BALDINGER, F., *Das Hallwilersee-Projekt als Beispiel einer grosszügigen Seesanierung*, Schweiz. Z. Hydrol. 19, 18–36 (1957).
- [7] BALENTINE, D., *Comparison of the different methods of estimating nanoplankton*, J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 38, 129–148 (1953).
- [8] BORGOROV, B. G., *On the standardisation of marine plankton investigation*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 44, 621–624 (1959).
- [9] BOURRELLY, P., *Recherches sur les Chrysophycées*, Rev. algol. Mém. Hors-Série 1, 412 S. (1957).
- [10] BRAARUD, T., *Counting methods for determination of the standing crop of phytoplankton*, Cons. Intern. Explor. Mer 144, 17–20 (1958).
- [11] BRUTSCHY, A., *Das Plankton des Hallwilersees*, Mitt. Aargauischen Naturf. Ges. 12, 141–148 (1911).
- [12] CHRISTEN, H. R., *Limnologische Untersuchungen im Hauserseegebiet*, Schweiz. Z. Hydrol. 21, 19–108 (1959).
- [13] COSANDEY, F., *Etude hydrobiologique du Lac de Bret*, Schweiz. Z. Hydrol. 17, 1–86 (1955).
- [14] DU BOIS, A. M., und GEIGY, R., *Beiträge zur Ökologie, Fortpflanzungsbiologie und Metamorphose von Sialis lutaria L.*, Rev. suisse Zool. 42, 169–248.
- [15] FINDENEGG, I., *Untersuchungen über die Ökologie und die Produktionsverhältnisse des Planktons im Kärntner Seengebiet*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 43, 368–429 (1943).
- [16] FLÜCK, H., *Beiträge zur Kenntnis des Phytoplanktons des Brienzersees*, Schweiz. Z. Hydrol. 4, 1–70 (1928), 1092 S.
- [17] FOTT, B., *Algenkunde* (VEB Fischer-Verlag, Jena 1959), 482 S.
- [18] GEITLER, L., *Cyanophyceae, Rabenhorst's Kryptogamenflora*, Bd. 14 (Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1932), 1092 S.
- [19] GESSNER, F., *Hydrobotanik I* (1955) und *Hydrobotanik II* (1959), (VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin).
- [20] GOLTERMAN, H. L., *Studies on the cycle of elements in fresh water*, Acta Botanica Neerlandica 9, 1–58 (1960).
- [21] GRIM, J., *Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 39, 193–315 (1939).
- [22] GROBE, D., *Mehrjährige Untersuchungen am Zooplankton des Sempachersees*, Rev. suisse Zool. 65, 1–93 (1958).
- [23] HEUSCHER, J., *Vorläufiger Bericht über die Resultate einer Untersuchung des Walensees*, Schweiz. Fischereiztg. 1, Beilage 6 zu Nr. 25, 29–36 (1893).
- [24] HEUSCHER, J., *Der Sempachersee und seine Fischereiverhältnisse*, Schweiz. Fischereiztg. 3, Beilage 17 zu Nr. 2, 163–213 (1895).
- [25] HEUSCHER, J., *Thuner- und Brienzensee, ihre biologischen und Fischereiverhältnisse*, Schweiz. Fischereiztg. 2 (1901).
- [26] HUBER-PESTALOZZI, G., *Das Phytoplankton des Süsswassers*, Teil 1–5 in «Die Binnengewässer», Bd. 16 (E. Schweizerbartsche Verlagshandlung 1938–1961).
- [27] HUBER-PESTALOZZI, G., *Der Walensee und sein Plankton*, Schweiz. Z. Hydrol. 10, 1–120 (1946).

