

# Versuche mit Plankton-Test-Loten im Baldeggersee

Erster Teil, vom 19. März bis 13. Mai 1958

(Aus dem kantonalen Laboratorium Zürich; Vorstand Dr. M. STAUB)

Herrn Prof. Dr. HANS STEINER mit Verehrung und Dankbarkeit zum 70. Geburtstag gewidmet

von

E. A. THOMAS (Zürich)

### A. Vorwort

In ersten Versuchen wurden im Jahre 1957 an einem Kleinsee (Finstensee, Kanton Zug) Erfahrungen gesammelt für die Verwendung des Plankton-Test-Lotes zum experimentellen Studium des Verhaltens von Planktonorganismen im See (THOMAS, 1958). Von besonderem Interesse waren dabei einige Beobachtungen über das Verhalten von *Oscillatoria rubescens*, dieser im Zürichsee eine bedeutungsvolle Rolle spielenden Planktonalge. Es wäre nun naheliegend gewesen, Test-Lot-Untersuchungen während des Jahres 1958 im Zürichsee durchzuführen. Wir fürchteten jedoch vorerst eine Beschädigung unserer schwimmenden Apparatur durch die zahlreichen den See befahrenden Boote oder durch Badende, unter Umständen auch durch die hier zeitweise kräftigen Stürme. Die Suche nach einem geeigneten *Oscillatoria*-See führte uns an den Baldeggersee, der unter Naturschutz steht, so dass die beiden ersten Punkte in den Hintergrund traten. Den Organen des Schweizerischen Bundes für Naturschutz (Präsident der Baldeggersee-Kommission: Herr Prof. Dr. KONRAD ESCHER, Zürich) möchten wir an dieser Stelle bestens danken für die Benützungsbewilligung von Bootshaus und Laboratorium am Baldeggersee, ebenso den Herren Direktor ED. EICHENBERGER und Sekundarlehrer J. BUSSMANN für die freundliche Bewilligung zum Benützen ihrer Boote.

Die Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich ermöglichte uns die Anschaffung von drei weiteren Plankton-Test-Loten, und der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung gewährte uns einen Kredit zur Anstellung eines Assistenten; beiden Organisationen bin ich für die Förderung dieser Untersuchungen sehr dankbar. Das Auszählen der Planktonalgen besorgte teilweise Herr Prof. Dr. A. JURILJ; bei den Arbeiten auf dem See half Herr W. SCHNEEBELI, Techniker am kantonalen Laboratorium Zürich.

## B. Methodik

Vom 19. März bis 10. April 1958 war nur ein Bojensystem (Abbildung bei THOMAS, 1958) mit je einem dunklen und einem hellen Lot ausgesetzt, vom 10. April bis 14. Oktober 1958 zwei Bojensysteme mit einem dunklen und vier hellen Plexiglas-Loten. Die Bojensysteme waren beim Bootshaus Gelfingen in einer Uferentfernung von etwa 150 m bei einer Seetiefe von etwa 20 m verankert. Während die Rohre ursprünglich meterweise mit Schraubverschlüssen miteinander verbunden waren, sind wir dazu übergegangen, bei den neuen Loten Rohre von je 2 m Länge zu verwenden und diese mit durch Gummipackungen abgedichteten Bajonettverschlüssen zu verbinden. Im untersten Rohr stand ursprünglich auf einer abschraubbaren Siebplatte ein kleines Becherglas; im Laufe der Untersuchungen wurde dieses Glas jedoch bei Sturm bewegt und in einigen Fällen zerstört. Wir gingen deshalb über zur Verwendung von Polyäthylenfläschchen mit 50 ml Inhalt und Schraubdeckel, mit einer oberen Lichtweite (Sediment-Auffangfläche) von 5,72 cm<sup>2</sup> und einer Bodenfläche von 8 cm<sup>2</sup>. Diese Fläschchen werden auf der Siebplatte des Rohres festgebunden, damit selbst bei Sturm das Sediment nicht aufgewirbelt wird. Auch der verengerte Hals der Fläschchen wirkt sich in dieser Beziehung günstig aus.

