|--|

Die Phytoplanktonentwicklung in einem eutrophen Baggersee bei Lampertheim (Hessen, B.R.D.) im Jahresgang

von

Arnold NAUWERCK, Roland PECHLANER, Franz A. SACHERER und Albrecht WEISS *)

Seasonal phytoplankton development in a eutrophic gravel pit near Lampertheim (Hessen, West Gernamy)

S y n o p s i s: A small gravel pit (area 2 ha, maximum depth 11 m), used for recreation purposes (bath and fishing) since 1964, was studied monthly from September 1972 through September 1973. The lake is dimictic, with a sharp thermocline and high surface temperatures during summer, but with little ice covering during winter. Between May and September approximately one third of the lake's volume is withdrawn from the epilimnion for water supply purposes (maintenance of swimming pools). Inflow of anaerobic groundwater caused (or enhanced) by such withdrawal appears to be the main reason for strongly reduced chemical conditions found in the hypolimnion (fig. 2, table 1).

The phytoplankton biomass in the lake is considerable (average freshweight 2 mg/1) and shows little seasonal fluctuation. The biomass maximum, which occurs in autumn, is only three times larger than the winter minimum. Phytoplankton species diversity is also high. Between 30 and 70 taxa are noted at any sampling date (fig. 7). Altogether, some 140 taxa of quantitative importance are recorded (table 2). The most important single species are Rhodomonas minuta, Cryptomonas marsonii, Cyclotella ocellata, Erkenia subaequiciliata (= Monoraphidium contortum), but some 50 species may appear among the dominants at one time or the other. Cryptomonadinae, Diatomeae, and Chrysomonadinae predominate by freshweight. Chlorophyta account for the highest numbers of taxa. The contribution of the different groups of algae to the total biomass indicates their individual depth preferences (figures 10 - 16).

There is evidence that phytoplankton production in the lake is controlled by physical factors (light, turbulence, particle interaction) and zooplankton grazing rather than by plant nutrients.

^{*)} Anschriften der Verfasser:

Doc. Dr. A. Nauwerck, Länsstyrelsen, S-951 86 Lulea, Schweden.

Univ.-Prof. Dr. R. Pechlaner, Abteilung f. Limnologie, Institut f. Zoologie d. Universität Innsbruck, Universitätsstraße 4, A-6020 Innsbruck, Österreich.

Dr. F. A. Sacherer, Battelle-Institut e.V., Am Römerhof 35, D-6000 Frankfurt a. M. 90, B.R.D. Dipl.-Biol. A. Weiss, Landesanstalt für Umwelt, Aarstraße 1, D-6200 Wiesbaden, B.R.D.

Inhaltsverzeichnis:

1.	Einleitung
2.	Lage, Größe und Nutzung des Sees
3.	Untersuchungsmethoden
4.	Physikalische und chemische Verhältnisse
4.1	Temperaturverlauf
4.2	Sichttiefe
4.3	Sauerstoffgehalt
4.4	Leitfähigkeit, Alkalinität und pH
4.5	Phosphor
4.6	Eisen
5.	Phytoplankton
5.1	Artenspektrum
5.2	Taxonomische Bemerkungen
5.3	Ökologische Bemerkungen
5.4	Verteilung der Biomasse in Zeit und Raum
5.4.1	Gesamtvolumen und Anteil der Algengruppen
5.4.2	Blaualgen (Cyanophyta)
5.4.3	Grünalgen (Chlorophyta)
5.4.4	Eugleniden (Euglenophyta)
5.4.5	Goldalgen (Chrysomonaden, Chrysophyceae)
5.4.6	Kieselalgen (Diatomeen, Bacillariophyceae)
5.4.7	Heterokonten (Heterokontae)
5.4.8	Cryptomonadinen (Cryptomonadinae)
5.4.9	Panzerflagellaten (Peridineae)
5.4.10	Bakterien
6.	Bemerkungen zum Zooplankton
7.	Faktoren, die die Phytoplanktonentwicklung steuern
7.1	Licht
7.2	Nährsalze
7.3	Temperatur
7.4	Andere abiotische Faktoren
7.5	Wegfraß durch Zooplankton
7.6	Interaktionen im Plankton
8.	Zusammenfassung
9.	Literatur

1. Einleitung

Die einjährige Beobachtungsreihe über das Phytoplankton und sein Milieu im Lampertheimer Badesee (Hessen, Bundesrepublik Deutschland), von der hier berichtet wird, war als Vorstudie zu einem umfangreicheren Forschungsprogramm angelegt. In diesem vom Battelle-Institut in Frankfurt/Main 1972 initiierten Projekt sollte die Möglichkeit geprüft werden, Seen-Eutrophierung durch Abfiltrieren von Planktonalgen zu bekämpfen. Der Lampertheimer Badesee war als Modellsee in Aussicht genommen, da die im nahe gelegenen Lampertheimer Schwimmbad vorhandene Filtriereinrichtung gute Voraussetzungen für ein derartiges Experiment bot, einschließlich der Möglichkeit zur Eindosierung von Flockungs- und Flockungshilfsmitteln. Der Umstand, daß der Lampertheimer See im

Hochsommer wiederholt wegen Algenblüten für den Badebetrieb gesperrt hatte werden müssen, war ein weiteres Motiv, hier die Entwicklung des Phytoplanktons sowie die Möglichkeiten seiner Kontrolle zu studieren.

Das betreffende Großprojekt konnte nicht realisiert werden, die in der Vorstudie erzielten Ergebnisse sollen jedoch hier publiziert werden, um einerseits Material zu der erst am Beginn stehenden Erfassung der limnologischen Gegebenheiten und Veränderungen in Baggerseen (GOULDER, 1968, 1969; HAMM, 1975a; HEHENWARTER, 1967; KLOTTER und ECK, 1963; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 1975, 1977; RYDLO, 1976) beizutragen und andererseits die Diskussion über die Milieuansprüche von Planktonalgen sowie über die aus Vorkommen und relativer sowie absoluter Häufigkeit bestimmter Phytoplanktonarten und -gruppen ableitbaren Aussagen anzuregen.

Qualitative und quantitative Zusammensetzung des Phytoplanktons verdienen als Parameter und Indikatoren des Gewässerzustandes besondere Beachtung, weil Art und Menge der Algen die Eignung eines Gewässers als Erholungsraum entscheidend mitbestimmen. Für kleine und eutrophe Seen bzw. Weiher gilt dies in besonderem Maße, eingehendere Studien über das Phytoplankton solcher Gewässer sind jedoch bisher selten (FINDENEGG, 1968, 1972; HAPPEY, 1970; HAPPEY and MOSS, 1967; HICKEL, 1975; ROTT, 1975, 1976, 1978; TIEFENBRUNNER und ROTT, 1975). Noch spärlicher sind Publikationen, in denen die Reaktion des Phytoplanktons von Kleinseen auf Sanierungs- und/oder Restaurierungsmaßnahmen beschrieben wird (FINDENEGG, 1973; HAMM, 1975b; PECHLANER und SCHULZ, 1973; PSENNER und ROTT, 1978), doch läßt sich absehen, daß dieser Fragenkreis in naher Zukunft verstärkt Beachtung finden wird.

2. Lage, Größe und Nutzung des Sees

Der Baggersee liegt im südwestlichen Randbezirk der Stadt Lampertheim, cirka 90 m über N.N., der Wasserspiegel schwankt je nach Wasserstand des Rheins. Das Nordwestufer des Badesees verläuft parallel zu einem rechtsufrigen Altrheinarm, von dem es etwa 120 m entfernt ist. Zwischen dem Altrheinarm und dem Badesee liegt der Hochwasserdamm.

Das Areal des Sees beträgt etwa 2 ha, seine maximale Tiefe 11 m. Eine Tiefenkarte existiert nicht, doch ist bei der Steilwandigkeit des durch Kiesabbau entstandenen und ursprünglich 14 m tiefen Baggerloches mit einer mittleren Wassertiefe von 4 bis 5 m zu rechnen, also mit einem Seevolumen von etwa 100.000 m³.

Ein Teil des Baggersees ist für sportfischereiliche Nutzung mit einer Bojenkette abgetrennt, mehr als die Hälfte des Areals dient seit 1964 als Badesee. Der See fungiert gleichzeitig als Wasserspender für die Füllung und Frischwasserzufuhr zum Lampertheimer Freischwimmbad, das 1965/66 errichtet wurde, sowie für das Hallenbad, das im Oktober 1973 in Betrieb genommen wurde. Für die Füllung des Freischwimmbades, den laufenden Frischwassernachschub, für das Rückspülen der Filter, als Brauchwasser für WC-Anlagen, Duschen usw. werden dem See während der Badesaison durchschnittlich pro Tag etwa 300 m³ Wasser entnommen, das meist aus 3 bis 4 m Tiefe abgesaugt wird, zeitweise

auch aus weniger als 2 m Tiefe. Das aus dem Schwimmbad ablaufende Wasser wird dem Altrheinarm zugeführt. Für den Wasserbedarf des Freischwimmbades wird dem See also innerhalb einer Badesaison rund ein Drittel seines Wasserinhaltes entnommen, was ein entsprechendes Nachfließen von Grundwasser bzw. uferfiltriertem Altrheinwasser zur Folge haben muß.

3. Untersuchungsmethoden

Probenentnahmen erfolgten von September 1972 bis einschließlich September 1973 in jedem Monat, ausgenommen Jänner 1973. Die Wasserproben wurden mit einem Ruttner-Schöpfer entnommen, in der Regel in Meterstufen zwischen der Oberfläche und 10 m Tiefe. Proben für Sauerstoffmessung wurden an Ort und Stelle fixiert, die Weiterverarbeitung dieser Proben sowie die Untersuchung von pH, Alkalinität und elektrolytischem Leitvermögen erfolgte wenige Stunden später im Labor in Frankfurt (Methoden nach GOLTERMAN, 1970; Leitfähigkeit auf 25°C bezogen). Die "Sauerstoffschuld" im anaeroben Hypolimnion wurde ab Juni 1973 in der Weise bestimmt, daß eine bestimmte Menge Tiefenwasser vorsichtig mit Oberflächenwasser vermischt, in Sauerstoffflaschen abgefüllt und nach etwa einer Stunde zur Sauerstoffanalyse fixiert wurde. Es konnte so der Sauerstoffbedarf reduzierter Inhaltsstoffe hypolimnischer Wasserschichten näherungsweise ermittelt werden. Die in Kapitel 4.6 kurz besprochenen Gesamteisenbestimmungen erfolgten an Wasserproben, die bis zum Abschluß des einjährigen Untersuchungszyklus tiefgefroren aufbewahrt worden waren.

Zur Erfassung des Phytoplanktons wurden jeweils 100 ml Probe mit Lugol'scher Lösung fixiert, in Verbundkammern sedimentiert und am Umkehrmikroskop untersucht.