- [28] JÄRNEFELT, H., und THOMAS, E. A., *Beitrag zur Kenntnis des Planktons des Zürich-Obersees und des Zürichsees*, Vischr. Naturf. Ges. in Zürich 104, 403–408 (1959).
- [29] JAVORNICKY, P., *Die Revision einiger Methoden zum Feststellen der Qualität des Phytoplanktons*, Sci. Papers from Inst. Chem. Technology, Prague (1958).
- [30] JØRGENSEN, E. G., *Diatom periodicity and silicon assimilation*, Dansk Botanisk Arkiv, Vol. 17, Bd. 18, Nr. 1 (1957).
- [31] KELLER, R., *Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee*, Diss. (ETH, Zürich 1945), 1275.
- [32] KUHL, F., *Untersuchungen über das Zentrifugenplankton und das Netzplankton des Walcbensees und Kickelsees in den Jahren 1921 bis 1923*, Arch. Hydrobiol. Suppl. 6, 96–160 (1938).
- [33] LANTZSCH, K., *Studien über das Nannoplankton des Zugersees und seine Beziehung zum Zooplankton*, Z. wiss. Zool. 108, 631–692 (1914).
- [34] LEHN, H., *Einige Frühjahrsbefunde über die Isothermen-Phytoplankton-Relation im Bodensee*, Arch. Hydrobiol. 59, 1–25 (1963).
- [35] LOHMANN, H., *Untersuchungen zur Feststellung des vollständigen Gehaltes des Meeres an Plankton*, Wiss. Meeresuntersuch. Kiel, 10, 181 S. (1908).
- [36] LOHMANN, H., *Über das Nannoplankton und die Zentrifugierung kleinster Wasserproben zur Gewinnung derselben in lebendem Zustande*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 4, 1–38 (1911).
- [37] LOZERON, H., *La répartition verticale du plancton dans le lac de Zurich*, Diss. ETH, Zürich, 84 S. (1902).
- [38] LUND, J. W. G., *A simple counting chamber for nannoplankton*, Limnol. Oceanogr. 4, 57–65 (1959).
- [39] LUND, J. W. G., and TALLING, J. F., *Botanical limnological methods with special reference to the algae*, The. Bot. Rev. 23, 489–583 (1957).
- [40] LUND, J. W. G., KIPLING, C., and LE CREN, E. D., *The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting*, Hydrobiologia 9, 143–170 (1958).
- [41] MÄRKI, E., *Limnologie der schweizerischen Seen und Flüsse*, Schweiz. Z. Hydrol. 11, 650–707 (1949).
- [42] MESSIKOMMER, E., *Eine Planktoninvasion im Pfäffikersee*, Vischr. Naturf. Ges. in Zürich 92, 275–277 (1947).
- [43] MESSIKOMMER, E., *Weiterer Beitrag zur Planktonkunde des Pfäffikersees*, Schweiz. Z. Hydrol. 317–346 (1943).
- [44] MESSIKOMMER, E., *Die Algenflora des Zürichsees bei Zürich*, Schweiz. Z. Hydrol. 16, 27–63 (1954).
- [45] MINDER, L., *Biologisch-chemische Untersuchungen im Zürichsee*, Schweiz. Z. Hydrol. 3, 1–69 (1926).
- [46] MINDER, L., *Mangan speichernde Organismen im Hypolimnion des Zürichsees*, Verh. Internat. Verein. Limnol. 9, 303–307 (1940).
- [47] MINDER, L., *Der Zürichsee im Lichte der Seetypenlehre*, Neujahrsbl. Naturf. Ges. in Zürich, 83 S. (1943).
- [48] NYDEGGER, P., *Vergleichende limnologische Untersuchungen an sieben Schweizerseen*, Beitr. z. Geol. Schweiz, Serie B, Hydrologie Nr. 9, 80 S. (1957).
- [49] PASCHER, A., *Die Süßwasserflora*, H. 5, Chlorophyceae (1915), H. 4, Volvocales (1927) (Gustav Fischer Jena).

