

Versuche mit Plankton-Test-Loten im Baldeggersee

Schlußteil, vom 13. Mai bis 14. Oktober 1958

Von

E. A. THOMAS (Zürich)

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

A. Vorwort

Über den ersten Teil dieser Versuche berichteten wir im Jahrgang 104 der Vierteljahrsschrift, Festschrift STEINER 1959, S. 330—340. Den Organen des Schweizerischen Bundes für Naturschutz, dessen Eigentum der See ist, danken wir für die Benützungsbewilligung von Bootshaus und Laboratorium am Baldeggersee, ebenso den Herren Direktor ED. EICHENBERGER und Sekundarlehrer J. BUSSMANN für die freundliche Erlaubnis zum Benützen ihrer Boote.

Die Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich ermöglichte uns wertvolle Materialanschaffungen, und der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung gewährte einen Kredit zur Anstellung eines Assistenten; beiden Organisationen danke ich sehr für die Förderung dieser Untersuchungen. Die Arbeiten auf dem See und im Laboratorium erfolgten unter der Mitarbeit der limnologischen Abteilung des kantonalen Laboratoriums Zürich, speziell der Herren Techniker W. SCHNEEBELI und Laboranten M. SPRING und A. WEIDMANN.

B. Exposition von Plankton-Test-Loten

5. Exposition vom 13. bis 28. Mai 1958 (15 Tage)

a) Versuchsanordnung

Wie bei der dritten und vierten Exposition befanden sich auch diesmal zwei Bojensysteme auf dem See; alle Lote hatten eine Länge von 7 m. In der Versuchsreihe waren wieder ein helles und ein dunkles Lot ohne alle Zutaten aufgehängt. Über den Seezustand am Tage der Probenahme orientierten die Proben aus dem

«See-Lot» (sofort), aus dem am 28. Mai sofort nach dem Einhängen Proben entnommen wurden, in gleicher Weise wie bei den während 15 Tagen exponierten Loten. Im übrigen erfolgte die gleiche Beschriftung und Zugabe von Nitraten und Phosphaten wie bei der 3. Exposition (THOMAS, 1959, S. 336).

Leider brach im Verlaufe dieser Exposition das dunkle Lot in einer Tiefe von 2 Metern ab, so dass ein Vergleich mit diesem Lot bei der 5. Exposition wegfällt.

b) Biologie des Test-Lot-Wassers

Seit der 4. Exposition hat sich die Menge und Schichtung von *Oscillatoria rubescens* nur wenig verändert. Abgesehen vom Seelot war auch diesmal ein Aufrahmen der Alge zu beobachten. Ob die in den Loten stark erhöhten Zahlen von einer echten Vermehrung herrührten, oder ob lediglich eine Zuwanderung aus Schichten von mehr als 7 m Tiefe erfolgte, lässt sich auf Grund dieses Befundes nicht mit Sicherheit entscheiden. Auffällig sind die gleichmässige Verteilung im See und die erhöhten Zahlen im obersten Meter der Plankton-Test-Lote. Vergleiche mit dem hellen Lot zeigen, dass die Nährstoffzugabe die Gesamtzahl der Fäden von *Oscillatoria* nicht vergrösserte (Tab. 7).

Tabelle 7 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (5. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	2 500	830	1 980	1 365	1 565
1—2	1 525	830	1 360	1 135	1 060
2—3	1 025	1 030	1 455	840	885
3—4	1 045	815	1 060	875	810
4—5	1 045	875	965	840	985
5—6	900	825	905	900	930
(6—7)	(650)	(640)	(630)	(865)	(785)
Mittel 0—6	1 340	868	1 287	992	1 039
<i>Synedra</i>	58	42	29	35	47
einzellige Grünalgen Bechersedimente, pro cm ² :	18 212	9 420	6 029	8 792	10 299
<i>Oscillatoria</i>	2 349	—	1 746	2 043	2 943

Wie aus Tab. 7 hervorgeht, ist *Stephanodiscus* in der Zwischenzeit verschwunden und auch *Synedra* zurückgegangen. An deren Stelle haben sich plötzlich einzellige Grünalgen reichlich entwickelt. In allen Loten war die Anzahl von *Synedra*-Zellen an der Oberfläche kleiner als in tieferen Schichten, was bestätigt, dass *Synedra* im Begriff war, durch Absinken aus dem Plankton zu verschwinden. Die einzelligen Grünalgen dagegen blieben von der Oberfläche bis zur Tiefe einigermassen gleichmässig verteilt.

Bechersedimente:

Berücksichtigt man, dass das Seewasser in 6 bis 7 m Tiefe am Schluss der Expositionsperiode über 600 *Oscillatoria*-Fäden pro ml enthielt, so war die diesmal in den

Bechersedimenten gefundene Anzahl von Fäden klein. Neben *Oscillatoria rubescens* spielten die anderen Planktonalgen in den Sedimenten vom 28. Mai eine untergeordnete Rolle.

Seit dem 13. Mai (4. Exposition) hat die Gesamtmenge von *O. rubescens* offensichtlich zugenommen, ohne dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Loten markant hervortreten.

Für die Beurteilung der chemischen Untersuchungszahlen ist ferner zu erwähnen, dass sich an den Innenwänden der durchsichtigen Lote Grünalgen angesetzt hatten in Tiefen von 0 bis 3 m, am meisten in ca. 1 bis 2,5 m. Diese Algenbildungen waren offensichtlich am kräftigsten im PN-Lot entwickelt, am schwächsten im hellen Lot ohne Nährlösungs-Zusatz. Teilweise handelte es sich um kugelige oder einzellige ovale Grünalgen oder um 5 Millimeter lange Rasen von grünen Fadenalgen, aber auch um *Scenedesmus* und andere Ubiquisten.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Bis zum 28. Juni blieb die Oberflächentemperatur des Baldeggensees mit 16° C unverändert, doch geben die in Tab. 8 aufgeführten Gehalte Aufschluss über die rege

Tabelle 8. Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (5. Exposition, 28. Mai 1958).