4. Physikalische und chemische Verhältnisse

4.1 Temperaturverlauf

Den Temperaturverlauf während der Untersuchungsperiode zeigt Abb. 1. Über die meiste Zeit des Jahres ist der See mehr oder weniger stark thermisch geschichtet. Vollzirkulation herrscht von Mitte November bis Jänner, sowie von Ende Feber bis Anfang März. Im Winter, d.h. Jänner und Feber, ist die Oberflächentemperatur bei nur kurzzeitiger Eisbildung etwas niederer als 4°C, und eine inverse Schichtung deutet sich an. Im März beginnt die Temperatur anzusteigen, eine scharfe Temperaturschichtung besteht ab Mai. Temperaturen von 20°C in den obersten Wasserschichten und um 8°C in Bodennähe halten sich bis in den September.

Die Temperatursprungschicht sinkt im Laufe des Sommers bis in 6-8 m Tiefe ab und löst sich gegen Ende Oktober völlig auf. Die Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsjahren sind geringfügig. Die höchste Oberflächentemperatur (23,2°C) wurde Ende Juli 1972 gemessen, jedoch herrschen Oberflächentemperaturen um 23°C während mehr als zwei Monaten. Die höchste Durchschnittstemperatur, bezogen auf die Wassersäule über der größten Tiefe des Sees, war Anfang August zu verzeichnen und betrug knapp 17°C.

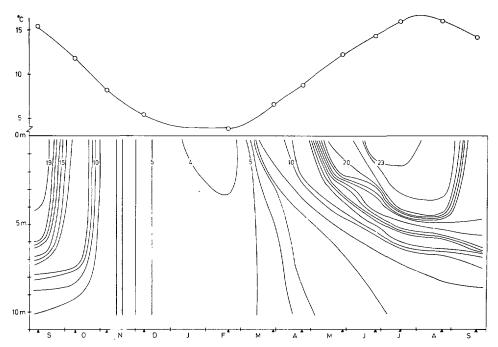


Abb. 1: Mittelwert (oben; ungewichtet) und Schichtung (unten) der Temperatur im Lampertheimer Badesee 1972/73. Keile an der Zeitskala markieren Meßtermine.

4.2 Sichttiefe

Die gemessenen Sichttiefen (Abb. 9) schwanken zwischen 1,9 und 1,15 m. Die Sichttiefe ist abhängig von der durch gelöste Stoffe bedingten Wasserfarbe und von der Menge suspendierter Partikel im Wasser, dem Seston, das sich aus Phyto-, Zoo- und Bakterioplankton sowie dem Abioseston (minerogene und organogene Partikel) zusammensetzt.

Die Wasserfarbe wurde nicht gemessen, ist aber erfahrungsgemäß in kalkreichen Gewässern gering. Bei der Größenordnung der Sichttiefen im Lampertheimer Badesee dürfte sie als maßgeblicher Faktor zu vernachlässigen sein. Ein deutlicher negativer Zusammenhang zwischen Phytoplanktonbestand (vgl. Kapitel 5) und Sichttiefe besteht nur im Sommer. Von Oktober bis April, also vor allem während der Zirkulationsperioden, ist der Zusammenhang eher entgegengesetzt, d.h. geringe Sichttiefe fällt zusammen mit geringem Planktonbestand. Zu dieser Zeit wird die Sichttiefe also in erster Linie durch Abioseston (u.a. Eisen, vgl. 4.6) begrenzt.

4.3 Sauerstoffgehalt

Der Sauerstoffgehalt des Sees schwankt zwischen maximal 12,6 mg/l im Feber, wo er auch in Bodennähe noch 11,6 mg/l beträgt, und nicht mehr meßbaren bzw. "negativen" Werten im Hypolimnion des Sees während der Stagnationsperiode von Mai bis Oktober.

Im September 1972 war das Wasser an der Seeoberfläche mit Sauerstoff gesättigt (Abb. 2), sonst aber war nie Sauerstoffsättigung oder gar Übersättigung zu finden. Dies ist vor allem für die Monate Mai und Juni überraschend, in denen die Phytoplanktonbiomasse in der euphotischen Zone stark anwächst, aber auch während der etwa 2 Monate dauernden Herbstzirkulation wäre eine Sättigung des gesamten Wasserkörpers mit Sauerstoff zu erwarten gewesen. Die Sauerstoffdefizite können als Hinweis dafür gewertet werden, daß das nach Maßgabe des Brauchwasserbedarfes für das Schwimmbad aus dem Epilimnion abgepumpte Wasser (vgl. S. 15) durch sauerstoffarmes oder mit reduzierter Substanz angereichertes Grundwasser ersetzt wird.

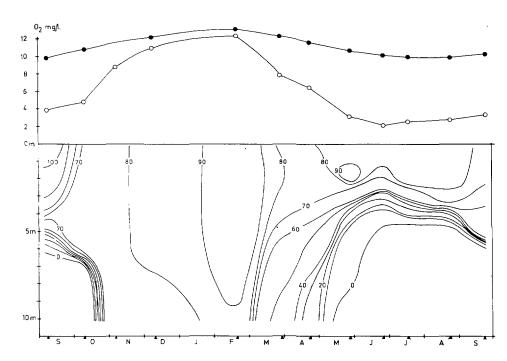


Abb. 2: Sauerstoffgehalt im Lampertheimer Badesee 1972/73. Oben: Mittlere Sauerstoffkonzentration der untersuchten Wassersäule nahe maximaler Tiefe (helle Kreise), verglichen mit dem Wert für relative Sauerstoffsättigung bei Durchschnittstemperatur (dunkle Kreise). Unten: Isoplethen der relativen Sauerstoffsättigung (%).

Als Ergänzung zu Abb. 2 ist in Tabelle 1 die von Juni bis September 1973 in Proben aus 4 bis 10 m Tiefe gemessene Sauerstoffkonzentration bzw. "Sauerstoffschuld" (als Negativ-Wert) eingetragen. Diese "Sauerstoffschuld" erweist sich im Lampertheimer Badesee als überaus hoch, sie übersteigt in 9 und 10 m Tiefe im August 20 und im September 30 mg/l. Zwar liegen keine Messungen der Primärproduktionsraten für den Lampertheimar Badesee vor, doch läßt sich aus der in Kapitel 5 besprochenen Phytoplanktonbio-

masse mit Sicherheit ausschließen, daß das hochgradig reduzierte Milieu des Hypolimnions durch anaeroben Abbau autochthon produzierter organischer Substanz entstanden wäre. Auch derart intensiver Abbau allochthoner organischer Substanz innerhalb des Sees ist schwer vorstellbar. Es muß sich um ein mit dem Grundwasser importiertes Sauerstoffdefizit handeln, wobei die in Abb. 2 und Tab. 1 enthaltenen Daten nicht nur dafür sprechen, daß während der Sommerstagnation 1973 ein mit reduzierter Substanz stark beladenes Grundwasser eingedrungen sein muß, sondern auch dafür, daß dieses Wasser entweder vom Gewässergrund her eingeflossen ist oder sich aus einem höheren Grundwasserhorizont in den Bereich maximaler Tiefe eingeschichtet hat. Die Sauerstoffdefizite im euphotischen, winddurchmischten Epilimnion könnten durch laufende Beimengung nachgesaugten Grund- oder Hypolimnionwassers erklärt werden, das nicht-Erreichen der Sauerstoffsättigung während der Herbstzirkulation könnte auf einen natürlichen Grundwasserdurchstrom hindeuten (Freischwimmbad zu dieser Zeit stillgelegt, Hallenbad erst ab Oktober 1973 in Betrieb), die Untersättigung könnte aber auch durch Nachwirkungen der während der Sommerstagnation angehäuften Sauerstoffschuld erklärt werden.

Tabelle 1:: Sauerstoffgehalt (mg/l) bzw. Sauerstoffschuld (negative Werte) im Lampertheimer Badesee in 4 bis 10 m Tiefe von Juni bis September 1973

	27. VI.	17. VIII.	29. VIII.	25. IX.
4 m	0,7	2,3	2,1	5,7
5 m	_	-1,0	-2,4	5,2
6 m	-0,5	-1,9	-9,2	-2,1
7 m	_	-3,9	-12,2	-14,8
8 m	-3,2	-10,5	-17.3	-18.5
9 m	_	-10,1	22,3	-35,2
10 m	-6,4	-9,9	-23,9	-41,6

4.4 Leitfähigkeit, Alkalinität und pH

Die Gesamtleitfähigkeit (Abb. 3) ist mit durchschnittlich 800 μ S als hoch zu bezeichnen. Zumeist hat der größte Teil der Wassermasse ziemlich gleichmäßige Werte. Während Schichtungsperioden herrschen im Hypolimnion etwas höhere, an der Oberfläche etwas niedrigere Werte. Die höchsten Werte finden sich in 9 bis 10 m Tiefe im Oktober 1972, sie betragen 960 μ S. Die geringsten Werte, rund 730 μ S, finden sich im September 1973 in 0 bis 5 m Tiefe. Auch im September 1972 sind die Oberflächenwerte relativ nieder.

Gleichbleibende Mittelwerte bei Ausbildung von Schichtungsbildern mit in der Tiefe zunehmenden Werten deuten auf einen Transport von Salzen aus der Oberflächenzone in die Tiefe. Biogene Entkalkung spielt in diesem Zusammenhang offenbar eine gewisse Rolle (Abb. 4), wobei die relativ hohen Mittelwerte der Alkalinität zu Beginn und Ende der Untersuchungsperiode mit dem "Trichtereffekt" (OHLE, 1962) erklärt werden könnten. Diese Anomalien im Jahresgang könnten aber auch mit Grundwassernach- und -durchstrom zusammenhängen.

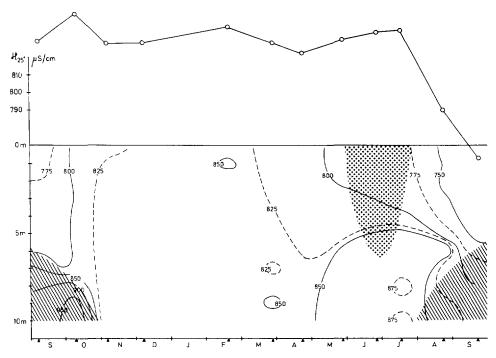


Abb. 3: Mittelwert (oben) und Schichtung (unten) der elektrolytischen Leitfähigkeit im Lampertheimer Badesee 1972/73. Schraffiert: Restleitfähigkeit $< 500 \ \mu\text{S}$. Punktiert: Restleitfähigkeit $> 600 \ \mu\text{S}$.