Zum Aufhängen der Lote an der obersten Stange des Bojensystems werden speziell konstruierte, stabile Haken verwendet. Ausserdem sind die Lote durch eine Schnur so mit den Bojen verbunden, dass sie bei Sturm nicht zusammensinken können. Für die Probenahme hat sich nunmehr die Verwendung einer Saugpumpe bestens bewährt. Bei einem Innendurchmesser der Rohre von 5,35 cm müssen oben 2,25 Liter Wasser abgesogen werden, bis die oberste 1-m-Schicht voll erfasst ist. Selbstverständlich steigen dabei die tieferliegenden Wasserschichten im Rohr um einen Meter höher, so dass anschliessend die 2-m-Schicht gewonnen werden kann usw. Um Wirbelbildungen zu verhindern, hängen wir im Rohr ein kleines Plasticbecherchen einige Zentimeter unter die Wasseroberfläche und saugen das Wasser aus diesem Becherchen. Wir konnten uns davon überzeugen, dass auf diese Weise das tieferliegende Wasser in durchaus laminarer Strömung emporsteigt, als sich im Wasser Knäuel von *Oscillatoria*-Algen befanden, die beim Pumpen wie durch einen Lift mit dem umgebenden Wasser emporgebracht wurden. Der Pumpenausfluss wird zweckmässigerweise in einen in unserem Falle auf 2200 ml geeichten Erlenmeyer-Kolben geleitet, wobei wir die Sauerstoffprobe, wenn nichts anderes vermerkt ist, nach Auspumpen der halben Wassermenge abfüllen, also bei 0,5 m, 1,5 m usw. (50 ml).

Die Wasserentnahme aus einem 7 m langen Plankton-Test-Lot benötigt nach dieser Methodik 20 bis 30 Minuten. Wir hatten ursprünglich geglaubt, gleichzeitig mit der Probenahme auch die Temperaturen des Wassers aus den verschiedenen Tiefen bestimmen zu können; dies ist aber nur für die Temperatur des Oberflächenwassers möglich. Die bei der Probenahme verstreichende Zeit erlaubt nämlich dem im Rohr emporsteigenden Wasser tieferer Schichten, seine Temperatur derjenigen der oberen Schichten anzugleichen. Wir verzichteten deshalb auf die Bestimmung der Tiefentemperaturen im Lot und ermittelten

nun jeweils das Temperaturprofil von Meter zu Meter direkt im See; beim Fehlen von Sprungschichtneigungen stimmen diese Temperaturen mit denjenigen in den Plankton-Test-Loten überein. – Es erwies sich als notwendig, die Rohre nach jeder Probenahme, das heisst vor jeder neuen Exposition, innen und aussen gründlich zu reinigen. Aussen geschieht dies von Hand, innen mittels einer speziell konstruierten Bürste (aus Schweinsborsten), ähnlich einem Flaschenreiniger.

Im Verlaufe der Untersuchungen vom Sommer 1958 erweiterten wir sodann die Test-Lot-Methodik durch die Einführung eines Rührers. Zwar dürften die auf Differenzen der Lufttemperaturen und der Ein- und Ausstrahlung beruhenden vertikalen Wasserströmungen in den Test-Loten kaum gehemmt werden; hingegen ist im freien See die Strömungsintensität bei Windwirkung erhöht durch Wellentätigkeit an der Oberfläche und durch Windstauwirkung und Sprungschichtneigungen bis in tiefere Schichten. Wellen erzeugen an sich im Test-Lot Wasserspiegelschwankungen, die kleiner sind als im freien See; dabei dürften die turbulenten Strömungen im Test-Lot kleiner sein als im wellenbewegten freien See. Um die Durchmischung in den Test-Loten zu erhöhen, führten wir für einige Versuche in 50 cm Wassertiefe eine Plexiglasplatte von 4 mm Dicke und 45 mm Durchmesser ein, die mit 24 konischen Löchern versehen ist, deren engere Öffnung 5 mm beträgt. Bewegt man diese Lochplatte mit einseitig konischen Löchern, die parallel zum Seespiegel liegt, im Test-Lot auf und ab, so entstehen Mischung herbeiführende Strömungen, ähnlich wie beim Vibro-Mischer von Dr.-Ing. HANS MÜLLER, Männedorf. Dabei ist die Fliessgeschwindigkeit beim Verlassen der engeren Öffnung grösser als beim Verlassen der weiteren Öffnung, während im Wasserraum zwischen Lochplatte und Rohr die Ausgleichströmungen erfolgen. Gibt man auf die Lochplatte einen grossen Kristall von Kaliumpermanganat (zum Beispiel Nadel von 1 cm Länge) und fährt sorgfältig in einen genügend weiten, mit Wasser gefüllten Messzylinder ein, so kann man sich beim Auf- und Ab-Bewegen der an einem Draht befestigten Lochplatte ein gutes Bild machen über die Durchmischungsmöglichkeit im Test-Lot.