Untersuchung	helles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
p _H -Wert	8,17	8,37	8,46	8,76	8,72
PO ₄ mg/l	0,11	0,12	0,13	0,10	0,05
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
NO ₂ mg/l	<0,005	0,006	<0,05	0,006	0,016
NH ₃ mg/l	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Härte, franz. °	19,71	19,21	19,66	19,71	19,37
Sauerstoff mg/l	9,47	12,05	11,10	15,46	12,69

Algentätigkeit in den Loten. Im Mittel hatte das Wasser in den Loten höhere p_H-Werte als während der ersten Hälfte des Monates; die Maxima stiegen bereits auf p_H 9,2 im PN-Lot, 8,95 im N-Lot, 8,65 im P-Lot, 8,3 im hellen Lot und auf 8,8 im See. Die Nitrate waren in den Loten ganz oder fast ganz verschwunden und der Phosphatgehalt reduziert. Die Tatsache, dass sogar im N-Lot noch freie Phosphate vorhanden waren, zeigt deutlich, wie sehr die Eutrophierung des Baldeggensees fortgeschritten ist. Die Sauerstoffproduktion war im hellen Lot kleiner als im freien See oder in den drei Nährstoff-Loten. Eine wesentliche Kalkfällung hatte im Wasser nicht stattgefunden. Die biochemische Kalkfällung war noch bescheiden.

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 13. bis 28. Mai 1958

Nach dieser 15tägigen Exposition war in jedem Lot eine deutliche Schichtenbildung erkennbar. Obschon der Algengehalt im PN-Lot nicht grösser war als in den übrigen Loten, war doch eine grössere Lebenstätigkeit im Oberflächenwasser zu erkennen am maximalen p_H-Wert und Sauerstoffgehalt (Tab. 9); an zweiter Stelle

Tabelle 9 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (5. Exposition, 28. Mai 1958).

Tiefe in m	helles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0,5	8,89	13,42	11,61	18,00	14,95
1,5	8,94	13,34	11,20	16,52	14,67
2,5	9,14	12,69	11,46	15,66	12,06
3,5	9,41	11,54	10,58	14,67	11,54
4,5	9,78	10,85	11,10	14,13	11,39
5,5	10,66	10,49	10,67	13,78	11,54

folgte das N-Lot, während die Lebenstätigkeit im P-Lot kleiner war als im See-Lot (sofort). Noch träger war die Lebenstätigkeit im hellen Lot.

Nach Tab. 9 hat sogar im hellen Lot in den oberen Schichten die Sauerstoffzehrung gegenüber der Sauerstoffproduktion überwogen, was wohl eine Folge der höheren Oberflächentemperatur war. Darin, dass im See die Nitrate schon am 13. Mai aufgezehrt und die Phosphate reduziert waren, muss eine Erklärung für dieses Verhalten gesehen werden. Im P-Lot scheint der erhöhte Phosphatgehalt eine gewisse Ankurbelung des Stoffumsatzes bewirkt zu haben. Im See, wo ein Stoffaustausch zwischen Oberfläche und tieferen Schichten besser möglich ist, war die Sauerstoffproduktion grösser, erreichte aber die Quote der beiden Lote mit N-Zusatz (N- und PN-Lot) nicht.

6. Exposition vom 28. Mai bis 10. Juni 1958 (13 Tage)

a) Versuchsanordnung

Die Anordnung der Lote erfolgte in gleicher Weise wie bei der 5. Exposition, jedoch ohne die Aufstellung von Sedimentbechern in den Rohren. Diesmal stehen auch die Ergebnisse des dunklen Lotes zur Verfügung.

b) Biologie des Test-Lot-Wassers

Am 10. Juni fiel uns schon auf dem See auf, dass in den Test-Loten massenhaft *Oscillatoria*-Fäden an die Oberfläche gestiegen waren und hier watteartige, fast weisse Knäuel oder Flocken bildeten; offenbar waren diese emporgetretenen Algen grösstenteils abgestorben. Über die Verteilung der Alge in den verschiedenen Tiefen gibt Tab. 10 Auskunft.

Es ist hervorzuheben, dass im See bei dieser Expositionsperiode der Gehalt an Algenfäden im Oberflächenwasser gegenüber dem Vormonat abgenommen, in drei bis sechs Meter Tiefe dagegen zugenommen hat, damit das im Sommer zu erwartende Häufigkeitsmaximum im Gebiet der Sprungschicht markierend. In den Loten dagegen strebten viele Algenfäden an die Oberfläche, dort ein Maximum bildend; es ist allerdings wahrscheinlich, dass diese Tendenz auch im See bestand, dass dann aber die an der Oberfläche schwimmenden Algen vom Winde weggekehrt wurden. Indessen blieb in den Loten in den tieferen Schichten die Ausbildung eines Maximums aus.

Tabelle 10 Fäden von *Oscillatoria rubescens* und Mittelwerte für Grünalgen pro ml (6. Exposition).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	2 300	3 300	648	4 080	1 330	2 960
1—2	1 600	1 500	400	1 520	1 170	1 700
2—3	1 400	1 150	360	1 040	940	1 230
3—4	1 120	925	1 020	1 130	1 130	1 020
4—5	1 125	925	1 315	970	1 160	1 148
5—6	1 100	890	1 030	980	1 090	970
(6—7)	(900)	(870)	(575)	(620)	(800)	(755)
Mittel 0—6	1 441	1 448	796	1 620	1 137	1 505
<i>Ankistrodesmus</i>	549	19	16	1 111	675	1 510
grüne Kugelalge	20 850	9 294	5 778	6 280	5 903	6 908
Bechersedimente, pro cm ²						
<i>Oscillatoria</i>	—	17 305	—	16 082	57 422	19 053
<i>Synedra</i>	—	5 034	—	3 146	6 887	8 425

Kieselalgen spielten in dieser Periode, abgesehen von vereinzelt *Synedra*- und *Asterionella*-Zellen keine Rolle, doch hatte sich *Ankistrodesmus spirotaenia* vermehrt, sowie zum Teil massenhaft eine kugelige grüne μ -Alge. *Ankistrodesmus* bevorzugte die Lote mit Nährstoffzugaben, während die kugelige Grünalge überall reichlich vorhanden war, besonders im hellen Lot, ja sogar im Dunkeln; es wäre nicht ausgeschlossen, dass sich die Alge im Dunkeln dank der dort ebenfalls vorhandenen organischen Substanz vermehren konnte (cf. RODHE, 1955, S. 117—122; THOMAS, S. 121). Organische Substanz ist jedenfalls in den Loten durch absterbende *Oscillatoria* freigeworden. — Diese Algen waren im Oberflächenwasser etwas häufiger vorhanden als in den übrigen Schichten und mögen im freien See grössere Frassverluste durch Zooplankton erlitten haben, als in den Test-Loten.