Aus der Alkalinität läßt sich der Anteil gelöster Bikarbonate am elektrolytischen Leitvermögen errechnen. Die Differenz zwischen Gesamtleitvermögen und Bikarbonatleitvermögen, die "Restleitfähigkeit", wurde unter Zugrundelegung eines Ca: Mg-Verhältnisses von 4: 1 errechnet. Es ergaben sich Restleitfähigkeiten zwischen 290 und 660 μ S. Seetiefen bzw. Beobachtungsperioden mit Restleitfähigkeiten unter 500 μ S sind in Abb. 3 schraffiert gekennzeichnet, das punktierte Feld zeigt Werte über 600 μ S an. Die geringen Restleitfähigkeiten zu Beginn und am Ende der Beobachtungszeit lassen sich durch die Reduktion von Sulfat zu Schwefelwasserstoff erklären, der Restleitfähigkeitsanstieg im Juni und Juli 1973 könnte mit der Oxydation von Sulfid aus dem aufquellenden Tiefenwasser zustande gekommen sein.

Per pH (Abb. 5) liegt — entsprechend dem hohen Karbonatgehalt des Wassers — fast stets deutlich im alkalischen Bereich. Die niedrigen Werte im Tiefenwasser während der Sommerstagnation sind leicht durch ${\rm CO_2}$ -Anreicherung zu erklären, weniger sicher ist jedoch, ob die erhöhten pH-Werte im Epilimnion zwischen März und Mai 1973 mit Photosynthese zusammenhängen. Der höchste pH-Wert zu dieser Zeit, 8,2, fällt mit einem Phytoplanktonminimum zusammen.

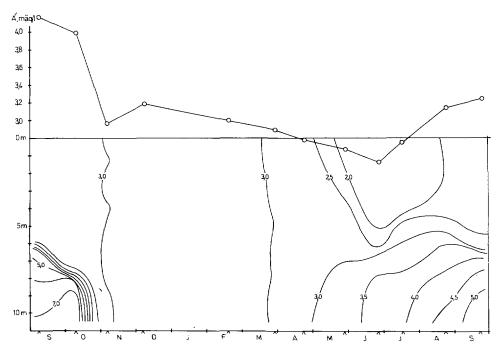


Abb. 4: Mittelwert (oben) und Schichtung (unten) der Alkalinität (in mval/l) im Lampertheimer Badesee 1972/73.

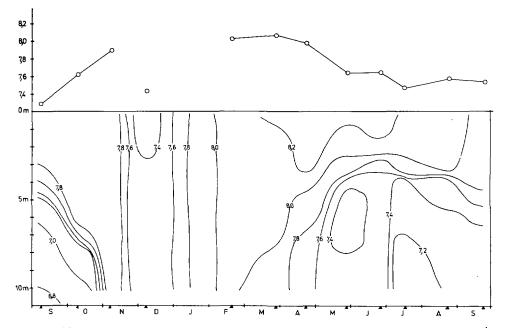


Abb. 5: Mittelwert (oben) und Schichtung (unten) des pH im Lampertheimer Badesee 1972/73.

4.5 Phosphor

Nur eine einzige Serie von Phosphoranalysen liegt vor. Diese datiert nicht aus der gleichen Zeit wie die übrigen Untersuchungen, sondern vom 2. Juni 1975. Die Werte (Gesamtphosphor) steigen von zirka 60 μ g/l in den oberen Wasserschichten über zirka 150 μ g/l in den mittleren und unteren Schichten bis auf mehr als 350 μ g/l in 10 m Tiefe an. Gleichzeitig wurden im angrenzenden Altrhein über 800 μ g/l Gesamtphosphor gemessen. Diese Werte sind durchwegs sehr hoch und zeigen, daß das Phosphorangebot im Lampertheimer Badesee beträchtlich ist. Der See ist vom Nährstoffangebot her zweifellos als hoch eutroph einzustufen.

4.6 Eisen

Die Gesamteisenmengen im See variieren stark von Probe zu Probe. Dies kann einerseits daher kommen, daß das Eisen im See oft in kolloidaler Form bzw. an Kolloide gebunden auftritt und diese Kolloide als Flöckchen sehr unregelmäßig verteilt sein können, doch sind auch Auswirkungen der langen Aufbewahrung dieser Proben denkbar. In Abb. 6 werden deshalb nur die Mittelwerte über Raum und Zeit angegeben, auf eine räumliche Darstellung der Eisenverteilung in der Zeit wird verzichtet. Die Werte liegen zur Stagnationszeit in Bodennähe erheblich höher als weiter oben, während im Spätherbst

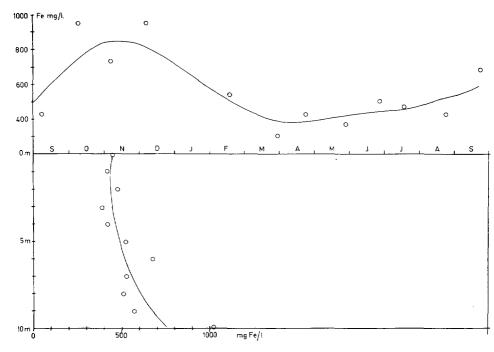


Abb. 6: Gesamt-Eisen im Lampertheimer Badesee 1972/73: Oben: Mittelwerte aus den pro Untersuchungstermin entnommenen Proben. Unten: Jahresmittel für jede Probenentnahmetiefe.

und im Winter auch an der Oberfläche hohe Werte angetroffen werden. Der von den Stadtwerken Worms für das Einzugsgebiet des Wasserwerkes Bürstädter Wald (cirka 4 km nordöstlich des Lampertheimer Badesees) angegebene Eisengehalt liegt mit 2,4 mg/l erheblich höher als alle im Lampertheimer Badesee gemessenen Werte.

5. Phytoplankton

5.1 Artenspektrum

Tabelle 2 gibt die Liste aller in den Zählproben beobachteten Arten. Insgesamt sind 139 Taxa verzeichnet, dabei allerdings eine Anzahl von Sammelgruppen, insbesondere bei den schwer bestimmbaren und hier nur in fixiertem Zustand vorliegenden kleinen Flagellaten. Die Gesamtzahl der gefundenen Arten ist auch insofern sicher zu nieder, als die gewöhnlich artlistenfüllenden sogenannten Netzplanktonformen nicht berücksichtigt wurden, sondern die Liste lediglich auf den in quantitativen Proben von je 50 ml Wasser gefundenen Taxa basiert. Andererseits gilt aber, daß die Liste nur quantitativ mehr oder weniger wichtige Arten enthält und daher repräsentativer ist als die üblichen Netzplanktonlisten.

Tabelle 2: Liste der bei quantitativer Auswertung konservierter Phytoplanktonproben aus dem Lampertheimer Badesee gefundenen Taxa

I. BACTERIOPHYTA

Lampropedia hyalina (Ehrnb.) Schroet.

II. CYANOPHYTA

1. Chrococcales

Microcystis sp.

Aphanocapsa elachista W. et G.S. West

delicatissima W. et G.S. West

Chroococcus sp. (minutus?)

Merismopedia minima G. Beck

" tenuissima Lemm.

glauca (Ehrnb.) Naeg.

Coelosphaerium kuetzingianum Naeg.

Gomphosphaeria lacustris Chod.

" v. compacta Lemm.

2. Hormogonales

Oscillatoria tenuis Ag.

" v. tergestina Rbh.

" cf. utermoehlii (Utermöhl) J. de Toni

" agardhii Gom.

" rubescens De Candolle

' sp.

Lyngbya limnetica Lemm.

SD.

Pseudanabaena catenata Lauterb. Aphanizomenon gracile Lemm. Anabaena flos-aquae (Lyngb.) Bréb. Pelonema sp. Achroonema spp.

III. CHLOROPHYTA

a. Polyblepharidinae

Pedinomonas sp. Scourfieldia cordiformis Takeda Gyromitus cordiformis Skuja

b. Polymastiginae
Paramastix conifera Skuja

c. Euchlorophyceae

1. Volcocales

Carteria sp.
Chlamydomonas spp.
Phacotus lenticularis Ehrnb.

2. Chlorococcales

Chlorella pyrenoidosa Chick Franceia geminata Printz Lagerheimia genevensis Chodat

ciliata Lagerheim

Oocystis solitaria Wittr.

sp.

Pediastrum duplex Meyen

" boryanum (Turp.) Menegh.

Tetraëdron minimum ((A. Br.) Hansg.

' v. tetralobulatum Reinsch

" caudatum (Corda) Hansg.

Treubaria setigerum (Archer) G.M. Smith Scenedesmus bijugatus (Turpin) Kuetz.

- ' abundans (Kirch.) Chodat
- ' armatus Chodat
- bicellularis Chodat

Dictyosphaerium pulchellum Wood

- ehrenbergianum Naeg.
 - simplex Korsch.

Crucigenia rectangularis (A. Br.) Gay

- quadrata Morren
- " apiculata (Lemm.) Schmidle

Coelastrum microporum Naeg.

' cambricum Archer

Selenastrum westii G.M. Smith

Ankistrodesmus nannoselene Skuja

- falcatus (Corda) Ralfs
- " v. spirilliformis G.S. West
- " acicularis A. Br.
- setigerus (Schoed.) G.S. West
- " minutissimus Korsch.

3. Ulotrichales

Coccomyxa sp.

d. Conjugatae

Closterium acutum Bréb.

- " v. variabile (Lemm.) Krieger
- " aciculare v. subpronum W. et G.S. West
- " parvulum Naeg.
- " ehrenbergii Menegh.

Cosmarium spp.

Staurastrum gracile Ralfs

- cf. v. nanum Wille
- " tetracerum Ralfs
- " chaetoceras (Schröd.) G.M. Smith

IV. EUGLENOPHYTA

1. Euglenales

Euglena viridis Ehrnb.

" acus Ehrnb.

" sp.

Phacus longicauda (Ehrnb.) Duj.

v. tortus Lemm.

Trachelomonas volvocina Ehrnb.

hispida (Perty) Stein

Menoidium sp.

2. Peranematales

Anisonema sp.

V. CHRYSOPHYTA

a. Chrysophyceae

Chromulina spp.

Monochrysis aphanaster Skuja

spp.

Chrysococcus sp.

Stenokalyx inconctans Schmid

Erkenia subaequiciliata Skuja

Ochromonas sp.

Chrysolykos planctonicus Mack

Pseudokephyrion entzii Conrad

Pteridomonas pulex Penard

Bicoeca multiannulata Skuja

" sp.

Heterochromonas sp.

Monas spp.

Bodo sp.

b. Bacillariophyceae

1. Centrales

Melosira ambigua (Grun.) O. Müll.

distans (Ehrnb.) Kütz.

Cyclotella ocellata Pant.

" comta (Ehrnb.) Kütz.

sp.

Stephanodiscus dubius (Fricke) Hust.

2. Pennales

Diatoma elongatum (Lyngb.) Ag.

Synedra acus Kütz

" v. angustissima Grun.

Centronella reichelti M. Voigt

Nitzschia spp.

Surirella biseriata Bréb.

c. Heterokontae

Botryococcus braunii Kütz.