Als Motor zur Bewegung der Lochplatte benützen wir auf dem See die Wellen. Die im Lot parallel zum Seespiegel an einem steifen Draht aufgehängte Lochplatte ist deshalb über den oberen Rand des Test-Lotes verbunden mit einem kräftigen Korkstopfen von 5 cm Durchmesser, der auf dem freien Seespiegel schwimmt. Der Spielraum des Drahtes ist so eingestellt, dass der Kork sich mit Wellenberg und Wellental auf und ab bewegt, gleichzeitig die Lochplatte im Test-Lot zur Misch-Strömung auf und ab bewegend. Im praktischen Gebrauch hat sich dieses Wellenreitersystem des Mixers sehr gut bewährt. Wenn der See windstill liegt, ruht der Wellenmischer, aber dann sind naturgemäss auch im See die turbulenten Strömungen auf ein Minimum herabgesetzt.

Es sei noch beigefügt, dass in den untersten Dezimetern eines Test-Lotes bei Wellengang direkt oder durch turbulente Strömungen immer wieder ein Austausch des Wassers von unten her erfolgt. Wir messen deshalb der aus dem untersten Meter des Test-Lotes gewonnenen Probe keine typische Bedeutung bei.

### C. Exposition von Plankton-Loten

#### 1. Exposition vom 19. bis 27. März 1958 (8 Tage)

##### a) Versuchsanordnung

An nur einem Bojensystem waren ein helles Lot (Plexiglas) und ein dunkles Lot (Symalen, oben mit Blechdeckel verdunkelt) von je 6 m Länge aufgehängt. Bei diesem und allen weiteren Versuchen des Jahres 1958 war am unteren Ende jedes Lotes eine durchlöchernte Platte aufgeschraubt, so dass zwar das Wasser leicht eindringen konnte, sich aber doch ein Sedimentbecher (bei den ersten Versuchen noch aus Glas) einsetzen liess.

Um die in den Test-Loten gefundenen chemischen und biologischen Bedingungen mit dem Wasser des freien Sees vergleichen zu können, entnahmen wir am Ende der Expositionszeit sofort nach der Wasserentnahme ein entsprechendes See-Profil. Hierzu hoben wir ein Lot aus dem Wasser, reinigten die Rohrstücke und hängten es erneut in den See, diesmal aber, um nun in gleicher Weise wie bei den tagelang exponierten Loten von oben her die Wasserproben der verschiedenen Tiefenstufen abzupumpen und zu gewinnen. Diese sofortigen See-Lot-Proben lassen sich einerseits vergleichen mit den Proben der vorher exponierten Lote, aber auch als Nullpunkt verwenden für die anschliessend exponierten Test-Lote.

##### b) Biologie des Test-Lot-Wassers

Während dieser ersten Exposition herrschte ruhiges Wetter, zum Teil sonnig mit leichten Minus-Temperaturen nachts. Am 27. März war der See vormittags teilweise mit einer bis 3 mm starken Eisschicht bedeckt, die sich mittags auflöste. *Oscillatoria rubescens* DC. war im See stellenweise etwas aufgerahmt (wie Flecken öliger Farbe); ihre Verteilung in den Test-Loten und im sofort erhobenen See-Lot ist aus Tab. 1 ersichtlich.

Tabelle 1 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	
0—1	776	3050	572	
1—2	380	360	536	
2—3	404	340	552	
3—4	480	248	440	
4—5	602	412	456	
(5—6)	(600)	(528)	(432)	
Mittel	0—5	528	882	511

Nach Tab. 1 war somit *Oscillatoria* im See nur schwach geschichtet; die obersten 3 Meter enthielten rund 100 Fäden mehr als die Schicht von 3 bis 6 m Tiefe. Im hellen Lot machte sich eine leichte Aufrahmung der Alge im obersten Meter geltend, die jedoch im dunklen Rohr viel ausgeprägter in Erscheinung trat; hier waren Fäden aus 2 bis 5 m Tiefe an die Oberfläche gestiegen. Die grössere Fädenzahl im dunklen Lot dürfte auf teilweisen Fädenzerfall zurückzuführen sein.