Bechersedimente:

Um die gesamte Zahl von *Oscillatoria*-Fäden pro cm² für die Wassersäule von 0 bis 6 m zu berechnen, müssen die Mittelwerte der Tab. 10 mit 600 multipliziert werden. Verglichen mit diesen Zahlen sind die in den Bechersedimenten gefundenen Zahlen von *Oscillatoria*-Fäden noch recht bescheiden. — Die im Sediment gefundenen *Synedra*-Zellen spiegeln den früheren Gehalt der Wassersäule an dieser Alge wieder, ohne dass in der Zwischenzeit eine weitere Entwicklung stattgefunden hätte. Im übrigen enthielten die Sedimente vereinzelte Kolonien von *Fragilaria crotonensis* und von *Dinobryon divergens*, Reste von *Anabaena*, von Rotatorien und Planktonkrebschen, sowie reichlich Kalkkristalle bis zu 30 μ Durchmesser.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Bis zum 10. Juni hatte sich das Oberflächenwasser auf 19,5 bis 20° C erwärmt, während unterhalb von 4 m eine rasche Temperaturabnahme erfolgte. Über den Chemismus des Wassers geben die Tab. 11 und 12 Auskunft.

Im Chemismus des Wassers der verschiedenen Test-Lote hatten sich in diesem

Tabelle 11 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (6. Exposition, 10. Juni 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
p_H -Wert	8,20	8,01	8,58	8,01	8,09	8,60
PO ₄ mg/l	0,07	0,08	0,05	0,32	0,11	0,07
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
NO ₂ mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
NH ₃ mg/l	0,037	0,092	0,025	0,035	0,040	<0,02
Härte, franz. °	19,62	19,46	18,67	19,62	19,71	19,75
Sauerstoff mg/l	7,35	5,85	12,99	6,12	6,17	11,01

Tabelle 12 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (6. Exposition, 10. Juni 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0,5	7,55	5,89	11,87	5,65	7,43	13,38
1,5	7,35	4,15	11,73	5,07	5,94	12,80
2,5	6,86	4,17	12,42	5,60	5,11	11,80
3,5	6,59	5,91	14,95	5,97	4,80	10,75
4,5	7,55	6,96	14,92	6,71	5,33	8,68
5,5	8,00	8,00	12,06	7,73	8,44	8,66

Versuchsabschnitt beträchtliche Unterschiede herausgebildet. Beurteilt nach Sauerstoffgehalt, Kalkfällung und p_H -Wert hatten im See und im N-Lot die grössten Stoffumsätze stattgefunden, im dunklen Lot und im P-Lot die kleinsten; erstaunlicherweise war auch im PN-Lot der Sauerstoffgehalt diesmal niedrig. Das helle Lot ohne Zusätze nahm eine Mittelstellung ein.

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 28. Mai bis 10. Juni 1958

Zahlenmässig waren die Unterschiede im Algenbestand nicht allzu gross; für die Beurteilung ist aber zu berücksichtigen, dass im See wohl alle Algen voll lebenskräftig waren, in den Loten aber ein Teil der *Oscillatoria*-Fäden durch Aufrahmen «ausser Gefecht» gesetzt. Die geringe Zahl von *Ankistrodesmus* dürfte im dunkeln Lot auf Lichtmangel, im See aber auf Frassverluste zurückzuführen sein. Die Lebensfähigkeit im N-Lot gegenüber dem P-Lot beweist, dass in diesem Moment Stickstoff Minimumstoff war; möglicherweise wirkte im PN-Lot und im P-Lot Phosphat auf die Bakterientätigkeit und damit auf die Sauerstoffzehrung fördernd. Im See (See-

Tabelle 13 Karbonathärte in franz. ° und Trockenrückstand in mg/l im See-Lot (sofort) am 10. Juni 1958.

Tiefe in m	Karbonathäre	Trockenrückstand
0—1	19,00	244
1—2	18,50	240
2—3	17,75	230
3—4	18,50	236
4—5	18,75	258
5—6	19,50	252

Lot, sofort) fand die maximale Sauerstoffentwicklung und damit Lebenstätigkeit in etwa drei bis fünf Meter Tiefe statt, also dort, wo die maximale Entwicklung von *Oscillatoria rubescens* zu beobachten war. In dieser Tiefe war tatsächlich auch die Kalkfällung am grössten, wie aus Tabelle 13 ersichtlich ist.

7. Exposition vom 10. bis 25. Juni 1958 (15 Tage)

a) Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung war gleich wie bei der dritten bis sechsten Exposition, allerdings ohne dass diesmal Bechersedimente gewonnen wurden. Die Probenahme erfolgte nach regnerischem, stürmischem Wetter bei leichtem Föhn. Mit Kippthermometer bestimmten wir im See nach 1600 Uhr die in Tab. 14 angegebenen Wassertemperaturen.

Tabelle 14 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 25. Juni 1958.

Tiefe in m	Temperatur °C	Tiefe in m	Temperatur °C
0,3	21,6	6	12,4
1	21,6	7	7,8
2	19,3	8	7,3
3	18,9	9	7,1
4	18,4	10	7,1
5	14,5		

Möglicherweise war allerdings diese Schichtung nicht stabil, sondern durch Sprungschichtneigungen beeinflusst.

b) Biologie des Test-Lot-Wassers

Die 7. Versuchsperiode war gekennzeichnet durch ein reichliches Algenwachstum, worüber Tabelle 15 Aufschluss gibt.

Tabelle 15 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (7. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	2 620	3 030	660	3 280	1 850	3 480
1—2	1 980	2 880	470	2 020	1 570	1 490
2—3	1 810	2 420	410	1 590	1 310	1 590
3—4	1 420	2 280	420	1 370	1 380	1 540
4—5	1 560	1 540	310	1 160	1 210	1 310
5—6	1 190	1 520	930	360	1 270	1 120
(6—7)	(750)	(1 160)	(1 090)	(830)	(810)	(850)
Mittel 0—6	1 763	2 278	533	1 630	1 432	1 755
<i>Ankistrodesmus</i>	698	0	13	9 447	228	186
grüne Kugelalgen	12 560	6 908	11 430	9 671	9 169	11 053

Die Abnahme von *Oscillatoria rubescens* im freien See ist leicht dadurch zu erklären, dass ein Teil der Algen aufrahmte und durch den Wind ans Ufer geschoben wurde. Tatsächlich befand sich am Ostufer eine vom Westwind zusammengetriebene, mehrere Zentimeter dicke, rotbraune Algenschicht. Die Lote enthielten im obersten Dezimeter einige fahl-blaugrüne Knäuel von *Oscillatoria*, allerdings weniger auffällig als im Vormonat. Wie aber erklärt sich die Zunahme der Fäden in den Loten; handelt es sich um echte Vermehrung, oder ist ein Teil der Fäden durch die unten offenen Lote emporgestiegen? Diese Frage kann erst bei der vergleichswisen Bearbeitung aller verschiedenen Expositionen behandelt werden.