- [50] RODHE, W., *The primary production in Lakes: some results and restrictions of C₁₄-method*, Rapp. Cons. Expl. Mer 144, 122–128 (1958).
- [51] RODHE, W., *Sulla produzione di fitoplancton in laghi trasparenti di alta montagna*, Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 15, 21–28 (1962).
- [52] RODHE, W., VOLLENWEIDER, R. A. and NAUWERK, A., *The primary production and standing crop of phytoplankton, Perspectives in marine biology*, Symp. scrips int. of Oceanogr. 621 pp. (1956).
- [53] RUTTNER, F., *Über die Anwendung von Filtration und Zentrifugierung bei den planktologischen Arbeiten an den Lunzer Seen*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 2, 174–181 (1909).
- [54] RUTTNER, F., *Bericht über die Planktonuntersuchungen an den Lunzer Seen*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 6, 518–527 (1913/14).
- [55] RUTTNER, F., *Das Plankton des Lunzer Untersees, seine Verteilung in Raum und Zeit während der Jahre 1908–1913*, Internat. Rev. ges. Hydrobiol. 23, 1–138 und 161–287 (1929/30).
- [56] RUTTNER, F., *Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen*, Arch. f. Hydrobiol. 32, 167–319 (1937).
- [57] RUTTNER, F., *Die Methoden der quantitativen Planktonforschung*, Mikrosk. 3, 39–51 (1948).
- [58] RUTTNER, F., *Planktonstudien der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition*, Arch. für Hydrobiol. Suppl. 21, 1–274 (1952).
- [59] RUTTNER, F., *Einige Beobachtungen über das Phytoplankton Norditalienischer Seen*, Mem. Ist. Ital. Hydrobiol. 11, 73–111 (1959).
- [60] RUTTNER, F., *Grundriss der Limnologie* (3. Auflage, Verlag Walter de Gruyter u. Co., Berlin 1962), 332 S.
- [61] SCHRÖTER, C., *Die Schwebeflora unserer Seen*, Neujahrsbl. Naturf. Ges. in Zürich, 57 S. (1897).
- [62] SKUJA, H., *Taxonomie des Phytoplanktons einiger Seen in Uppland, Schweden*, Symbolae bot. Upsaliensis 9 (3) (1948), 399 S.
- [63] SKUJA, H., *Taxonomische und biologische Studien über das Phytoplankton schwedischer Binnengewässer*, Nova act. Regiae soc. scientiarum Upsaliensis ser. 4, 16 (3) (1956), 404 S.
- [64] STEINER, H., *Vergleichende Studien über die horizontale und vertikale Verteilung des Phytoplanktons im Zürichsee*, Veröff. Geobot. Inst. Rübel in Zürich, 3. H., 459–475 (1925).
- [65] THEILER, A., *Beiträge zur Planktonkunde des Sempacher- und Baldeggersees*, Vischr. Naturf. Ges. in Luzern 7, 309 (1910–1915).
- [66] THOMAS, E. A., *Auffällige biologische Folgen von Sprungschichtneigungen im Zürichsee*, Schweiz. Z. Hydrol. 12, 1–24 (1950).
- [67] THOMAS, E. A., *Der Zürichsee, sein Wasser und sein Boden*, Jb. vom Zürichsee 17, 173–208 (1956/57).
- [68] THOMAS, E. A., *Neue Planktonalgen des Zürichsees*, Neue Zürcher Zeitung vom 5. I. 1957, Nr. 29.
- [69] THOMAS, E. A., *Das Plankton-Test-Lot, ein Gerät zum Studium des Verhaltens von Planktonorganismen im See*, Schweiz. Ver. von Gas- und Wasserfachmännern, Mbull. 38, 1–6 (1958).