Die Zahl der übrigen Algen blieb im See und in den exponierten Loten klein. Von *Lyngbya limnetica* Lemm. waren pro ml nur einzelne Fäden zu beobachten, von *Asterionella formosa* Hass. und von *Fragilaria crotonensis* Kitt. nur einzelne Kolonien. Etwas häufiger erschien *Synedra acus* var. *radians* (Kg.) Hust. mit 11 bis 13 Zellen pro ml im See-Lot (sofort) in 0 bis 6 m Tiefe und im hellen und dunklen Lot unterhalb von 3 m Tiefe, während im dunklen und besonders im hellen Lot in den obersten Proben eine Abnahme auf 6 bis 2 Zellen pro ml ersichtlich war.

Bechersedimente: Da diese Versuchsperiode sehr windarm war, gewannen wir einwandfreie Bechersedimente. *Oscillatoria rubescens* hatte sich weder im hellen noch im dunklen Lot abgesetzt; die Fädenzahl war mit der des überliegenden Wassers etwa identisch. Dagegen enthielt das Sediment des hellen Lotes pro Quadratcentimeter 1817 und das des dunklen Lotes 746 Zellen von *Synedra*. Bei beiden Loten entsprechen diese Sedimente grössenordnungsmässig dem Algenverlust des Wassers. Mengenmässig bestand aber das Sediment in dieser Periode vorwiegend aus flockigem, formlosem Material. Da der See zu dieser Zeit zooplanktonarm war, kann es sich kaum um Fäkalien handeln, eher um ausgeflockte organische Stoffe und teilweise um Bakterien.

#### c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Die Seewassertemperatur lag in dieser Versuchsperiode bei 4,0° C, nur an der Oberfläche um einige Zehntelgrade niedriger. Entsprechend war der Chemismus des Sees zwischen 0 und 6 m Tiefe noch voll ausgeglichen, der  $p_H$ -Wert 7,8, die Karbonathärte 19,5 französische Härtegrade, der Phosphatgehalt 0,3 mg/l  $PO_4'''$  und der Gesamtphosphor als  $PO_4'''$  um 0,5 mg/l. Auch die Stickstoffverbindungen verteilten sich ohne Schichtung mit 1,5 bis 1,7 mg/l  $NO_3'$ , 0,01 bis 0,005 mg/l  $NO_2'$  und 0,03 bis 0,05 mg/l  $NH_3$ . Wir fanden somit noch typische Winterverhältnisse vor.

Der Sauerstoffgehalt war im See-Lot (sofort) und im dunklen Lot mit einem Mittel von 11,48 und 11,67 mg/l fast gleich und nur im hellen Lot mit 12,33 mg/l leicht erhöht, möglicherweise durch die bei Einstrahlung hier etwas erhöhte Temperatur und Assimilation.

#### d) Zusammenfassung über die Exposition vom 19. bis 27. März 1958

Das auffallende Aufrahmen von *Oscillatoria* im dunklen Rohr lief zu dieser Zeit nicht parallel mit einer erkennbaren Änderung im Chemismus des Wassers; es dürfte primär auf den Lichtmangel zurückzuführen sein. Dieses Verhalten stimmt überein mit *Oscillatoria* im Finstersee in der Zeit vom 9. bis 27. September 1957 (THOMAS, 1958).

## 2. Exposition vom 27. März bis 10. April (14 Tage)

### a) Versuchsanordnung

Ein am Nachmittag des 27. März hereinbrechender Sturm verhinderte uns, das zweite Bojensystem zu setzen; die Versuchsanordnung blieb deshalb gleich wie bei der ersten Exposition.

b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Im Gegensatz zur ersten Periode bewegte oft Wind den See. Im Planktonbestand trat kaum eine Änderung ein, wie aus Tab. 2 hervorgeht.

Tabelle 2 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (2. Exposition)

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)
0—1	535	490	575
1—2	465	545	750
2—3	425	585	515
3—4	550	585	515
4—5	575	470	580
(5—6)	(530)	(550)	(495)
Mittel 0—5	510	535	587

In dieser Periode stieg die Wassertemperatur von 4,0 auf 4,6° C, doch verursachten die Stürme ein volles Durchmischen der obersten Schichten. Da eine thermische Schichtung noch fehlte, verhinderten die turbulenten Strömungen auch in den Test-Loten ein Aufräumen von *Oscillatoria*. Die Zahl der *Synedra*-Zellen war leicht erhöht auf 12 bis 17 pro ml, ohne dass die geringste Schichtung festzustellen war.