Fragilaria crotonensis fand sich im See-Lot (sofort) in einer Menge von durchschnittlich 163 Kolonien pro ml, in den exponierten Loten dagegen nur in durchschnittlich 1 bis 7 Kolonien. Ähnliche Verhältnisse gelten für *Asterionella* mit durchschnittlich 38 Zellen im See-Lot (sofort) und nur 1 bis 5 Zellen in den exponierten Loten. Von einer planktischen *Mougeotia* zählten wir im See-Lot (sofort) durchschnittlich 161 Zellen, in den exponierten Loten 7 bis 21 Zellen, im P-Lot 85 Zellen. Die Mittelwerte für *Ankistrodesmus* und die grünen Kugelalgen sind in Tab. 15 aufgeführt und zeigen, dass diesmal *Ankistrodesmus* im Dunkeln verschwand, sich aber in den exponierten Loten, besonders im P-Lot, gut entwickelte; weniger gross waren die Unterschiede im Auftreten der kugeligen Grünalgen. Das Auszählen der letzteren bereitete allerdings erhebliche Schwierigkeiten, da z. B. die Zellen im N-Lot im allgemeinen grösser als im P-Lot und teilweise auch unter dem Einfluss von Pilzen zu Klumpen zusammengeballt waren.

Beigefügt sei, dass sich im N-Lot und im PN-Lot ein Überzug von kleinsten Grünalgen gebildet hatte, der auch Flagellaten, Amöben und kleinste Ciliaten enthielt.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Gegenüber der 6. Expositionsperiode hatte sich der Wasserchemismus im See und in den Loten in verschiedenen Punkten verändert, wie Tab. 16 zeigt.

Tabelle 16 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (7. Exposition, 25. Juni 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
p _H -Wert	8,08	7,93	8,37	8,02	8,42	8,46
PO ₄ mg/l	0,05	0,11	< 0,02	0,18	0,08	< 0,04
NO ₃ mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
NO ₂ mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,006	< 0,006
NH ₃ mg/l	0,037	0,115	0,030	0,063	0,067	0,082
Härte, franz. °	18,88	19,38	16,46	19,08	18,42	18,42
Sauerstoff mg/l	8,11	5,90	13,97	7,83	8,66	10,14

Während im See-Lot (sofort) am 10. Juni noch freie Phosphate vorhanden waren, blieb ihr Gehalt am 28. Juni im See-Lot und im N-Lot in den oberen Metern unter 0,02 mg/l PO₄; dabei überrascht, dass dieser Düngstoff im hellen Lot nicht auch aufgezehrt wurde. Im dunklen Lot hatte sich der Gehalt, offenbar als Folge von

Abbauerscheinungen, sogar erhöht, was übrigens auch für den Ammoniakgehalt gilt. Während die Nitrate und Nitrite verschwanden, war der Ammoniakgehalt diesmal im N-Lot etwas höher als im PN- und P-Lot und als im See. Nicht ganz in Einklang stehen die hohen p_{H} -Werte im N- und PN-Lot, aber gleichzeitig kleinere Sauerstoffproduktion und Kalkfällung als im See. Im dunklen Lot machten sich Sauerstoffzehrung und p_{H} -Erniedrigung deutlich bemerkbar, indem die höhere Wassertemperatur offenbar im Dunkeln einen rascheren Abbau erlaubte (Tab. 16 und 17).

Tabelle 17 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (7. Exposition, 28. Juni 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0,5	9,33	7,58	13,42	8,47	9,71	9,18
1,5	9,41	5,63	14,14	8,27	8,78	12,00
2,5	8,23	5,56	14,62	7,20	8,85	11,80
3,5	7,06	4,87	13,90	6,78	8,00	9,70
4,5	7,11	5,56	14,37	7,48	7,73	9,22
5,5	7,55	6,18	13,38	8,80	8,88	8,92

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 10. bis 25. Juni 1958

Im freien See hatten in der Expositionsperiode trotz geringerem Algengehalt gegenüber den Loten kräftigere Veränderungen im Wasserchemismus stattgefunden. Andererseits hatte die Massenentwicklung von *Ankistrodesmus* im P-Lot keinen grösseren Einfluss auf den Wasserchemismus. Das N-Lot fiel durch vollständigen Verbrauch der zugesetzten Nitrate und rege Lebenstätigkeit auf.

8. Exposition vom 25. Juni bis 8. Juli 1958 (13 Tage)

a) Versuchsanordnung

Nachdem bei den bisherigen Versuchen stets ein sehr starker Stickstoffverbrauch stattfand und Phosphate im Seewasser in ansehnlicher Menge zur Verfügung standen, entschlossen wir uns dazu, im N-Lot und PN-Lot die zugesetzte Menge von Nitratlösung zu verdoppeln (200 ml), im P-Lot und PN-Lot dagegen nur noch halb soviel Phosphatlösung zuzugeben (50 ml; vgl. auch 3. Exposition, THOMAS, 1959, S. 336).

Bei Temperaturbestimmungen mit Kippthermometer fanden wir am Nachmittag des 8. Juli einen Temperaturverlauf mit weniger mächtigem Epilimnion als am 25. Juni (Tab. 18).