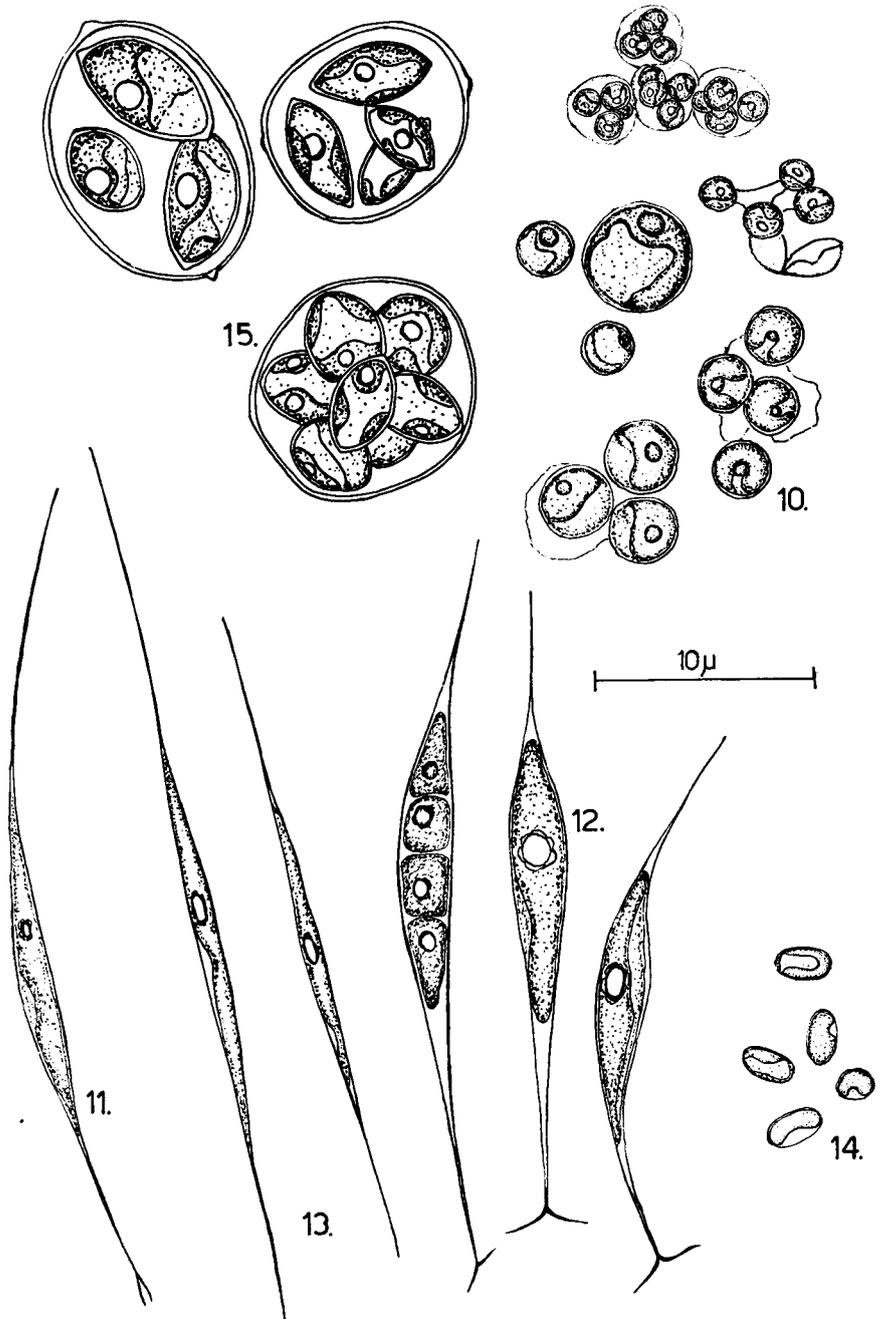
- [70] THOMAS, E. A., und MÄRKI, E., *Der heutige Zustand des Zürichsees*, Verh. Internat. Ver. Limnol. 10, 476–488 (1949).
- [71] THOMASSON, K., *Die Kugelkurven in der Planktologie*, Int. Rev. Ges. Hydrobiol. 47, 627–628 (1963).
- [72] THUNMARK, S., *Zur Soziologie des Süßwasserplanktons*, Folia Limnologica Scandinavica, Nr. 3, 66 S. (1945).
- [73] UTERMÖHL, H., *Limnologische Phytonplanktonstudien*, Arch. f. Hydrobiol. Suppl. 5, 1–527 (1925).
- [74] UTERMÖHL, H., *Quantitative Methoden zur Untersuchung des Nannoplanktons*, Abderhaldens Handbuch biol. Arbeitsmethoden, Abt. 9. 2/II (1879–1937).
- [75] UTERMÖHL, H., *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik*, Internat. Ver. theor. und angew. Limnol. Mitt. Nr. 9, 38 S. (1958).
- [76] WILLÉN, T., *The phytoplankton of Gorrälän, a Bay of lake Mälaren*, Oikos 10, Fasc. 2, 241–274 (1959).
- [77] WILLÉN, T., *The phytoplankton of Osbysjön, Djursbolm, I. Seasonal and vertical Distribution of the species*, Oikos 12, Fasc. 1. 36–69 (1961).
- [78] WILLÉN, T., *The Utal lake chain central Sweden and its Phytoplankton*, Oikos Suppl. 5, 156 S. (1962).
- [79] ZIMMERMANN, P., *Chemische und bakteriologische Untersuchungen im unteren Zürichsee während der Jahre 1948–1957*, Schweiz. Z. Hydrol. 23, 342–397 (1961).
- [80] ZÜLLIG, H., *Beobachtungen über zunehmende Eutrophierung des Sempachersees*, Plan, Schweiz. Z. Landes-, Regional- und Ortsplanung, Nr. 3 (1958).