Bechersedimente: Da die Becherchen in diesem Versuch noch aus Glas bestanden und nicht auf der Unterlage angebunden waren, zerschlug das Glas im dunklen Lot, während im hellen Lot durch die Bewegung ein Teil ausgewaschen wurde. Es kann deshalb nur qualitativ ausgesagt werden, dass das Sediment dieser Periode aus gleichem Material bestand wie bei Exposition 1.

c) *Chemismus des Test-Lot-Wassers*

Der Chemismus des Wassers beider Lote hatte sich bei einer Temperatur des Oberflächenwassers von 4,6° C während dieser Exposition kaum geändert und unterschied sich nicht vom See-Lot. Einzig der Sauerstoffgehalt im hellen Lot war auf im Mittel 12,75 mg/l gestiegen; im dunklen Lot fanden wir 12,47 und im See-Lot (sofort) 12,20 mg/l.

d) *Zusammenfassung über die Exposition vom 27. März bis 10. April 1958*

Regen- und Schneefälle und windreiches Wetter hatten sogar in den Loten die Ausbildung jeder Schichtung verhindert, so dass auch *Oscillatoria* in dieser Periode nicht aufrahmte.

## 3. Exposition vom 10. bis 23. April (13 Tage)

a) *Versuchsordnung*

In dieser Periode befand sich erstmals das zweite Bojensystem auf dem See, an dem weitere drei Plexiglas-Test-Lote aufgehängt waren, nun aber von 7 m Länge, ebenso die beiden ersten Lote. In der Versuchsreihe waren wieder ein helles und das dunkle Lot ohne alle Zutaten aufgehängt, ferner gaben zum Ver-

gleich die Proben aus dem «See-Lot» (sofort) Aufschluss über den Seezustand am Tage der Probennahme. Zu den drei übrigen Loten wurden Nährlösungen oben eingegossen, beim «P-Lot» 100 ml Phosphatlösung, beim «PN-Lot» je 100 ml Phosphat- und Nitratlösung und beim «N-Lot» 100 ml Nitratlösung. Die Nitratlösung enthielt in destilliertem Wasser 823 mg/l  $\text{NaNO}_3$ , die Phosphatlösung 87,2 mg/l  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  oder 98,5 mg/l  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; es handelte sich somit um dieselben Nährlösungen, die wir früher für Eutrophierungsversuche verwendet hatten (THOMAS, 1953), also mit 600 mg/l Nitrat und 60 mg/l Phosphat.

Ziel dieser Untersuchungen war unter anderem, zu prüfen, ob die Zugabe von Nitrat und Phosphat allein oder kombiniert genügt, um ein erhöhtes Algenwachstum zu produzieren.

### b) Biologie des Test-Lot-Wassers

Bei dieser Untersuchungsreihe verhielt sich *Oscillatoria rubescens* sehr auffällig, indem ein grosser Teil der Fäden in den Loten aufrahmte, in den Loten mit Nährlösungszusatz stärker als in den zusatzfreien. Hier sei vorweggenommen, dass letztere Beobachtung nicht verallgemeinert werden darf. Die Verteilung der Algenfäden ist aus Tab. 3 ersichtlich. Es scheint, dass in dieser Untersuchungsperiode die Alge sowohl in den Loten als auch im freien See die Tendenz hatte, gegen die Oberfläche zu steigen. Auf dem freien See wurde sie jedoch durch den Wind zusammengekehrt und teilweise gegen die Ufer verfrachtet, während in den Loten eine Vermehrung oder ein Aufsteigen aus tieferen Schichten stattfand. Die Fadenlänge war in den verschiedenen Loten ausgeglichen.

Tabelle 3 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (3. Exposition)

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot	
0—1	1800	1740	865	3821	4110	4000	
1—2	625	985	750	780	600	640	
2—3	570	750	825	555	600	575	
3—4	600	645	620	655	540	475	
4—5	595	530	560	470	515	575	
5—6	645	540	555	610	540	585	
(6—7)	(525)	(605)	(545)	(500)	(540)	(650)	
Mittel	0—6	806	865	696	1148	1151	1142

*Synedra acus* var. *radians* war im See-Lot (sofort) zwischen 0 und 7 m Tiefe in Mengen von 35 bis 49 Zellen pro ml vorhanden, aber in allen Loten in niedrigeren Mengen, besonders in den beiden obersten Metern (3 bis 10 pro ml).