Da in der Expositionsperiode stärkere Stürme stattfanden, sind diese Unterschiede in der Lage der Sprungschicht offenbar auf sturminduzierte Sprungschichtneigungen zurückzuführen. Leider war bei Ende der Expositionsperiode das PN-Lot durch Sturm abgebrochen, konnte aber durch einen Froschmann wieder gehoben

Tabelle 18 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 8. Juli 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
0,3	21,1	6	11,6
1	19,8	7	10,6
2	19,6	8	9,7
3	19,6	9	8,9
4	16,2	10	8,8
5	13,4		

werden. Als weitere Folge des Sturmes missglückte das Auffangen von Becher-sedimenten. Bei späteren Expositionen banden wir deshalb die Plasticbecher zum Auffangen der Sedimente am durchlöcherten Boden der Test-Lote fest.

b) Biologie des Test-Lot-Wassers

Diesmal waren die Rohre hauptsächlich aussen von einer gallertig-braunen Masse überzogen, besonders in Tiefen von 4 bis 6 m. Die mikroskopische Untersuchung liess diese Masse vorwiegend als Gemisch von Bakterien und *Oscillatoria*-Fäden erkennen, neben *Fragilaria crotonensis* und anderen Planktern, auch Zooplanktern wie Heliozoen, ferner *Spirogyra*-Fäden; bei späteren Expositionen trat eine derartige äusserliche Verschleimung der Rohre nicht mehr auf.

Während dieses Versuches exponierten wir erstmals gleichzeitig auch Glasflaschen, wie für die Exposition vom 8. bis 22. Juli 1958 angegeben (THOMAS, 1961, S. 140). Die biologischen Ergebnisse der 8. Exposition sind in den Tab. 19 und 20 zusammengestellt.

Tabelle 19 Fäden von *Oscillatoria rubescens* und Mittelwerte für andere Planktonalgen pro ml (8. Exposition).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	N-Lot
0—1	1 180	2 230	249	1 910	810
1—2	1 070	2 020	238	810	830
2—3	850	980	287	680	810
3—4	760	990	410	790	760
4—5	730	1 060	660	840	710
5—6	590	1 020	1 230	810	690
(6—7)	(910)	(730)	(820)	(940)	(770)
Mittel 0—6	863	1 383	512	973	768
<i>Mougeotia</i> , Zellen	119	16	71	354	597
<i>Ankistrodesmus</i>	10	0	0	405	2
grüne Kugelalgen	12 560	—	wenig	8 792	3 140

Gemäss Tab. 19 war auch diesmal der *Oscillatoria*-Gehalt in den Loten durchwegs höher als im freien See, wobei das Maximum im freien See bei gegen 6 m Tiefe lag, in den Loten aber an der Oberfläche. *Mougeotia* hatte sich im P- und N-Lot stärker entwickelt und *Ankistrodesmus* besonders im P-Lot.

Die Flaschen überraschten durch andere Biocoenosen (Tab. 20). In der dunklen

Tabelle 20 Fäden von *Oscillatoria rubescens*, Kolonien von *Fragilaria crotonensis* und Zellen von *Mougeotia*, *Ankistrodesmus* und grünen Kugelalgen pro ml in Versuchsflaschen (8. Expositionsperiode).

	helle Flasche	dunkle Flasche	P-Flasche	PN-Flasche	N-Flasche
<i>Oscillatoria</i>	66	104	14	9	321
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	746	184	1 880	742	1 234
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	3 950	310	64	740	5 150
<i>Ankistrodesmus</i>	0	0	0	0	0
grüne Kugelalge	2 460	5 652	51 496	56 520	6 220

Flasche waren die meisten Algen abgestorben, so dass die dortigen Zahlen nicht ohne weiteres mit den anderen verglichen werden dürfen. Im übrigen fällt auf, dass *Oscillatoria* in allen Flaschen stark zurückging, am wenigsten in der N-Flasche; die Fäden haben sich grossenteils aufgelöst wie durch Krankheit oder anderes Absterben. Unerwartet war die starke Vermehrung von *Fragilaria crotonensis*, im Gegensatz zum See und den Loten, und das Wachstum von *Mougeotia*. Hingegen ist ganz unklar, wieso *Ankistrodesmus* ausfiel. Bei den grünen Kugelalgen handelt es sich sicher um verschiedene Arten, z. T. *Oocystis*-artige, z. T. klumpenweise oder einzeln vorkommende kleinste μ -Algen.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Über den Chemismus des Test-Lot-Wassers orientiert Tab. 21, über den Sauerstoffgehalt in den einzelnen Schichten Tab. 22 und über die exponierten Flaschen Tab. 23.

Im freien See war die Sauerstoffproduktion und Kalkfällung nicht nur intensiver als im dunklen und hellen Lot (Tab. 21), sondern übertraf auch die Ergebnisse des

Tabelle 21 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (8. Exposition, 8. Juli 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	N-Lot
pH-Wert	7,97	7,82	8,16	—	8,38
PO ₄ mg/l	< 0,04	0,10	< 0,02	0,10	< 0,03
NO ₃ mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,78
NO ₂ mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,11
NH ₃ mg/l	0,04	0,115	0,085	0,057	0,043
Härte, franz. °	17,75	18,21	15,46	17,88	17,75
Sauerstoff mg/l	5,90	5,41	12,95	7,2	10,48

P- und N-Lotes. Im dunklen Lot ist der erhöhte Phosphatgehalt ein Anzeichen der Zersetzungs Vorgänge, im P-Lot spricht der restliche Phosphatgehalt dafür, dass zu dieser Zeit Stickstoff Minimumstoff war. Andererseits war das zugegebene Nitrat diesmal im N-Lot auch im Oberflächenwasser nicht voll aufgezehrt. Das Abbrechen des PN-Lotes verhindert eine gründlichere Beurteilung.

Betrachtet man das Bild der Sauerstoffverteilung über verschiedene Schichten in den Test-Loten, so ergibt sich eine bereits früher gefundene Gesetzmässigkeit: in den

Loten maximale Sauerstoffgehalte im Oberflächenwasser, im Sec-Lot (sofort) dagegen in einer tieferen Zone (Tab. 22).

Bei den Flaschen überraschte die PN-Flasche durch überreiche Kalkfällung und Erhöhung des p_H -Wertes, wobei zwar die Phosphate, nicht aber die Nitrate aufgebraucht waren. Dass bereits ein erheblicher Ammoniakgehalt auftrat, spricht für beginnende Abbauvorgänge. Weder in der N-Flasche, noch in der P-Flasche war der zugegebene Düngstoff aufgebraucht (Tab. 23).