Tafel 1

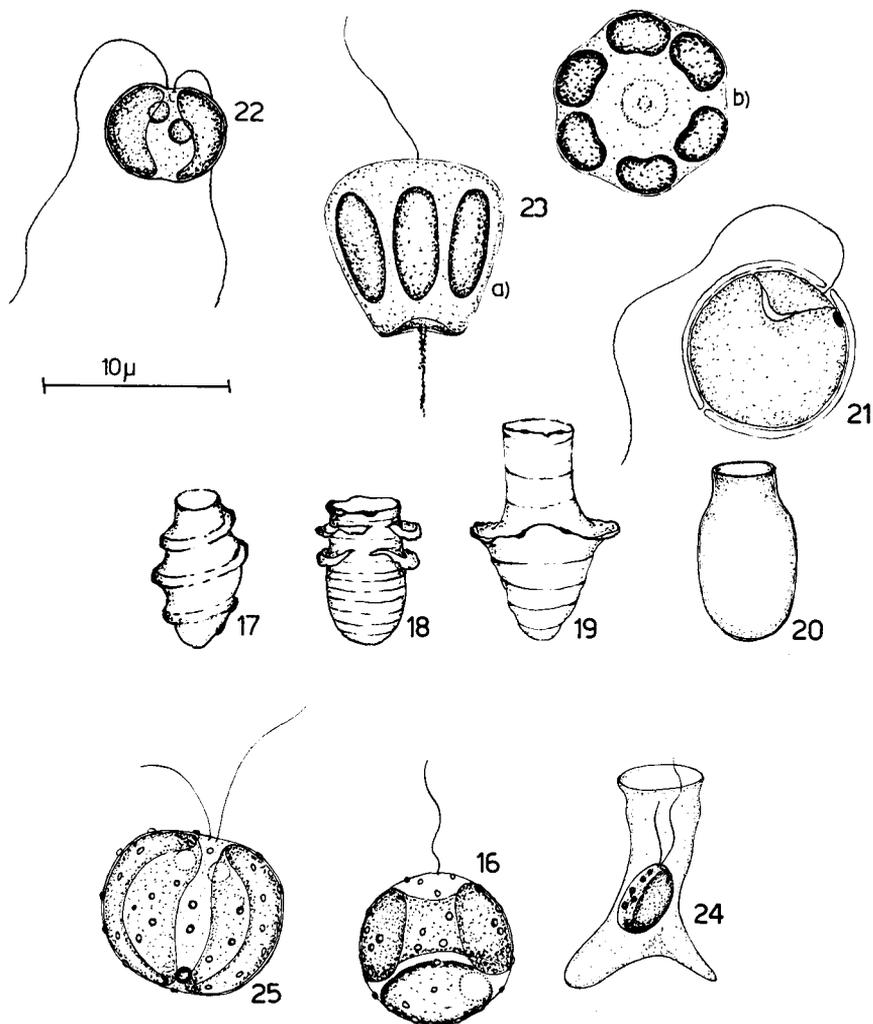
- 1 *Leptothrix echinata* Beger
 2 *Leptothrix cf. pseudovacuolata* (Perfil.) Dorff.
 3 *Planctomyces bekefi* Gimesi
 4 *Pseudomonas cf. ariston* Skuja

- 5 *Spirillus volutans* Skuja
 6 *Chroococcus cf. minutus* (Kütz.) Näg. var.
 7 *Pseudanabaena catenata* Lauterb.
 8 *Oscillatoria obliqueacuminata* Skuja
 9 *Platymonas cordiformis* (Carter) Korschikow



Tafel 2

10 *Chlorella pyrenoidosa* Chick.11 *Characium gracilipes* F. D. Lambert12 *Lambertia judayi* (G. M. Smith) Korschikow13 *Ankistrodesmus setigerus*
(Schröd.) G. S. West14 *Coccomyxa minor* Skuja15 *Oocystis marssonii* Lemm.