Bechersedimente: Sie wurden aus dem hellen und dunklen Lot gewonnen. Zahlen- und mengenmässig überwog *Stephanodiscus astraea* var. *minutula* (Kg.) Grun. mit 10 033 Zellen pro Quadratcentimeter im hellen Lot und 12 317 Zellen im dunklen Lot gegenüber unerheblichen Mengen von *Oscillatoria* und *Synedra*. Da ich mich während dieser Versuchsperiode im Militärdienst befand, ist leider *Stephanodiscus* in 0 bis 7 m Tiefe nicht ausgezählt worden; er trat jedoch auch in der folgenden Versuchsperiode sehr häufig auf.

### c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Obschon nun die Temperatur des Oberflächenwassers auf  $8,5^{\circ}\text{C}$  gestiegen war, hatten noch keine chemischen Umsetzungen stattgefunden, die quantitativ ins Gewicht fielen. Wir verzeichneten fast ausnahmslos  $p_{\text{H}}$ -Werte von 7,85 bis 7,90, nur im freien See (See-Lot, sofort) eine leichte Erhöhung auf 7,95 bis 8,05 in den obersten drei Metern. Im übrigen gelten für alle Lote und den freien See immer noch die Gehaltszahlen, die nach der ersten Exposition am 27. März bestimmt wurden. Die in drei Loten zugegebenen Nährlösungen sind offenbar noch nicht angegriffen worden. Im P-Lot waren die zugegebenen Phosphate nun auf die obersten drei Meter verteilt, ohne dass die Nitrate abgenommen hätten. Die Nitrate waren im N-Lot bis tiefer hinab verteilt, aber auch hier betrug der Phosphatgehalt wie im freien See  $0,3\text{ mg/l}$ . Im PN-Lot enthielt das Oberflächenwasser  $1,15\text{ mg/l PO}_4'''$  und  $3,3\text{ mg/l NO}_3'$ , ebenfalls ohne Ansteigen des Ammoniakgehaltes.

Der mittlere Sauerstoffgehalt ergab für die Tiefe von 0 bis 5 m folgende Werte: helles Lot  $9,16\text{ mg/l}$ , dunkles Lot  $9,68\text{ mg/l}$ , See-Lot (sofort)  $11,43\text{ mg/l}$ , P-Lot  $9,76\text{ mg/l}$ , PN-Lot  $10,47\text{ mg/l}$ , N-Lot  $10,35\text{ mg/l}$ . Nach diesem Befund ist die Sauerstoffzehrung innerhalb der Lote intensiver als ausserhalb, eine Beobachtung, der in den folgenden Expositionen spezielle Aufmerksamkeit zu schenken ist.

### d) Zusammenfassung über die Exposition vom 10. bis 23. April 1958

Im freien See enthielt das Epilimnion in den obersten drei Metern etwas mehr *Oscillatoria* als darunter; in allen Loten, besonders stark in denen mit Nährlösungszugabe, hatte ein Aufrahmen von *Oscillatoria* eingesetzt. Während die Algen im dunklen Lot die typische rotviolette Farbe zeigten, erschienen sie in den übrigen Loten hellblaugrün.

Ein Aufrahmen von *Oscillatoria rubescens* findet im Baldeggersee (im Gegensatz zum Zürichsee) oft in ausgedehntem Masse statt. Die an der Oberfläche schwimmenden Algen werden dann vom Winde gegen das Ufer getrieben und in flachen Buchten abgelagert. Da aber im See die Zahl der Algenfäden vom 10. bis 23. April zunahm, ist anzunehmen, dass die Bedingungen für das Aufrahmen in den Loten besonders günstig waren. Vielleicht sind *Oscillatoria*-Fäden in grösserer Zahl aus den Tiefenschichten an die Oberfläche gestiegen und haben sich in den Loten entsprechend angesammelt. – Ein wesentlicher Stoffumsatz war mit den chemischen Methoden noch nicht nachweisbar.

## 4. Exposition vom 23. April bis 13. Mai (20 Tage)

### a) Versuchsanordnung

Wie bei der dritten Exposition. Bei der Probenahme vom 13. Mai waren alle Lote in einer Tiefe von 0 bis gegen 2 m aussen mit einer gelben Schicht von Pollenkörnern und Kalkabscheidungen überzogen, die zwischen 0 und 1 m Tiefe besonders dick erschien. Diese Schicht dürfte durch Lichtenzug gegen Ende der Expositionszeit die Assimilation behindert haben.



b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Erstmals gewannen während dieser Expositionszeit die Kieselalgen an Bedeutung, von denen ausser dem massenhaft vorhandenen *Stephanodiscus astraera* var. *minutula* auch *Asterionella formosa* und *Synedra acus* var. *radians* und var. *angustissima* erwähnenswert sind. Vorerst sei aber die Schichtung von *Oscillatoria* besprochen, wie aus Tab. 4 ersichtlich.