Tabella 22 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (8. Exposition, 8. Juli 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	N-Lot
0,5	7,55	6,74	12,90	9,72	14,69
1,5	6,12	5,33	13,60	7,20	14,14
2,5	5,48	4,52	13,24	6,13	11,54
3,5	5,18	4,52	13,38	6,24	8,39
4,5	5,33	5,56	—	6,45	7,32
5,5	5,77	5,82	11,80	7,47	6,82

Tabella 23 Chemismus des Versuchsflaschen-Wassers, 0,5 m Tiefe (8. Expositionsperiode)

Untersuchung	helle Flasche	dunkle Flasche	P-Flasche	PN-Flasche	N-Flasche
p_H -Wert	8,4	8,1	8,6	9,4	8,2
PO_4 mg/l	<0,02	0,05	0,48	<0,02	<0,02
NO_3 mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	15	22
NO_2 mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	0,16	0,18
NH_3 mg/l	0,04	0,19	0,05	0,24	0,04
Härte, franz. °	16,25	16,25	16,00	8,75	12,25

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 25. Juni bis 8. Juli 1958

In den Loten fand hauptsächlich an der Oberfläche eine Anreicherung von *Oscillatoria*-Fäden statt, die möglicherweise aus tieferen Schichten im Lot aufstiegen (Fallenwirkung?). Bemerkenswert ist, dass in den Loten und in den Flaschen sich auffallend verschiedene Biocoenosen entwickelten, obschon der Algengehalt im Ausgangswasser gleich war. Die Algenvermehrung in den Flaschen war sehr intensiv. Dass gerade *Ankistrodesmus*, eine Alge der Kleingewässer, in den Flaschen versagte, widerspricht den Erwartungen.

9. Exposition vom 8. Juli bis 22. Juli 1958 (14 Tage)

a) Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung blieb die gleiche wie bei der 8. Exposition, mit dem Unterschied, dass diesmal in den Loten wieder Sedimente gewonnen wurden, indem wir die Plasticbecher am durchlöchernten Boden der Lote festbanden. Zwar stand am Schluss der Expositionszeit das eine Bojensystem (P-, PN- und N-Lot) schief im Wasser, weil ein das Schwimmen des Bojensystems sichernder Pneu auf den Grund

gesunken war, möglicherweise eine Beschädigung durch Badende; indessen scheint es, dass die Untersuchungsergebnisse nicht darunter litten. — Wegen nachmittags einbrechendem Sturm konnten wir die Seewassertemperaturen in 0 bis 10 m Tiefe nicht messen.

b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Die Aussenwände der Lote waren weniger von Organismenschleim überkleidet als bei der früheren Exposition; wir fanden reichlich Spirillen, farblose Flagellaten, *Anthophysa vegetans*, Heliozoen, *Nassula*, *Vorticella* und Ciliaten, Kalk und Planktonreste.

An Algen war ausser *Oscillatoria rubescens* nur die früher erwähnte *Mougeotia* von Bedeutung, wie aus Tab. 24 hervorgeht.

Tabelle 24 Fäden von *Oscillatoria rubescens* und Mittelwerte für *Mougeotia* (Zellen) pro ml (9. Exposition).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	650	1 420	130	280	150	110
1—2	660	1 110	220	430	140	75
2—3	630	770	250	610	180	140
3—4	730	780	710	360	160	135
4—5	920	740	1 090	590	190	150
5—6	910	930	720	720	440	360
(6—7)	(710)	(630)	(610)	(610)	(220)	(230)
Mittel 0—6	750	958	520	498	210	162
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	12	2	22	42	16	176
Bechersedimente, pro cm ² :						
<i>Oscillatoria</i>	16 250	39 600	—	53 200	—	32 300
<i>Mougeotia</i>	1 060	3 200	—	1 650	—	11 550
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	4 700	8 750	—	19 200	—	21 500

Nur im dunklen Lot war bei dieser Exposition *Oscillatoria* aufgerahmt, bei den anderen Loten fand sich das Maximum in 4 bis 5 m Tiefe. In den stickstoffreichen Loten war die Fädenzahl sogar kleiner als im freien See. Noch unklar ist, warum *Oscillatoria* in den in 50 cm Tiefe eingehängten Flaschen in der Expositionsperiode ganz verschwand (THOMAS, 1961, S. 142) und sich sogar auflöste, so dass nur noch vereinzelte Reste übrigblieben.

Im ganzen war die Algenentwicklung in diesem Untersuchungsabschnitt bescheiden, hingegen traten im See und in den Loten häufig Schleimklümpchen von Bakterien auf; der Durchmesser dieser planktischen Bakterienkolonien schwankte zwischen 5 und 30 μ .

Bechersedimente:

Ausser den in Tab. 24 aufgeführten Algen war auch die im Plankton zu dieser Zeit seltene *Asterionella formosa* zu finden, sowie *Anabaena planctonica*. Bei einem

Vergleich des Kieselalgengehaltes des freien Wassers und der Bechersedimente drängt sich die Vermutung auf, dass zwar zu dieser Zeit eine ziemlich rasche Vermehrung der Diatomeen vorhanden war, dass aber ihre Lebensdauer nur kurz war.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Eine erste Orientierung über die Beschaffenheit des Oberflächenwassers in den Test-Loten haben wir für diese Exposition bereits an anderer Stelle gegeben (THOMAS, 1961); in Tabelle 25 sind die Mittelwerte aufgeführt und in Tab. 26 die Sauerstoffgehalte der einzelnen Schichten.

Tabelle 25 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (9. Exposition, 22. Juli 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
p_{H} -Wert	7,84	7,76	8,14	7,94	8,18	8,14
PO_4 mg/l	<0,02	0,05	<0,02	<0,03	<0,02	<0,02
NO_3 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
NO_2 mg/l	<0,005	0,015	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
NH_3 mg/l	0,058	0,130	0,058	0,045	0,053	0,047
Härte, franz. °	18,17	18,00	15,38	16,42	14,54	14,67
Sauerstoff mg/l	3,46	3,16	11,61	5,17	8,49	7,85

Tabelle 26 Sauerstoffgehalt des Test - Lot - Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (9. Exposition, 22. Juli 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	(sofort) See-Lot	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0,5	5,62	6,56	12,95	6,77	8,98	8,78
1,5	4,11	3,78	13,12	5,51	8,63	8,39
2,5	3,11	1,70	13,02	4,98	9,00	8,00
3,5	2,74	1,70	13,16	4,80	8,66	7,74
4,5	2,59	2,04	11,73	4,82	8,66	7,47
5,5	2,59	3,20	5,68	4,12	7,00	6,71

Interessanterweise war der Nitrat- und Phosphatverbrauch in allen Loten ausser dem dunklen vollständig. Das verdunkelte Seewasser hatte wieder Phosphat und Ammoniak freigegeben. Betrachtet man p_{H} -Wert und Sauerstoffgehalt als Indikatoren für die Lebenstätigkeit, so steht das dunkle Lot ebenfalls am ungünstigsten da, bald gefolgt vom hellen Lot, in welchem der Mangel an Nährstoffen die Algentfaltung hintanhält.