V. PYRROPHYTA

a. Chloromonadophyceae

Monomastix astigmata v. simplex Skuja

b. Cryptophyceae

Rhodomonas minuta Skuja

lacustris Pascher et Ruttner

Chroomonas acuta Utermöhl Cryptomonas erosa Ehrnb.

" marssonii Skuja

platyuris Skuja

" panduriformis n. sp.

Chilomonas paramaecium Ehrnb.

Cyathomonas truncata (Fres.) Fischer

Katablepharis ovalis Skuja

Cryptaulax vulgaris Skuja

c. Dinophyceae

Amphidinium hyalinum Lemm.

lohammari Skuja

Gymnodinium spp.

Glenodinium spp.

Peridinium inconspicuum Lemm. fa.

westii Lemm.

Ceratium hirundinella (O.F.M.) Schrank

furcoides (Levander) Langhans

Im Hinblick auf das oben Gesagte kann die Anzahl der wichtigen Arten als hoch bezeichnet werden. Am häufigsten sind die Grünalgen (49), mit einer großen Anzahl typischer Teichformen wie Franceia, Lagerheimia, Treubaria, Crucigenia, Tetraedron und Scenedesmus- und Ankistrodesmus-Arten. Diese Formen sind auch mehr oder weniger typisch für eutrophe Seen.

Die nächstgrößte Gruppe stellen die Blaualgen (23). Auch hier überwiegen Teichformen und Arten, die einen hohen Trophiegrad anzeigen, was übrigens die Anzahl der Taxa in dieser Gruppe indiziert. Wichtig sind hier kleine Chroococcale wie Chroococ-

cus und Aphanocapsa, sowie dünne Fäden aus den Hormogonalen, wie Lyngbya, Pelonema, Pseudanabaena und manche Oscillatoria-Arten, gelegentlich auch größere Formen wie Aphanizomenon und Anabaena.

An dritter Stelle stehen die C h r y s o m o n a d e n (15), die jedoch einige Sammeltaxa enthalten, z.B. bei *Chromulina* und *Monochrysis*. Chrysomonaden sind überwiegend Bewohner kalter und weicher Gewässer. Ihre Bedeutung im Lampertheimer Badesee ist im Hinblick auf das harte und meist warme Wasser bemerkenswert groß. Die wichtigste Art ist *Erkenia* (*Chrysochromulina*), aber auch die Chromulina- und Monochrysis-Arten sind quantitativ wichtig.

Die Cryptomonadinen (11) sind ungewöhnlich artenreich repräsentiert. Ihr Indikatorwert ist umstritten, man findet sie sowohl in Seen als in kleineren Gewässern mit geringem Gehalt an organischer Substanz, z.B. in Lehmgruben u.ä. mit hartem, aber auch partikelreichem Wasser, das die robust gebauten Cryptomonaden offenbar besser vertragen als die Chrysomonaden.

Die Kieselalgen (12) sind eher als artenarm zu bezeichnen. Nur Cyclotella ocellata spielt hier eine zeitweilig stark hervortretende Rolle. Auch die Eugleniden (9), deren Bedeutung in kleineren Gewässern bisweilen beträchtlich ist, besonders in organisch belasteten und an Stickstoffverbindungen reichen Weihern und Teichen, sind im Lampertheimer Badesee eher sparsam repräsentiert. Relativ zahlreich im Verhältnis zur Erwartung sind wiederum die Panzerflagellaten (8), von denen Peridinium, Glenodinium und Ceratium auch quantitativ wichtig sind.

Die Rangordnung der – bezogen auf das Totalvolumen – quantitativ wichtigsten 10 Arten ist folgende:

- 1. Rhodomonas minuta
- 2. Cryptomonas marssonii
- 3. Erkenia subaequiciliata (= Chrysochromulina parva)
- 4. kleine Chrysomonaden (Monochrysis etc.)
- 5. Cyclotella ocellata
- 6. Aphanocapsa spp.
- 7. Ankistrodesmus falcatus spirilliformis (= Monoraphidium contortum)
- 8. 10. Aphanizomenon gracile, Cyclotella sp., Peridinium westii.

Die Reihung kam dadurch zustande, daß zunächst für jeden Monat die 10 quantitativ wichtigsten Arten tabelliert und dann eine Punktwertung (1. Platz 3 Punkte, 2. und 3. Platz 2 Punkte, 4. - 10. Platz 1/2 Punkt) durchgeführt wurde.

Abb. 7 zeigt die Anzahl der in den Zählproben gefundenen Taxa und den Anteil des jeweils wichtigsten Taxons bzw. der wichtigsten 3 und 10 Taxa am Totalvolumen sämtlicher Arten. Im Gegensatz zu größeren Seen der temperierten Zone zeigt sich nur ein sehr schwacher Jahresrhythmus. Die Zahl der anwesenden Taxa ist mit durchschnittlich 50 bis 60 ziemlich hoch. Am niedrigsten ist sie zu Beginn des Winters; sie steigt von da an gleichmäßig von cirka 30 bis auf 70 im Herbst. Auch die für größere eutrophe Seen typische Dominanz einzelner Arten ist hier nur selten ausgeprägt. Im Durchschnitt macht die jeweils wichtigste Art immerhin etwa 35 % des Totalvolumens aus, die 3 wichtigsten Arten bestreiten durchschnittlich zusammen etwa 70 % und die 10 wichtigsten zwischen 90 und 95 %.

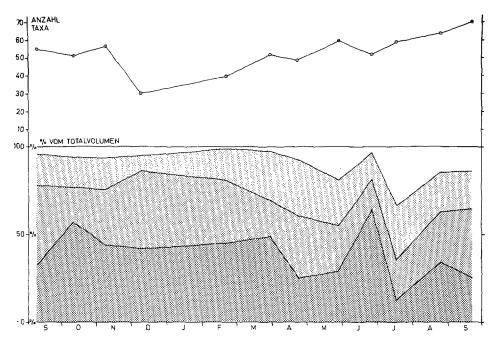


Abb. 7: Anzahl der in den Zählproben gefundenen Taxa (oben) und Anteil der wichtigsten Taxa an der Phytoplanktonbiomasse (unten) im Lampertheimer Badesee 1972/73. Die verschiedenen Raster bedeuten von unten nach oben: Anteil der Biomasse des jeweils wichtigsten, der 3 wichtigsten, der 10 wichtigsten sowie aller übrigen Taxa am Totalvolumen des Phytoplanktons.

5.2 Taxonomische Bemerkungen

Auf die Schwierigkeit der Bestimmung kleiner nackter Flagellaten, besonders in fixiertem Zustand, wurde bereits hingewiesen. Bestimmungsschwierigkeiten bereitet aber auch die starke morphologische Variabilität mancher Arten. Diese ist im vorliegenden Material bei den kleinen Chlorococcalen auffällig. Z.B. sind die Übergänge sowohl zwischen Scenedesmus- als auch zwischen Ankostrodesmus-Arten oft fließend. Selbst zwischen Gattungen können scheinbare oder wirkliche Übergangsformen existieren, so z.B. zwischen Lagerheimia und Oocystis. Eine spezielle Schwierigkeit, die im Material aus dem Lampertheimer Badesee hervortritt, ist die Tendenz coenobienbildender Arten, sich in einzellige Individuen aufzulösen. Weiter beobachtet man allgemein in harten Gewässern Rückbildung von Schleimhüllen z.B. bei Grün- und Blaualgen, und Rückbildung von als Schwebefortsätze gedeuteten Auswüchsen, Borsten, Stacheln etc. bei vielen Arten, besonders bei Desmidiaceen und gehäusebildenden Chrysomonaden.

Die Individualisierung von Kolonien betrifft auch manche Blaualgen der Gruppe Chroococcales, z.B. Chroococcus und Aphanocapsa. Außerdem trägt schnelle Zellteilung im warmen und nahrungsreichen Gewässer oft zur Bildung von Zwergformen und morphologisch unvollständig ausgebildeten Charakteren bei. Diese Eigenarten lassen sich natürlich umgekehrt auch für Rückschlüsse auf die Wasserqualität bzw. die Lebensbedingungen der Algen verwenden.

Schließlich entstehen taxonomische Schwierigkeiten auch aus der Unübersichtlichkeit der taxonomischen Literatur und unterschiedlichen Auffassungen verschiedener Schulen. So sind z.B. die Gruppen Ankistrodesmus und Raphidium-Monoraphidium nicht eindeutig voneinander abgegrenzt; viele Gruppen sind überhaupt nicht genügend untersucht und daher nicht eindeutig aufteilbar, z.B. die fadenförmigen Hormogonalen und die Gattung Cryptomonas. In manchen Fällen besteht auch schlicht keine Einigkeit über Namensgebung. Es ist z.B. noch nicht entschieden, ob der Name Erkenia subaequiciliata beibehalten werden soll oder ob die von SKUJA so bezeichnete Art mit Chrysochromulina parva zu vereinigen ist.

5.3 Ökologische Bemerkungen

In ökologischem Zusammenhang ist neben oben genannten morphologischen Reaktionen des Planktons auf sein Milieu auch die Tatsache der Anwesenheit oder Abwesenheit bestimmter Arten in einem Gewässer von Interesse. Manche Arten können direkt als "Leitformen" für gewisse Milieuverhältnisse gelten. Bemerkenswert ist im Lampertheimer Badesee die Anwesenheit von z.B. Oscillatoria rubescens neben Oscillatoria agardhii. Beide Arten sind typisch für größere Seen. O. rubescens tritt vor allem in Voralpenseen auf, O. agardhii vor allem in Seen des baltischen Typus. Beide Arten bilden bei bestimmten Trophiezuständen Massenvorkommen.

Interessant ist ferner das relativ zahlreiche Auftreten von Desmidiaceen, die sonst ebenso wie die Chrysomonaden eher in weichen Gewässern zu finden sind. Aber außer dem geringen Härtegrad dieser Gewässer scheint auch die Anwesenheit von Humussubstanzen für das Vorkommen der betreffenden Gruppen eine Rolle zu spielen, weshalb ihr Auftreten im Lampertheimer Badesee erwarten läßt, daß dieser See zu seinem hohen Salzgehalt auch einen relativ hohen Gehalt an humusartigen Substanzen aufweist.

Bemerkenswert ist das Vorkommen von Stephanodiscus dubius in sehr typischer Form. Die Art gehört sonst eher dem Plankton von alpinen und arktischen Seen an. Interessant ist schließlich das massenhafte Auftreten von Cyclotella ocellata, einer Art, die in europäischen Seen relativ selten vorkommt und dann meistens eine untergeordnete Rolle spielt, dafür aber in nordamerikanischen Seen wichtig ist. Ceratium furcoides und Peridinium westii sind Arten, die in Südeuropa und in angrenzenden wärmeren Zonen wichtig sind.