Tabelle 4 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (4. Exposition)

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot	
0—1	2275	2500	450	1865	2125	1750	
1—2	1710	1060	525	1450	1465	1280	
2—3	1080	710	510	1080	840	910	
3—4	815	600	740	955	850	915	
4—5	600	608	745	776	568	760	
5—6	600	440	716	648	520	540	
(6—7)	(376)	(392)	(676)	(568)	(496)	(428)	
Mittel	0—6	1180	986	614	1129	1061	1026

Bei dieser Exposition erfolgte also wieder ein Aufräumen von *Oscillatoria*, am stärksten im dunklen Lot; obschon im freien See die Verteilung der Fäden gleichmässiger erscheint, fanden nach unseren Beobachtungen auch dort Aufräumungen statt, die sich jedoch am Ufer zusammenballten und zersetzten. Dies mag dazu geführt haben, dass im Oberflächenwasser des freien Sees die *Oscillatoria*-Zahl abgenommen hat.

Im Gegensatz zu *Oscillatoria* war die Verteilung bei *Stephanodiscus* sowohl im freien See als auch in den Loten von der Oberfläche bis zu 7 m Tiefe weitgehend ausgeglichen. Es genügt deshalb, wenn wir in Tab. 5 die mittleren Zahlen von *Stephanodiscus*-Zellen aufführen, gleichzeitig die mittleren Zellenzahlen der beiden anderen Kieselalgen beifügend.

Tabelle 5 Diatomeenzellen in 0 bis 6 m Tiefe im Mittel pro ml (4. Exposition)

	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
<i>Stephanodiscus</i>	1962	1558	860	1588	1310	1447
<i>Synedra</i>	77	95	266	89	69	88
<i>Asterionella</i>	44	98	119	36	17	40

Bechersedimente: Leider konnte bei dieser Versuchsserie nur im hellen Lot ein einwandfreies Bechersediment gewonnen werden; es lohnt sich aber, die Auszählung dieses Sedimentes mit Tab. 5 zu vergleichen. Pro Quadratmeter Bodenfläche enthielt dieser Sedimentbecher 6480 Fäden von *Oscillatoria*, ferner folgende Anzahl von Zellen: *Synedra* 10 000, *Asterionella* 1280, *Stephanodiscus* 1 904 800; dividiert man diese Zahlen durch 600, so erhält man pro ml der Wassersäule von 0 bis 6 m innerhalb einer zwanzigtägigen Versuchsdauer folgende Verluste: Fäden *Oscillatoria* 11, Zellen *Synedra* 15, *Asterionella* 2, *Ste-*

*phanodiscus* 3175. Somit hat während der vierten Exposition im hellen Lot eine sehr kräftige Entwicklung von *Stephanodiscus* stattgefunden.

Gemäss Tab. 5 liegen die *Stephanodiscus*-Zahlen in allen Loten in der gleichen Grössenordnung, während im See (See-Lot, sofort) eine Verschiebung in der Planktonzusammensetzung zu verzeichnen ist; für die Beurteilung dieser Unterschiede seien die Zahlen der chemischen Wasseranalysen beigezogen.

### c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Bis zum 13. Mai hatte das Oberflächenwasser eine Temperatur von 15 bis 16° C erreicht, so dass zusammen mit der zunehmenden Sonneneinstrahlung die physikalischen Milieubedingungen gegenüber der dritten Exposition für die Planktonentwicklung wesentlich günstiger waren. Der  $p_H$ -Wert stieg in allen Proben auf 7,95 bis über 8,0, wonach die im Wasser gelöste freie Kohlensäure am 13. Mai bis auf kleine Reste verschwunden war. Im freien See (See-Lot, sofort) lag allerdings der  $p_H$ -Wert um einige Zehntel höher als in den exponierten Loten, weshalb die Karbonathärte als Folge biochemischer Kalkfällung bereits um 1° französischer Härte gesunken war (cf. Tab. 6).