Dank windreichem Wetter und damit verbundenen Strömungen fand im freien See eine regere Lebenstätigkeit statt als in den Loten. In den Loten mit Nitrat- und Phosphat-Zusatz dürfte die Lebenstätigkeit in der ersten Hälfte der Expositionszeit grösser gewesen sein, worauf im Anschluss an den Düngstoffverbrauch und gefördert durch die erhöhten Wassertemperaturen Absterbeerscheinungen mit ihren Folgen eintraten.

Im Chemismus der Versuchsflaschen fallen nach dieser Exposition noch grössere Unterschiede auf, wie Tab. 27 zeigt.

Tabelle 27 Chemismus des Versuchsflaschen-Wassers, 0,5 m Tiefe (9. Expositionsperiode).

Untersuchung	helle Flasche	dunkle Flasche	P-Flasche	PN-Flasche	N-Flasche
p _H -Wert	8,35	7,8	8,65	>9,0	8,2
PO ₄ mg/l	<0,02	0,06	0,05	<0,02	<0,02
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	10,0	18,0
NO ₂ mg/l	<0,005	0,005	<0,005	0,32	0,18
NH ₃ mg/l	0,04	0,25	0,04	0,18	0,24
Härte, franz. °	14,25	14,75	11,25	6,50	12,00
Sauerstoff mg/l	8,41	8,19	13,8	39,18	12,20

Der ursprüngliche Härtegrad des für diesen Versuch verwendeten Wassers blieb in der dunklen Flasche mit 14,75 unverändert und auch in der hellen Flasche fast gleich. Wie bei den Expositionen der dunklen Lote wurde auch in der dunklen Flasche Phosphat und Ammoniak freigesetzt. Phosphat-Zusatz oder Nitrat-Zusatz vermochten zwar die Lebenstätigkeit (sc. Sauerstoffproduktion) in den Flaschen bereits stark anzukurbeln; weit grösser war jedoch die Wirkung bei gemeinsamer Zugabe beider Düngstoffe.

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 8. bis 22. Juli 1958

Während dieser Hochsommerperiode wurden die zugegebenen Düngstoffe sowohl in den Loten als auch in den Flaschen gierig aufgezehrt, wobei im P-Lot Stickstoff und im N-Lot Phosphor zum Minimumstoff wurde. Das warme Wasser förderte aber nicht nur den Aufbau organischer Stoffe, sondern auch deren Abbau, was besonders im dunklen und hellen Lot und in der dunklen und hellen Flasche ohne Nährstoffzusatz bei Versuchsende erkennbar war.

10. Exposition vom 22. Juli bis 5. August 1958 (14 Tage)

a) Versuchsanordnung

Für die Lote gilt die gleiche Versuchsanordnung wie bei der 8. Exposition, jedoch mit Bechersedimenten; hingegen gingen infolge eines Missgeschickes (Bojendefekt) die Flaschenversuche verloren.

Der See hatte sich bis zum 5. August schon stark erwärmt, wie Tab. 28 zeigt.

Tabelle 28 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 5. August 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
0,3	23,4	6	14,0
1	22,8	7	12,9
2	21,9	8	9,8
3	21,8	9	9,6
4	16,7	10	8,2
5	14,6		

Eine ausgeprägte Sprungschicht lag zwischen 3 und 5 m Tiefe, Bedingungen, wie sie für Test-Lot-Versuche sehr günstig sind.

b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Neben *Oscillatoria rubescens* spielten andere Planktonalgen nur eine sehr untergeordnete Rolle. Über die Verteilung dieser Alge gibt Tab. 29 Auskunft.

Tabelle 29 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (10. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	408	528	200	188	98	408
1—2	432	460	228	164	141	364
2—3	412	432	360	324	200	412
3—4	504	380	996	432	240	420
4—5	520	520	1 424	512	300	436
5—6	484	392	448	340	240	280
(6—7)	(284)	(308)	(200)	(204)	(168)	(144)
Mittel 0—6	460	452	609	327	206	387
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	2	1	28	1	0	2
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	7	0	7	22	4	145
<i>Anabaena</i> (Fäden)	16	7	25	2	12	6
<i>Ceratium</i>	0	0	13	0	0	2
Bechersedimente, pro cm ² :						
<i>Oscillatoria</i>	5 190	5 800	—	5 650	5 100	5 150
<i>Mougeotia</i>	1 430	220	—	430	360	1 260
<i>Fragilaria</i>	6 900	5 600	—	7 000	4 750	6 950

Im freien See befand sich am 5. Aug. 1958 das *Oscillatoria*-Maximum deutlich zwischen 4 und 5 Meter Tiefe. In den Loten war das Maximum in der gleichen Tiefe markiert, jedoch nicht so ausgeprägt wie im freien See. Am schwächsten trat die Schichtung im dunklen Lot hervor, in welchem diesmal wieder ein leichtes Aufrahmen zu beobachten war. Andere Algen hatten sich im See ebenfalls besser entwickelt als in den Loten, ausgenommen *Mougeotia* im N-Lot.

Bechersedimente:

Verglichen mit der gesamten *Oscillatoria*-Menge des Epilimnions war die Zahl der in den Loten abgesunkenen Fäden klein. Die meisten der in den Sedimentbechern aufgefangenen *Oscillatoria*-Fäden waren von einem Pilz geschädigt (Oomycet); ein ähnliches Absinken von verpilzten Fäden hatten wir früher im August im Zürichsee beobachtet. Neben Organismenresten enthielten die Bechersedimente wieder reichlich Kalkkristalle. *Fragilaria crotonensis*, im freien See mit durchschnittlich 28 Kolonien pro ml vorhanden, verschwand grösstenteils aus den Loten durch Absinken. Die gleiche Bemerkung gilt weitgehend für *Anabaena planctonica*, *Mougeotia*, *Synedra* und *Asterionella*.

c) *Chemismus des Test-Lot-Wassers*

Bei Ende der 10. Expositionsperiode lag eine auch im Chemismus erkennbare Schichtung des Test-Lot-Wassers vor mit Sprungschicht zwischen 4 und 5 Metern.