Umgekehrt ist die Abwesenheit von Arten oder Gattungen, die sonst in Mitteleuropa in Seen und Teichen häufig auftreten, bemerkenswert. Hierher gehören z.B. die Grünalgen Eudorina und Sphaerocystis, die Kieselalgen Tabellaria und Asterionella, und die Chrysomonaden-Gattung Dinobryon. Wenn die betreffenden Arten auch zu den Netzplanktonformen gehören und somit der Artenliste entgangen sein können, zählen sie doch auch fast immer zu den massenhaft auftretenden Algen und sind also hier zumindest ungewöhnlich spärlich vorhanden.

Von der Artenliste her beurteilt ist der Lampertheimer Badesee eher als See und nicht als Weiher zu bezeichnen, obwohl er Eigenschaften von beiden vereint. Die Planktonzusammensetzung ist auch ein Spiegelbild seiner geographischen Lage und seines Trophiezustandes.

5.4 Verteilung der Biomasse in Zeit und Raum

5.4.1 Gesamtvolumen und Anteil der Algengruppen

Abb. 8 zeigt das durchschnittliche Phytoplanktonvolumen, bezogen auf die Wassersäule von 11 m, sowie die relative Bedeutung der Algengruppen. Auffallend ist der wenig ausgeprägte Jahreszyklus der Gesamtbiomasse. Sie ist durchgehend ziemlich hoch, meist über $1000\cdot10^6\mu^3/1$, übersteigt aber auch nicht $3000\cdot10^6\mu^3/1$. Zum Vergleich sei angeführt, daß die Biomasse in oligotrophen Seen oder auch im Winterplankton eutropher Seen in der Größenordnung von weniger als 100 bis einige $100\cdot10^6\mu^3/1$ liegt, und daß hocheutrophe Seen längere oder kürzere Zeit Werte von $10.000\cdot10^6\mu^3/1$ aufweisen können. Das Plankton des Lampertheimer Badesees lebt also unter relativ gleichförmigen Bedingungen auf einem relativ hohen Trophieniveau.

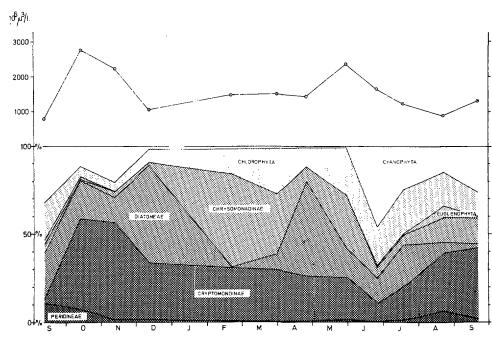


Abb. 8: Durchschnittliches Phytoplanktonvolumen (oben; ungewichtet) sowie Anteil verschiedener Algengruppen an der Phytoplanktonbiomasse (unten) im Lampertheimer Badesee 1972/73.

Weiter fällt auf, daß zu keiner Zeit ausgesprochene Maxima einzelner Arten oder Gruppen auftreten (vgl. auch Abb. 7). Der für temperierte Seen typische Jahreszyklus der verschiedenen Algengruppen läßt sich jedoch auch hier ablesen. Chrysomonaden dominieren im Winter und Frühjahr, Blaualgen im Sommer, Kieselalgen im Herbst und im Frühjahr, Eugleniden und Peridineen im Spätsommer. Cryptomonaden sind immer reichlich vorhanden und dominieren im Herbst.

Darüber hinaus läßt sich auch erkennen, daß sich zwischen den beiden Untersuchungsjahren Verschiebungen in der relativen und absoluten Bedeutung der einzelnen Gruppen abspielen. Z.B. sind die Cryptomonadinen im September 1972 von ziemlich geringer Bedeutung gegenüber September 1973, während die Diatomeen im Herbst 1972 offensichtlich eine größere Rolle spielen als im Herbst 1973.

Abb. 9 zeigt die Verteilung der Gesamtbiomasse in Raum und Zeit. Aus der Abbildung geht hervor, daß die Grenze des Vorkommens von Sauerstoff die Ausbreitung des Phytoplanktons nach der Tiefe stärker bestimmt als die Lage der Temperatursprungschicht. Die größten Phytoplanktonbiomassen finden sich fast immer in den obersten Wasserschichten, jedoch selten in unmittelbarer Nähe der Oberfläche. Zur Zeit von Homothermie bzw. Volldurchmischung breitet sich die Algengesellschaft über den ganzen Wasserkörper aus, jedoch bleibt ihr Schwerpunkt auch dann weit oben im Epilimnion. Dieser Schwerpunkt liegt am höchsten während der dunklen Jahreszeit und am niedersten im April/Mai. Zunehmende Temperaturschichtung und Abnahme der Transparenz zwingen ihn jedoch schon im Juni wieder nach oben.

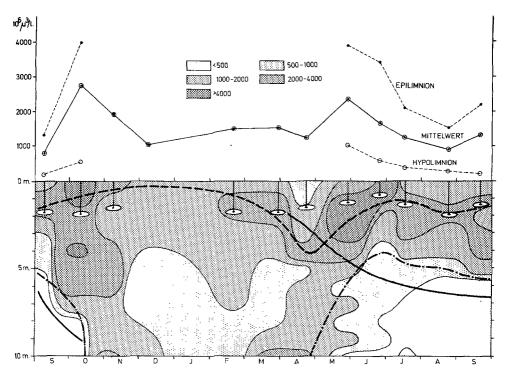


Abb. 9: Oben: Mittelwerte der Algenmenge (Phytoplanktonvolumen) im Epi- und Hypolimnion. Unten: Verteilung der Phytoplanktonbiomasse in Raum und Zeit.

Ausgezogene Linie: Lage der Temperatursprungschicht. Strichliert: Schwerpunkt der Phytoplanktonbiomasse. Strichpunktiert: Grenze zum anaeroben Milieu.

Vertikaler Strich mit ovalem Kreis: Sichttiefe.

Der Vergleich von durchschnittlichen Biomassen in Epi- und Hypolimnion in Abb. 9 bezieht sich auf die Trennung der Wasserschichten durch die Sprungschicht. Sie ist nicht identisch mit der Grenze zwischen trophogener und tropholytischer Schicht. Die trophogene Schicht erstreckt sich in das Hypolimnion. Die Ausdehnung dieser Schicht läßt sich an den in Abb. 9 eingetragenen Sichttiefen abschätzen (Sichttiefe x 2 bis 2,5; vgl. 7.1). Auch unterhalb der euphotischen Schicht findet man selbst zu Zeiten größter Sauerstoffzehrung immer noch Phytoplankton-Biomassen von ein paar hundert $\mu g/1$. Wie unten gezeigt werden wird, handelt es sich dabei nicht nur um absinkende und sterbende Zellen, sondern auch um lebendes und allen Anzeichen nach heterotroph sich vermehrendes Phytoplankton.

5.4.2 Blaualgen (Cyanophyta)

Bei der Darstellung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der einzelnen an der Biomasse beteiligten Algengruppen (Abb. 10 bis 16) wurde so vorgegangen, daß ihr relativer Anteil am Bestand und nicht ihre Totalmenge in der jeweiligen Tiefe hervorgehoben wird. Eine Gruppe, die beispielsweise zu einem Zeitpunkt im Hypolimnion dominiert, kann trotzdem ihre höchsten Absolutwerte im Epilimnion haben. Die Darstellungweise mit Betonung des relativen Biomassenanteils wurde gewählt, weil damit die Lebensbedingungen bzw. -ansprüche der betreffenden Gruppen besser deutlich gemacht werden können.

Abb. 10 zeigt die Verteilung der Blaualgen. Ihr relativer Anteil liegt meist unter 10 %, höhere Werte treten fast nur in den oberen Wasserschichten auf. Der Maximalwert von über 70 % findet sich im Juni in 1 m Tiefe. Dieses Maximum setzt sich zusammen aus einer Mischung von verschiedenen Chroococcalen und Hormogonalen, während das Herbstmaximum 1972 von Aphanizomenon bestritten wird. Im darauffolgenden Herbst hat Aphanizomenon weit geringere Bedeutung, sowohl relativ als absolut. Arten, die größere Tiefen gut vertragen und sich auch dort vermehren, sind Aphanocapsa und Pelonema.

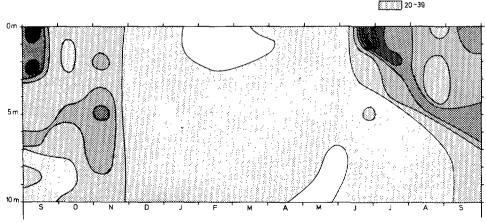


Abb. 10: Anteil der Cyanophyta an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.3 Grünalgen (Chlorophyta)

Abb. 11 zeigt die Verteilung der Grünalgen. Das Bild ist überraschend, denn es macht klar, daß diese Gruppe weitaus die besten Voraussetzungen hat, in sauerstofffreiem Milieu zu überleben und zu gedeihen. Zwar sind die höchsten Absolutwerte für die Grünalgen durchweg im Epilimnion zu finden, aber ihr Anteil an der Biomasse bleibt dort gering.

Manche von ihnen sind rein epilimnische Formen, z.B. alle pigmentierten Chlamydomonaceen. Andere, besonders die farblosen Polyblepharidinen und Polymastiginen, können sowohl im Epilimnion als auch im Hypolimnion leben, meiden aber strikt schwefelwasserstoffhaltige bzw. sauerstofffreie Zonen. Diejenigen Arten, die offenbar ohne Schwierigkeit auch in solchem Milieu leben können, haben ihre Maxima sowohl im Epilimnion als auch in der Tiefe. Es handelt sich dabei um viele der kleinen Chlorococcalen, z.B. die Scenedesmus-Arten, vor allem aber um die Ankistrodesmus-Arten.

Aus dem langfristigen Aufenthalt in dieser Tiefe, ausgeprägten Maxima sowie zu beobachtender lebhafter Teilungstätigkeit läßt sich klar schließen, daß diese Arten hier eine heterotrophe Lebensweise führen und gegen die speziellen Bedingungen dieser Zone weitgehend unempfindlich sind. Auch der relativ hohe Anteil solcher Arten im Winterplankton läßt sich mit weitgehender Unabhängigkeit von günstigen Lichtbedingungen erklären.

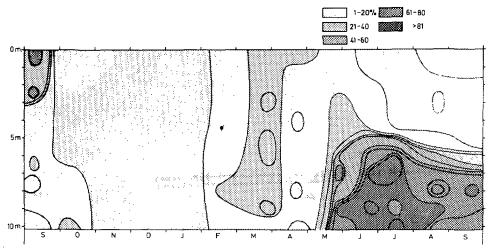


Abb. 11. Anteil der Chlorophyta an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.4 Eugleniden (Euglenophyta)

Die Verteilung der Eugleniden zeigt Abb. 12. Die Beschränkung dieser Algengruppe auf das Hypolimnion entspricht weitgehend den Erwartungen, umso mehr, als es sich hier zum großen Teil um farblose Typen handelt, während epilimnische Teichformen, wie *Trachelomonas*-Arten, quantitativ keine Rolle spielen. Die höchsten Absolutwerte für Eugleniden findet man in der Regel in der Temperatursprungschicht bzw. im Bereich starker Sauerstoffabnahme.