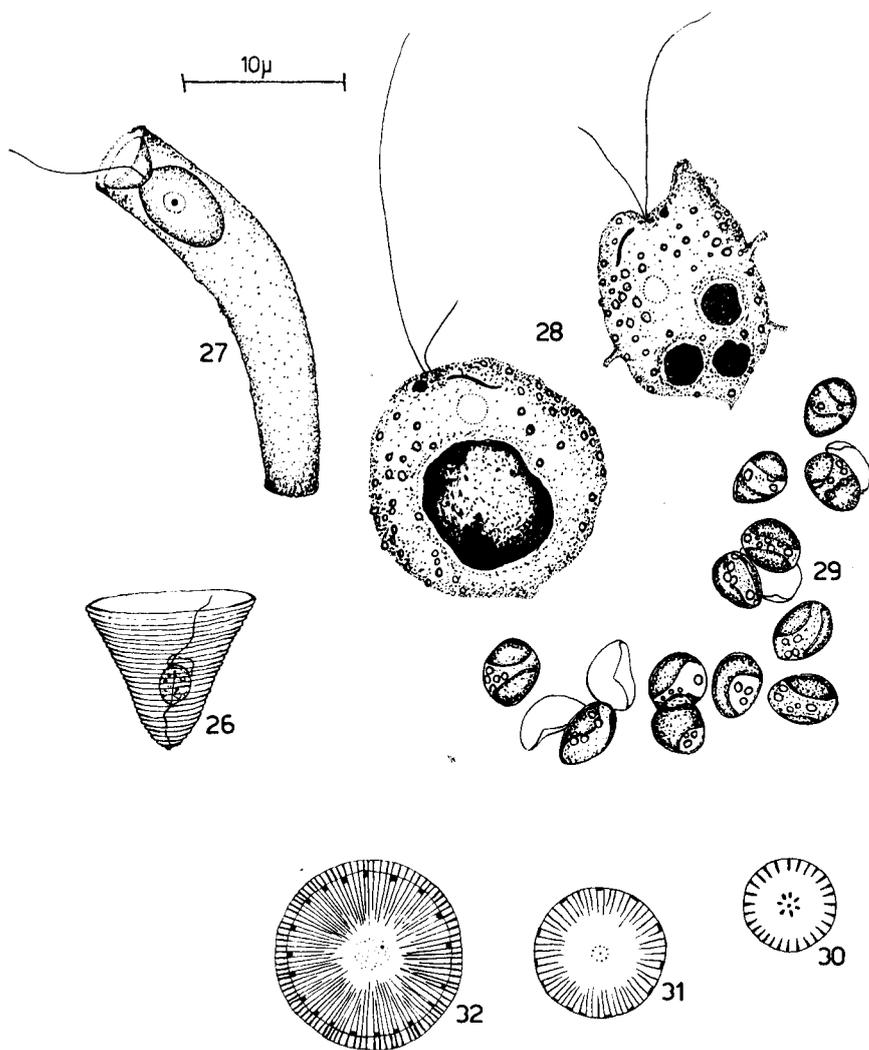


Tafel 3

16 *Chromulina* sp.17 *Kephyrion spirale* (Lack.) Conr.18 *Kephyrion inconstans* (Schm.) Bourr.19 *Kephyrion moniliferum* (Schm.) Bourr.20 *Pseudokephyrion entzii* Conr.21 *Chrysococcus rufescens* Klebs22 *Erkenia subaequiciliata* Skuja23 *Pseudopedinella erkensis* Skuja,