Tabelle 6 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel  
(4. Exposition, 13. Mai 1958)

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
$p_H$ -Wert	7,98	8,04	8,55	8,01	8,18	7,99
PO <sub>4</sub> ''' mg/l	0,23	0,23	0,09	0,20	0,20	0,19
NO <sub>3</sub> ' mg/l	0,75	0,97	< 0,5	0,48	0,97	0,65
NO <sub>2</sub> ' mg/l	0,022	0,012	< 0,005	0,018	0,015	0,013
NH <sub>3</sub> mg/l	0,12	0,17	0,03	0,04	0,09	0,03
Härte, franz. °	20,08	19,83	18,77	19,83	19,83	20,04
Sauerstoff mg/l	7,56	10,07	17,06	7,98	10,17	7,71

Aus Tab. 6 geht ferner hervor, dass die zugesetzten Nitrate und Phosphate in den entsprechenden Loten nach dreiwöchiger Exposition bis auf kleine Reste verbraucht wurden. Unklar ist, wieso auch im dunklen Lot der Nährstoffgehalt gegenüber den Proben vom 23. April etwas abgenommen hat und der  $p_H$ -Wert bis auf 8,04 gestiegen ist; hierüber sind weitere Versuche nötig. Im Gegensatz zu den späteren Versuchen enthielt das dunkle Lot sogar mehr Sauerstoff als drei der hellen Lote, ebenfalls eine noch kaum erklärbare Überraschung; es wäre daran zu denken, dass die im Wasser gelösten organischen Stoffe hier auf das biologische Geschehen einen spürbaren Einfluss ausüben.

### d) Zusammenfassung über die Exposition vom 23. April bis 13. Mai 1958

Im hellen Lot und in den Loten mit Nährstoffzusätzen hatten sich während der vierten Exposition weder in biologischer noch in chemischer Hinsicht markante Unterschiede ausgebildet, wie das in späteren Expositionen geschah. Es ist aber auffällig, dass sich die «Kleinseen» in den Loten nicht gleich verhielten wie der freie See (See-Lot, sofort). Im See zeichnete sich bereits ein Anfang von

sommerlicher Schichtung ab durch Verminderung der *Oscillatoria*-Fädenzahl im Oberflächenwasser zugunsten einer Zunahme in der Sprungschicht, in den Loten dagegen ein Aufrahmen gegen die Oberfläche. Andererseits enthielt das Seewasser nur etwa halb so viele Zellen von *Stephanodiscus* wie die Lote, aber wesentlich mehr *Synedra*- und *Asterionella*-Zellen. Da *Stephanodiscus* nach unseren Beobachtungen von planktischen Krustazeeen sehr gerne gefressen wird, entstand dieser Unterschied möglicherweise durch grössere Frassverluste im freien See, während die Zooplankter in den Loten in ihrer Lebenstätigkeit vielleicht etwas gehemmt sind.

Dass im freien See tatsächlich schon eine rege Lebenstätigkeit der Phytoplankter stattfand, ist am *Synedra*- und *Asterionella*-Gehalt, aber auch am Wasserchemismus erkennbar. Ausser der Kohlensäure sind auch die Nitrate und Nitrite fast ganz verschwunden, die Phosphate und die Karbonathärte haben abgenommen, der  $p_H$ -Wert und besonders der Sauerstoffgehalt stark zugenommen. Dies alles spricht dafür, dass die Lebenstätigkeit bei dieser Exposition im freien See lebhafter war als in den Loten. Bei späteren Expositionen, über die noch zu berichten ist, traten bei Nährstoffzusatz teilweise umgekehrte Verhältnisse auf.

### Literaturverzeichnis

- THOMAS, E. A. (1953): Zur Bekämpfung der See-Eutrophierung: Empirische und experimentelle Untersuchungen zur Kenntnis der Minimumstoffe in 46 Seen der Schweiz und angrenzender Gebiete. Mon.bull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern, Nr. 2/3, 15 S.
- (1958): Das Plankton-Test-Lot, ein Gerät zum Studium des Verhaltens von Planktonorganismen im See. Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachmännern, Nr. 1, 8 S.

---

### Weitere Arbeiten, die Herrn Prof. Steiner zum 70. Geburtstag gewidmet sind:

- KÄLIN, J., Fribourg: Zur Frage der Kausalität in der Makroevolution. Naturw., 45, 1959.
- MATTHEY, R., Lausanne: Formules chromosomiques de Muridae et de Spalacidae. La question du polymorphisme chromosomique chez les Mammifères. Rev. Suisse Zool., 66, 1959.
- RENSCH, B., und DÜCKER, G., Münster, Westfalen: Die Spiele von Mungo und Ichneumon. Behaviour, 14, 1959.
- SOBELS, FR., Leiden: Chemical steps involved in the production of mutations and chromosome aberrations by X-irradiation in *Drosophila*. Int. J. Rad. Biol., 1959.