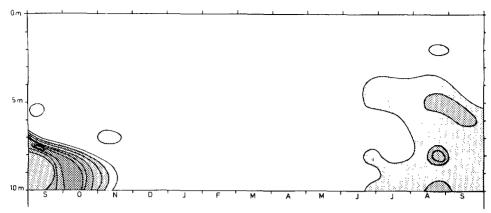


Abb. 12: Anteil der Euglenophyta an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.5 Goldalgen (Chrysomonaden, Chrysophyceae)

Abb. 13 zeigt die Verteilung der Chrysomonaden. Neben anderen gefährten kleinen Monaden ist hier Erkenia die durchweg dominierende Art. Neben niederen Temperaturen beanspruchen die meisten Chrysomonaden auch verhältnismäßig viel Licht. Wenn der Schwerpunkt der relativen Bedeutung der Chrysomonaden hier tiefer liegt als der Bereich ihres absolut stärksten Auftretens, so ergibt sich daraus, daß die im Lampertheimer Badesee vertretenen Arten in der Konkurrenz um die besten Lichtbedingungen zurückweichen müssen. Ihre Fähigkeit zu heterotropher und phagotropher Lebensweise kommt ihnen dabei zugute. Die gefärbten Arten sind jedoch nicht imstande, im sauerstofffreien Milieu zu überleben. Dort findet man sie nur im absterbenden oder encystierten Zustande, während eine Reihe farbloser Typen auch dieses Milieu vertragen. Durchweg zeigt ja die gewählte Darstellungsart gewissermaßen den Platz, welcher einer Algengruppe im See zugewiesen wird, und nicht den, den sie "erstrebt".

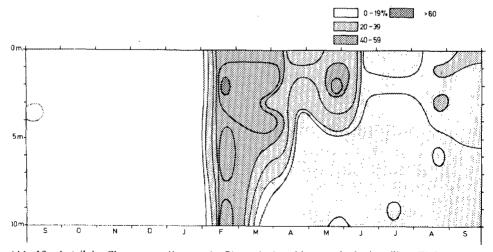


Abb. 13. Anteil der Chrysomonadinae an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.6 Kieselalgen (Diatomeae, Bacillariophyceae)

Die Verteilung der Kieselalgen zeigt Abb. 14. Der Volumsanteil der Diatomeen wird fast ausschließlich von *Cyclotella* bestimmt. Kieselalgen sind Schwachlichtformen; sie sind wegen ihrer Schwere auf eine gewisse Turbulenz angewiesen, um sich schwebend halten zu können, und vertragen anaerobe Bedingungen nicht. Deshalb sind Frühjahrsund Herbstzirkulation begünstigend für ihre Entwicklung. Abb. 14 zeigt dies sehr deutlich. Auch das Absinken der Populationen am Ende der Zirkulationsperiode ist erkennbar.

Charakteristisch ist die sukzessive Zunahme der größeren, schwereren und langsamer wachsenden Formen während länger dauernder Zirkulationsperioden. Im vorliegenden Fall ergibt sich eine Verschiebung von kleineren zu größeren Cyclotella-Typen und in der späteren Phase ein Hinzukommen von pennalen Formen wie Diatoma, Nitzschia und Centronella. Die beiden erstgenannten halten sich sehr deutlich an tiefere Wasserschichten, während Centronella das Epilimnion bevorzugt.

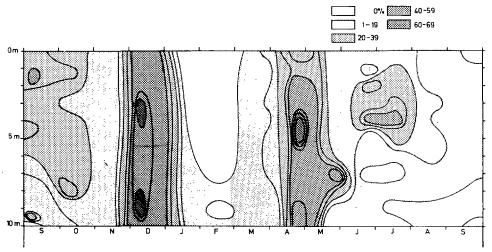


Abb. 14: Anteil der Diatomeae an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.7 Heterokonten (Heterokontae)

Im vorliegenden Material wurde nur eine einzige Heterokonte, nämlich Botryococcus braunii *), gefunden. Quantitativ fällt die Art hier nicht ins Gewicht. Es sei aber hervorgehoben, daß diese Gruppe im Teichplankton und in warmen Gewässern nicht selten eine gewisse Rolle spielt.

^{*)} B. braunii wird von den meisten Autoren heute zu den Grünalgen gestellt.

5.4.8 Cryptomonadinen (Cryptomonadinae)

Die Verteilung der Cryptomonadinen zeigt Abb. 15. Die Cryptomonaden sind für geringe Lichtansprüche bzw. für das Meiden der oberen Wasserschichten bekannt. Dies gilt besonders für Cryptomonas-Arten. Kleinere Cryptomonadinen wie Rhodomonas und vor allem Chroomonas sind dagegen lichtfreundlich. Im Lampertheimer Badesee sind Oberflächenmaxima von Cryptomonadinen selten. Maxima in verschiedenen Tiefen werden dagegen regelmäßig von verschiedenen Arten gebildet, wobei Cryptomonas in der Tiefe vorherrscht, Rhodomonas/Chroomonas mehr im Epilimnion.

Bei keiner anderen Gruppe kommt so klar wie bei den Cryptomonadinen die Unverträglichkeit gegenüber sauerstofffreiem Wasser zum Ausdruck. Da die Zellen durch den Besitz von Geißeln beweglich sind, können sie das ungünstige Milieu auch aktiv meiden. Im Jahr 1973 wird besonders deutlich, wie der Sauerstoffschwund im Hypolimnion diese Algengruppe nach oben zwingt. Am Ende der Saison fallen die Maxima von Cryptomonas und Rhodomonas fast zusammen.

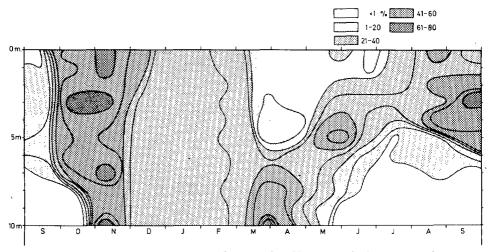


Abb. 15: Anteil der Cryptomonadinae an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.9 Panzerflagellaten (Peridineae)

Die Verteilung der Panzerflagellaten zeigt Abb. 16. Ihr Anteil an der Biomasse ist durchweg gering, ihr Vorkommen eher erratisch. Das Maximum im Herbst 1972 wird von *Peridinium westii*, das im Herbst 1973 aus einer Mischung von *Peridinium*-Arten und *Ceratium* gebildet. Da die Peridineen erhebliche Tageswanderungen ausführen können, sagt ein 'im Vertikalprofil angetroffener Schwerpunkt wenig aus. Eindeutig meiden jedoch auch sie die sauerstofffreie Zone.

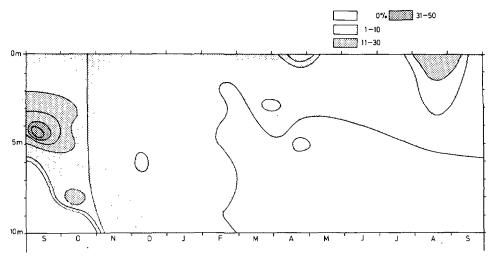


Abb. 16: Anteil der Peridineae an der Phytoplanktonbiomasse in der jeweiligen Tiefe.

5.4.10 Bakterien

Größere Bakterien werden bisweilen dem Phytoplankton zugerechnet. Sie wurden bei unseren Zählungen besonders notiert, sind jedoch in die dargestellten Phytoplankton-volumina nicht mit einbezogen. Von Interesse sind dabei hauptsächlich Eisen- und Schwefelbakterien, die die Ausmaße von Planktonalgen erreichen.

Eisenbakterien (z.B. Siderocapsa) wurden in den Proben zwar häufig angetroffen, besonders in Bodennähe und in der Gegend des Sauerstoffschwundes, jedoch nie in größeren Mengen.

In größeren Mengen fand sich aber das Schwefelbakterium Lampropedia hyalina, das in der Grenzschicht zwischen sauerstoffhaltigem und sauerstofffreiem Wasser in so riesigen Mengen auftreten kann, daß es das Wasser rosa färbt. Im Lampertheimer Badesee bildete es im Sommer 1973 eine solche Schicht aus, welche sich von Juni bis August nachweisen ließ. Totalwerte von maximal ca. 1 Million Zellen pro Liter sind jedoch in diesem Zusammenhang als gering zu bezeichnen.

Die Bakterienplatte bestand zum größeren Teil aus verschiedenen anderen, meist kleinen Formen vom Stäbchen- oder Spirillentypus, mit Gesamtzahlen von 10⁹ bis 10¹⁰ Zellen pro Liter.

6. Bemerkungen zum Zooplankton

Das Zooplankton wurde nicht mit spezifischer Methodik untersucht, doch wurden die in den Phytoplanktonproben vorkommenden Arten gezählt. Die kleinen Stichproben machen zwar die Werte weniger zuverlässig, jedoch wird dies bei Mittelwertsberechnungen für die ganze Wassersäule teilweise ausgeglichen. Für besonders zahlreich vorhandene Arten sind die Werte ohnehin zuverlässiger.

In Tab. 3 sind die durchschnittlichen Literwerte für Rotatorien und Crustaceen angegeben. Die Copepoden, die nur in Einzelfällen als Adulte vorkamen, wurden nicht näher bestimmt. Das Material enthält drei *Cyclops*-Arten (am häufigsten eine des *strenuus*-Typs), eine Temoride und zwei *Diaptomus*-Arten.

Tabelle 3: Durchschnittliche Häufigkeit (Individuen pro Liter; ungewichteter Mittelwert) planktischer Crustaceen und Rotatorien im Lampertheimer Badesee 1972/73

	6.9.	6.10.	5.11.	8.12.	20.2.	28.3.	25.4.	29.5.	27.6.	17.7.	29.8.	25.9.
Cyclops adult	20		40				20	30	10	10		
" Copepodide	90	90	40	50	10	20	20	70	60	60	20	30
" Nauplien	320	100	150		20	30	. 20	100	150	110	130	190
Calanoida adult		10	20									
" Copepodide	30		10		10							
" Nauplien			40		20							
Daphnia (galeata)	10											
Daphnia cucullata .	50	40						10			10	20
Bosmina longirostris					60	10		10	50	10	30	10
Alona quadrangula									10			
Ceriodaphnia pulchella											10	
Diaphanosoma brachyurum		10							30	20	10	
Keratella cochlearis	1340	620	130	80	140	90	70	30	280	410	400	1420
Keratella hispida		100									570	80
Keratella tecta	30	50	30							300	80	50
Keratella quadrata	20	70			80	120		10	30	390	30	440
Kellicottia longispina	30	50	50	80		30	10	10	220	30	50	50
Notholca squamula						30						
Brachionus urceolaris							10	10	90	280	90	
Brachionus spec.						10						
Lecane spec.								10				
Polyarthra vulgaris	150	220	120	250	80	10		80	90	230	720	510
Polyarthra major		70								10		
Polyarthra euryptera	10											
Polyarthra dolichoptera												10
Conochilus unicornis								100				
Filinia longispina			10		10							
Asplanchna priodonta	10		30	80	10			30	20			
Trichocerca capucina	20	30									30	
Trichocerca cylindrica												50
Collotheca spec.											30	

Das Auftreten der Calanoiden ist auffällig auf den Beginn der Untersuchungsperiode begrenzt. Cyclops-Copepodide und Nauplien gibt es das ganze Jahr in wenig variierenden Mengen. Adulte Individuen von Cyclops scheinen im Frühsommer am häufigsten. Die Nauplien erreichen im Durchschnitt etwas über 100 Individuen pro Liter, die Copepodide etwa die Hälfte dieses Wertes. Im Hinblick auf den eutrophen Charakter des Gewässers sind die Literwerte der Copepoden eher als mäßig anzusehen.