a) Lateralansicht, b) Antapikalansicht

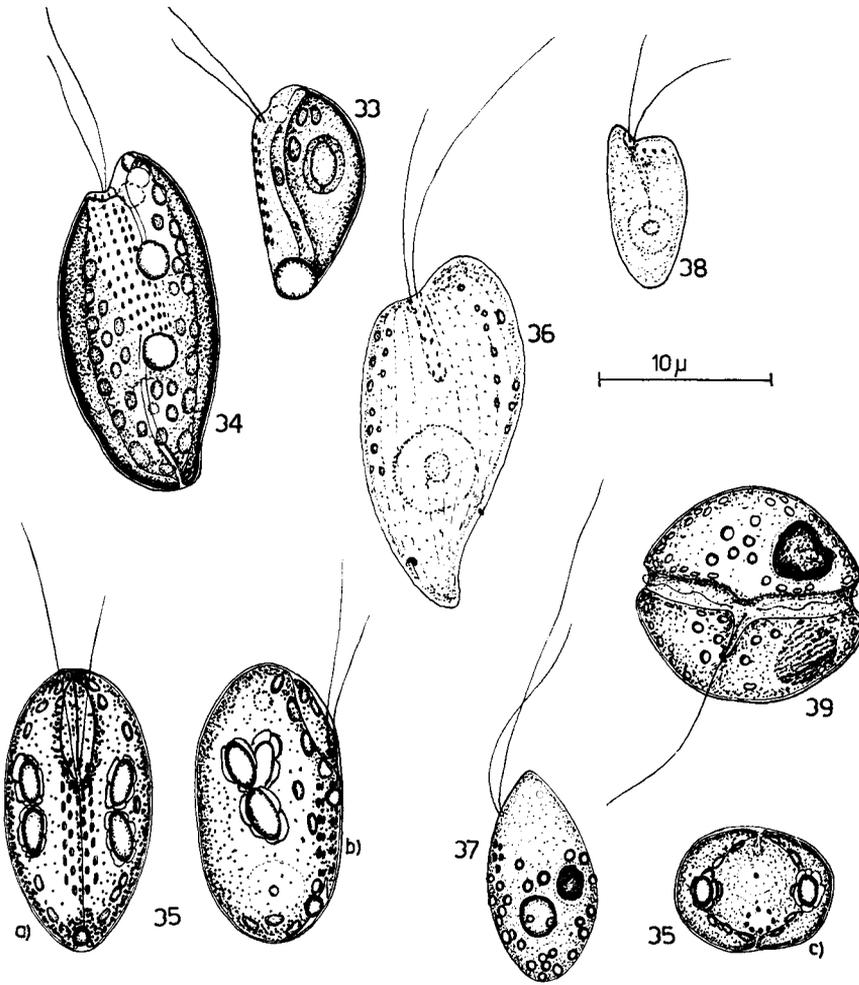
24 *Chrysolykos planctonicus* Mack25 *Ochromonas* sp.



Tafel 4

- 26 *Bicoeca multiannulata* Skuja
 27 *Stelaxomonas dichotoma* Lackey
 28 *Heterochromonas* sp.

- 29 *Ellipsoidion* cf. *oocystoides* Pascher
 30 *Cyclotella stelligera* Cl. et Grun.
 31 *Cyclotella pseudostelligera* Hust.
 32 *Cyclotella operculata* (Ag.) Kg.



Tafel 5

- 33 *Rhodomonas lacustris* Pasch. et Rutt.
- 34 *Cryptomonas ovata* Ehrb.
- 35 *Cryptomonas tetrapyrenoidosa* Skuja,
a) Ventralansicht, b) Lateralansicht,
c) Querschnitt

- 36 *Chilomonas cryptomonadoides* Ehrb.
- 37 *Katablepharis ovalis* Skuja
- 38 *Cyathomonas truncata* (Fres.) Fisch.
- 39 *Gymnodinium lantzschii* Utermöhl

Lebenslauf

Am 23. Januar 1933 wurde ich in Zürich, meiner Heimatgemeinde, geboren; hier erlebte ich meine Jugendzeit. Nach dem Besuche der Primarschule und des Gymnasiums der Höheren Töcherschule der Stadt Zürich erfolgte, anschliessend an die Maturität im Herbst 1952, mein Studium an der Abteilung für Naturwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule, wo ich im Herbst 1956 das Diplom erlangte. Daran schloss sich ein halbjähriger Unterbruch und ein viermonatiger Studienaufenthalt an der Biologischen Station Lunz in Nieder-Österreich an. Im November 1957 begann ich meine Promotionsarbeit unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. O. Jaag an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Zürich, und war hier gleichzeitig als Assistentin angestellt. Seit Sommer 1962 bin ich als Mitarbeiterin an der Limnologischen Abteilung der genannten Anstalt tätig.