Die Cladoceren, repräsentiert hauptsächlich durch Bosmina longirostris, Daphnia cucullata und Diaphanosoma brachyurum, haben geringe Größe, kommen aber besonders im Spätsommer und Herbst in recht beträchtlichen Mengen vor. Ihre Individuenzahlen liegen jedoch unter denen von Cyclops.

Am reichlichsten und am regelmäßigsten treten die Rotatorien auf. Sie übertreffen an Anzahl die Crustaceen meistens um ein hundertfaches. Ihre wichtigsten Arten sind Keratella cochlearis und Polyarthra vulgaris. Aus beiden Familien kommen aber noch mehrere andere Arten vor, insgesamt 17 weitere Rotatorien-Arten. Besonders hervorzuheben sind neben Polyarthra vulgaris auch P. dolichoptera und P. euryptera, die letztere eine ausgesprochene Teichform. Bei Keratella cochlearis handelt es sich um zwei klar unterschiedene Rassen, von denen nur die eine im Winter in die robusta-Form übergeht.

Außer Rotatorien und Crustaceen spielen Ciliaten und andere Protozoen zeitweise eine erhebliche Rolle, und zwar ganz besonders zu Zeiten starker Schichtung. Große Ciliaten sind Ende der Saison 1972 noch in größerer Tiefe zu finden. Ab Mai und bis September 1973 ist *Coleps hirtus* u.a. in der Sprungschicht häufig und erreicht im Juni in dieser Schicht ein Maximum von $1.9 \cdot 10^4$ Ind./1.

Ein besonders reiches Protozoenplankton findet sich im August 1973. Neben Coleps, Tintinidium und Vorticella können hier noch mindestens 8 andere Ciliaten-Arten unterschieden werden. Ihre Zahl liegt in der Sprungschicht insgesamt um $3\cdot10^5$ Ind./l. Gleichzeitig tritt im Epilimnion ein Heliozoon mit durchschnittlich ca. $1\cdot10^5$ Ind./l auf. Interessant ist auch die Beobachtung, daß den ganzen Spätsommer und Herbst hindurch eine Thecamoebe planktisch (im Epilimnion) auftritt, im August mit durchschnittlich ca. 500 Ind./l.

7. Faktoren, die die Phytoplanktonentwicklung steuern

7.1 Licht

Auf die Bedeutung des Lichtes wurde bereits bei der Besprechung der einzelnen Gruppen hingewiesen. Gewöhnlich nimmt man das 2- bis 2,5 fache der Sichttiefe als ein grobes Maß für die untere Grenze der trophogenen Schicht. Bei den geringen Sichttiefen des Lampertheimer Badesees bedeutet dies, daß das Licht durchaus zum Minimumfaktor für die Planktonproduktion werden kann. Zwar sind Berechnungen, denen eine Wassersäule über der größten Seetiefe zugrunde gelegt ist, irreführend, da die Bedeutung des Hypolimnions für das Gesamtvolumen des Sees natürlich geringer ist, als es bei dieser Betrachtungsweise erscheint. Man wird aber damit rechnen dürfen, daß sich im Durchschnitt etwa 40 % der Planktonbiomasse unterhalb der Grenze der euphotischen Schicht befindet und also

nicht oder nur gelegentlich zu assimilieren imstande ist, wenn nicht auf heterotrophe Mechanismen ausgewichen werden kann.

Vergleicht man die durchschnittlichen Biomassenschwerpunkte für die verschiedenen Algengruppen und läßt dabei offensichtlich heterotroph lebende Tiefenpopulationen außer acht, so ergibt sich folgende Reihenfolge von oben nach unten:

1. Grünalgen ca. 1,0 m 2. Blaualgen ca. 1,5 m 3. Chrysomonaden ca. 2,0 m 4. Panzerflagellaten ca. 3,0 m

5. Cryptomonadinen ca. 3,5 m (Cryptomonas ca. 5,0 m, Rhodomonas ca. 2,5 m)

6. Kieselalgen ca. 4,0 m 7. Eugleniden ca. 5,0 m

Dieses Bild ändert sich natürlich erheblich, wenn man die Tiefenmaxima der Grünalgen berücksichtigt. Die Reihung reflektiert aber recht gut die Lichtansprüche der verschiedenen Gruppen. Solange keine weiteren Faktoren begrenzen und die Algen keine anderen Kompensationsmöglichkeiten haben (z.B. durch Gasvakuolen oder Geißelbewegung in lichtreiche Schichten zu gelangen), sind die Gruppen mit dem stärksten Lichtbedarf am stärksten benachteiligt.

7.2 Nährsalze

Leider wurde der Phosphorgehalt nur an einem Termin und wurden andere Nährstoffe überhaupt nicht bestimmt. Im allgemeinen erhalten Seen mit hohem Trophiegrad während der Eutrophierung Zuschüsse von mehr oder weniger allen Nährsalzen sowie auch von organischen Stoffen. Beim hohen Elektrolytgehalt und dem hohen Gesamtphosphorgehalt des Lampertheimer Badesees ist es ausgesprochen unwahrscheinlich, daß das Nährsalzangebot im See in irgend einer Weise begrenzend für den Algenzuwachs sein sollte. Zwar verschiebt sich bei eutrophierten Seen oft das Verhältnis zwischen z.B. Phosphor und Stickstoff zugunsten des Phosphors, jedoch sind über längere Zeit stickstoffbegrenzte Seen in Mitteleuropa nicht beschrieben, wenngleich derartige Verhältnisse in oligotrophen Seen auftreten mögen, in denen der Stickstoff in der euphotischen Zone zeitweise nur in organisch gebundener Form vorliegt. Andererseits sind Fälle bekannt, wo Seen bei einseitiger Zufuhr von Phosphaten und Nitraten dennoch nicht mit nennenswerter Produktionssteigerung reagierten, weil der allgemeine Nährstoffstandart so nieder war, daß alsbald der nächste Stoff ins Minimum geriet. Aber auch das scheint im Lampertheimer Badesee unwahrscheinlich.

7.3 Temperatur

Die Temperatur wirkt im allgemeinen nur nahe bei Null Grad begrenzend für die Primärproduktion. Dauernd kalte und gleichzeitig eutrophe Seen sind nicht bekannt, wenn auch viele Phytoplankter noch bei äußerst geringen positiven Temperaturen assimilieren und sich stark vermehren können (PECHLANER, 1970). Dagegen haben viele Arten klar voneinander verschiedene Temperaturoptima, und Temperaturänderungen können Ver-

schiebungen der Planktonzusammensetzung hervorrufen, wobei je nach Temperaturabhängigkeit schnellwüchsige Algen durch langsamerwüchsige ersetzt werden können oder umgekehrt. Ausgesprochene Warmwasserformen sind die meisten Blaualgen und sehr viele Grünalgen, sowie die größeren, gefärbten Formen unter den Peridineen. Ausgesprochene Kaltwasserformen sind die Chrysomonaden, viele Kieselalgen, ein Teil der Grünalgen und die kleineren sowie die meisten der farblosen Peridineen. Bei den Cryptomonadinen sind die Verhältnisse weniger eindeutig. Unter den Kaltwasserformen sind z.B. die Chrysomonaden meist schnellwüchsig, können also auch bei niederen Temperaturen große Produktionen zeigen. Hingegen sind die Peridineen langsamwüchsig. Unter den Warmwasserformen sind vor allem die kleinen Grünalgen schnellwüchsig, weniger dagegen die Blaualgen und auch nicht die Peridineen. An diesen Beispielen läßt sich ermessen, wie sich die Ablösung verschiedener Planktongruppen durch Temperaturveränderungen auf die Primärproduktion im See auswirken kann, und wo und wie sich gegebenenfalls steuernd eingreifen läßt.

7.4 Andere abjotische Faktoren

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung für Veränderungen der Planktonbiozönose sind rein mechanisch wirksame Faktoren, vor allem Turbulenz und im Wasser suspendierte Partikel. Am Beispiel der Kieselalgen wurde gezeigt, wie schwere, vielleicht normalerweise an den Boden gebundene Arten bei anhaltender Zirkulation zum Hauptbestandteil des Planktons werden können. Umgekehrt werden stark lichtbedürftige Arten durch Zirkulation gehemmt, weil sie immer wieder in dunklere Wasserschichten transportiert werden. Turbulenz fördert auch bei manchen Arten – und unterdrückt bei anderen – die Ausbildung von Schwebeeinrichtungen, Kolonien etc. Außerdem bringt Turbulenz lebende Plankter in unfreiwillige Berührung miteinander oder mit toten Partikeln, was den meisten zarteren Formen abträglich ist und indirekt die robusteren Formen begünstigt. Als Beispiel mögen auch hier die Kieselalgen angeführt werden, deren dicke Schalen anderen Partikeln gegenüber unempfindlich sind. Andererseits verklumpen sich mit langen Schwebeborsten ausgestattete Diatomeen mit Detritus. Chrysomonaden vertragen das Auftreten von Ton und ähnlichen mineralischen Partikeln nicht, während Cryptomonaden unter solchen Bedingungen gut leben können.

7.5 Wegfraß durch Zooplankton

Nach klassischer Auffassung geschieht die Kontrolle des Phytoplanktons im wesentlichen oder jedenfalls zu gewissen Zeiten hauptsächlich durch das herbivore Zooplankton. In jüngerer Zeit ist diese Auffassung dahingehend modifiziert worden, daß dies hauptsächlich für oligotrophe Seen gilt, während in eutrophen Seen die Ausnützung des Phytoplanktons durch das Zooplankton in erster Linie auf indirektem Wege, mit Bakterien als Intermediärkonsumenten, geschieht (NAUWERCK, 1963). In eutrophen Seen mit reichlich höherer Wasservegetation oder Zufuhr von organischem Material aus der Umgebung kann das Phytoplankton als Ernährungsbasis für das Zooplankton überhaupt von untergeordneter Bedeutung sein.

Makrophyten und Detritus-Eintrag spielen im Lampertheimer Badesee keine große Rolle, dem eutrophen Seetyp ist er jedoch ohne Zweifel zuzurechnen. Die Kurven für Phytoplanktonbiomasse und Zooplanktonindividuenzahlen verlaufen in diesem See auffällig alternierend, und besonders die Abnahme des Phytoplanktons im Sommer 1973 geht Hand in Hand mit einer starken Zunahme des Zooplanktons. Da das Phytoplankton zum weit überwiegenden Teil aus nannoplanktischen Algen besteht, steht auch von der Partikelgröße her für das Zooplankton kein Hindernis im Wege, das Phytoplankton aufzunehmen. Nimmt man eine Individuenzahl von 100 Cladoceren pro Liter im Epilimnion an und rechnet mit "Filtrierraten" von nur 2 ml pro Tier und Tag, so genügen 5 Tage, um das Wasser theoretisch einmal durchzufiltrieren und vom Phytoplankton zu befreien. Zu den 100 Cladoceren kommen noch ein paar tausend Rotatorien sowie eine noch größere Zahl von Protozoen, 100 Nauplien, 50 Cyclops-Copepodide. Zusammen vermögen diese das Phytoplankton durchaus unter Kontrolle zu halten, das sich seinerseits bestenfalls jeden zweiten Tag einmal verdoppelt. Man wird damit rechnen dürfen, daß Kontrolle des Phytoplanktons durch das Zooplankton im Lampertheimer Badesee wenigstens im Sommer und Herbst eine Rolle spielt.

7.6 Interaktionen im Plankton

Nicht nur das Zooplankton lebt weitgehend herbivor, auch viele Mitglieder der Phytoplanktongesellschaft können ganz, teilweise oder zeitweise phagotroph von Algen leben. Dadurch geschieht natürlich ebenfalls eine gewisse Kontrolle und Pufferung der Phytoplanktonproduktion. Indessen scheint diese Möglichkeit im Lampertheimer Badesee von verhältnismäßig geringer Bedeutung zu sein. Größere Bedeutung könnte die gegenseitige Unverträglichkeit von Stoffwechselprodukten verschiedener Algengruppen oder die Unverträglichkeit gegenüber eigenen Stoffwechselprodukten bei alternden Algenpopulationen haben (Heteroantagonismus, Autantagonismus). Die letztere Beeinflussung, die sozusagen den natürlichen Tod nicht anderweitig kontrollierter Algenpopulationen herbeiführt, scheint bei der sterbenden *Cyclotella*-Population im Herbst 1972 angedeutet zu sein.

Bekannt ist, daß sich z.B. Aphanizomenon gracile und die meisten Grünalgen mehr oder weniger gegeneinander ausschließen. Die Stoffwechselprodukte der einen Art wirken teilungshemmend auf die Zellen der anderen Art und führen schließlich zur Plasmolyse. Auch Crytomonadinen und Blaualgen vertragen sich schlecht. Im Lampertheimer Badesee läßt sich diese Beobachtung bestätigen.

8. Zusammenfassung

Die limnologischen Verhältnisse im Lampertheimer Badesee wurden im Rahmen einer Vorstudie für ein Großexperiment zur Elimination von Plankton durch Abfiltrierung untersucht. Besonderes Augenmerk wurde dem Jahreszyklus des Phytoplanktons gewidmet. Die Untersuchung lief von September 1972 bis September 1973.

Der Lampertheimer Badesee ist ein Baggersee von ca. 2 ha Oberfläche, einer mittleren Tiefe von 4 - 5 m, einer maximalen Tiefe von 11 m und einem Volumen von etwa 100.000 m³. Der See ist die meiste Zeit des Jahres mehr oder weniger scharf geschichtet und verzeichnet im Sommer und Herbst erhebliche Sauerstoffdefizite im Hypolimnion.

Aus der Untersuchung physikalischer und chemischer Parameter läßt sich schließen, daß Schichtung und Sauerstoffdefizit in diesem See durch eindringendes Grundwasser stark beeinflußt werden. Grundwassereinbrüche werden sicher durch das Abpumpen von Nutzwasser aus dem See bedingt. Ob und inwieweit auch unabhängig davon ein mehr oder weniger dauernder Durchzug von Grundwasser besteht, könnte nur durch zusätzliche Untersuchungen geklärt werden.

Die Ergebnisse der Phytoplanktonuntersuchungen bestätigen, daß der Sauerstoffschwund im Hypolimnion nicht allein auf autochthone organische Substanz zurückgehen kann, sondern daß dem See mit dem Grundwasser erhebliche Mengen reduzierter Substanz zugeführt werden müssen.

Die Vertikalverteilung der Biomasse des Phytoplanktons folgt der thermischen und chemischen Schichtung des Sees, der Durchschnittswert für die untersuchte Wassersäule zeigt aber im Jahreslauf nur geringe Schwankungen. Minima und Maxima der Phytoplankton-Biomasse verhalten sich nur wie 1:3, bezogen auf das Epilimnion allein wie 1:4. Die Maxima liegen im Herbst, die Minima im Winter. Der Mittelwert ist mit ca. 2 mg Frischgewicht pro Liter als hoch zu bezeichnen.

Die Artenzahl ist mit ca. 140 quantitativ wichtigen Arten hoch. Etwa 50 Arten treten bei verschiedener Gelegenheit unter den Dominanten auf. Rhodomonas minuta, Cryptomonas marssonii, Cyclotella ocellata, Erkenia subaequiciliata (= Chrysochromulina parva) und Ankistrodesmus falcatus spirilliformis (= Monoraphidium contortum) sind die wichtigsten Arten.

Als Gruppen gerechnet sind Cryptomonadinen, Diatomeen und Chrysomonaden quantitativ am bedeutendsten. Am artenreichsten sind die Grünalgen und die Blaualgen. Für das Vorkommen der verschiedenen Gruppen lassen sich charakteristische Sukzessionen in Zeit und Tiefe feststellen, wie sie für natürliche Seen bekannt sind.

Die Kontrolle der Planktonproduktion scheint in erster Linie durch physikalische Faktoren (Licht, Partikeldichte), in zweiter Linie durch biologische Faktoren (Wegfraß durch Zooplankton) zu erfolgen, dagegen scheinen Nährsalze die Produktion nicht zu begrenzen.

9. Literatur

- FINDENEGG, I. (1968): Das Phytoplankton des Piburger Sees im Jahre 1966. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, 56: 163 176.
- (1972): Das Phytoplankton des Reither Sees (Tirol, Österreich) im Jahre 1971. Bef. nat.-med. Ver. Innsbruck, 59: 15 24.
- (1973): Die Wirkung eutrophierungshemmender Maßnahmen auf das Phytoplankton des Reither Sees in Tirol. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, 60: 7 14.
- GOLTERMAN, H. L. (1970): Methods for Chemical Analysis of Fresh Waters, IBP Handbook No 8, Blackwell Scient, Publ., Oxford u. Edinburgh, 1 166.

- GOULDER, R. (1968): Aspects of primary productivity in certain gravel pits at Brandesburton. Ph. D. thesis, Univ. of Hull, U.K.
- (1969): Interactions between the rates of production of a freshwater macrophyte and phytoplankton in a pond. – Oikos, 20: 300 - 309.
- HAMM, A. (1975a): Chemisch-biologische Gewässeruntersuchungen an Kleinseen und Baggerseen im Großraum von München im Hinblick auf die Bade- und Erholungsfunktion. Münchner Beitr. Abwasser-, Fisch- und Flußbiologie, 26: 75 109.
- (1975b): Eutrophierungsprobleme am Freudensee (Bayer. Wald), einem Badesee mit ländlichem Einzugsgebiet. III. Mitteilung: Seenrestaurierung durch Ausbaggern. – Wasser- u. Abwasser-Forschung, 8: 42 - 46.
- HAPPEY, C. M. (1970): The effects of stratification on phytoplanktonic diatoms in a small body of water. J. Ecol., 58: 635 651.
- and B. MOSS (1967): Some aspects of the biology of Chrysococcus diaphanus in
 Abbots Pond, Sommerset. Br. phycol. Bull., 3: 269 279.
- HEHENWARTER, E. (1967): Baggerseen, künstliche Kleingewässer und ihre limnologischen Probleme. Föd. Europ. Gewässerschutz, Inf.-Bl., 14: 38-42.
- HICKEL, B. (1975): Changes in phytoplankton species composition since 1894 in two lakes of East-Holstein, Germany. Verh. int. Verein. Limnol., 19: 1229 1240.
- KLOTTER, H.-E. und G. ECK (1963): Über das Baden in Kies- und Sandgruben (Baggerseen). Städtehygiene, 7: 124 128.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe (1975, 1977): Wasserwirtschaftliche Untersuchungen an Baggerseen; 1. Bericht Dezember 1975; 2. Bericht Juni 1977.
- NAUWERCK, A. (1963): Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken.

 Symb. Bot. Upsalienses, 17 (5): 1 163.
- OHLE, W. (1962): Der Stoffhaushalt der Seen als Grundlage einer allgemeinen Stoffwechseldynamik der Gewässer. Kieler Meeresforsch., 18, 3 (Sonderh.): 107 120.
- PECHLANER, R. (1970): The phytoplankton spring outburst and its conditions in Lake Erken (Sweden). Limnol. Oceanogr., 15: 113 130.
- und N. SCHULZ (1973): Die Restaurierung eines eutrophierten Badesees (Reither See,
 Tirol, Österreich). Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, 60: 183 201.
- PSENNER, R. und E. ROTT (1978): Sieben Jahre Gewässerschutz und limnologische Überwachung am Reither See (Tirol). Jber. Abt. Limnol. Innsbruck 4: 212 238.
- ROTT, E. (1975): Phytoplankton (Artenspektrum, Biomasse, Pigmente, Produktionsrate) und kurzwellige Strahlung im Piburger See. Diss. Univ. Innsbruck, 1 113.
- (1976): Ökologische Beobachtungen an der Blaualge Oscillatoria limosa AG. im Piburger See. Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck, 63: 57 66.
- und P. SCHABER (1978): Die Entwicklung des eutrophen Schwarzsees bei Kitzbühel seit 1974. – Jber. Abt. Limnol. Innsbruck 4: 239 - 251.
- RYDLO, H. (1976): Fischereibiologische Aspekte von Baggerseen. Projekt Life-2000 (Salzburg), 1: 58 - 60.
- TIEFENBRUNNER, F. und E. ROTT (1975): Zur Biologie eines künstlich entstandenen Kleinbadesees. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B, 160: 268 285.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen

Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: 65

Autor(en)/Author(s): Nauwerck Arnold, Pechlaner Roland, Sacherer

Franz A., Weiss Albrecht

Artikel/Article: <u>Die Phytoplanktonentwicklung in einem eutrophen</u> Baggersee bei Lampertheim (Hessen, B.R.D.) im Jahresgang. 23-54