Im Hinblick auf Vergleiche mit früheren und späteren Expositionen führen wir in Tab. 30 ebenfalls nur die Mittelwerte der chemischen Untersuchungen auf, in Tab. 31 jedoch auch die Sauerstoffgehalte der einzelnen Schichten.

Bei Beginn dieser Expositionsperiode lag im See zwischen 0 und 6 m Tiefe eine mittlere Härte von 15,38 franz. ° vor (cf. See-Lot, sofort, vom 22. Juli 1958). Diese Zahl darf als Ausgangswert für das Test-Lot-Wasser der 10. Exposition gelten. Bei weiterer biochemischer Kalkfällung war also während der 10. Exposition in den Loten mit Assimilationstätigkeit eine weitere Enthärtung zu erwarten. Diese Enthärtung trat nun aber in keinem Lot ein, obschon die Härte im Wasser des See-Lotes (sofort) am 5. August nur noch 13,96° franz. H. betrug (Tab. 30).

Tabelle 30 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (10. Exposition, 5. Aug. 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
pH-Wert	7,73	7,66	8,08	7,57	7,92	7,64
PO ₄ mg/l	<0,02	0,08	<0,02	0,10	<0,02	<0,02
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,73	3,80
NO ₂ mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,007	0,32	0,36
NH ₃ mg/l	0,042	0,173	0,050	0,058	0,057	0,065
Härte, franz. °	16,67	16,96	13,96	17,12	15,96	17,21
Sauerstoff mg/l	3,68	1,93	11,22	1,65	5,91	2,98

Recht interessant war in dieser Periode das Verhalten der Phosphate. Bei Beginn der Exposition war die im Wasser gelöste Phosphatmenge minimal; im PN-Lot verschwand die zugegebene Menge praktisch vollständig. Auch im P-Lot trat eine starke Abnahme ein, doch blieben diesmal noch 0,10 mg/l Phosphat im Wasser. Noch grösser als bei der 9. Exposition war die Phosphatfreigabe im dunklen Lot, wo auch der Ammoniakgehalt einen höheren Wert erreichte als bei der vorherigen Exposition. Indessen war der Phosphatgehalt bei Beginn dieses Versuches im See derart niedrig, dass im N-Lot bei Versuchsende noch ein grosser Teil der Nitrate zurückblieb.

Der mittlere Sauerstoffgehalt war in allen Loten am 5. August unerwartet niedrig, am niedrigsten im P-Lot und im dunklen Lot (Tab. 30). Während am 5. August der Sauerstoffgehalt im See in 1,5 m Tiefe maximal war, enthielt das Wasser in allen Loten an der Oberfläche am meisten Sauerstoff (Tab. 31).

Tabelle 31 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (10. Exposition, 5. Aug. 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0,5	7,78	6,97	13,46	4,92	11,23	6,45
1,5	5,48	1,16	14,43	2,10	6,09	4,20
2,5	3,11	0,68	13,83	0,79	3,67	2,06
3,5	1,83	1,02	12,39	0,53	9,97	2,58
4,5	1,73	0,68	9,60	0,25	2,36	1,07
5,5	2,16	1,07	3,61	1,31	2,16	1,55

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 22. Juli bis 5. Aug. 1958

Diese Versuchsperiode war gekennzeichnet durch eine starke Abnahme der Phytoplankter in den Loten; ein Teil dieser Algen war in den Bechersedimenten wieder auffindbar. Von den im Wasser gelösten Nährstoffen wurde der grösste Teil verbraucht; merkliche Reste der Zusätze blieben im P-Lot und im N-Lot erhalten. Auffallend stark war die Abnahme des Sauerstoffgehaltes in den Loten. Wir fragen uns, ob möglicherweise bei Wellengang etwas Tiefenwasser in Form von turbulenten Strömungen in die Lote getrieben wurde, ein Problem, das weiterer Abklärung bedarf.

11. Exposition vom 5. bis 21. August 1958 (16 Tage)

a) Versuchsanordnung

Bei dieser Exposition erhielten das N-Lot und das PN-Lot je 200 ml Nitratlösung, das P-Lot und das PN-Lot 100 ml Phosphatlösung. Über die Flaschenversuche dieser Versuchsperiode haben wir bereits berichtet (THOMAS, 1961), nicht aber über die biologische und chemische Beschaffenheit der tieferen Schichten in den Loten.

Während das Seewasser am 5. August erst in den obersten ca. drei Metern gut erwärmt war, hatte in dieser Berichtsperiode eine weitere Wärmeaufnahme stattgefunden, indem nun auch die 4-m-Schicht auf über 21° C erwärmt war, wogegen das Oberflächenwasser als Folge der sturmbedingten Durchmischung eine kühlere Temperatur zeigte, wie aus Tab. 32 hervorgeht.

Tabelle 32 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 21. August 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
0,3	21,8	6	11,6
1	21,8	7	10,2
2	21,7	8	10,1
3	21,7	9	9,8
4	21,6	10	9,1
5	15,6		

Beim Vergleich der Tab. 28 und 32 erkennt man ausser einer Verlegung der Sprungschicht von 3—4 auf 4—5 m Tiefe auch eine Temperaturabnahme in 6—7 m Tiefe, was wohl auf windbedingte Strömungen (interne Wellen) zurückzuführen ist.

Leider brach bei dieser Exposition während eines Sturmes das helle Lot ab, so dass die entsprechenden Werte fehlen. Bei Abschluss des Versuches waren die Aussenwände der Lote mit einem kalk- und algenreichen Schlamm überzogen, in dem wir reichlich *Oscillatoria rubescens*, *Fragilaria crotonensis*, andere Plankter und auch uferbewohnende Diatomeen fanden. An der Aussenwand eines Lotes hatte sich besonders reichlich *Hydra fusca* entwickelt.

b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Gemäss Tab. 33 dominierte im freien See und im dunklen Lot auch bei der 11. Exposition *Oscillatoria rubescens*, in der Sprungschicht (4—5 m) ein Maximum bildend, das auch im P-Lot und im N-Lot leicht markiert war, nicht aber im PN-Lot. Im dunklen Lot erfolgte wieder ein gewisses Aufrahmen, während im P-Lot und N-Lot die im Oberflächenwasser etwas erhöhten Zahlen durch Fadenzerfall zustande kamen und somit keine quantitative Bedeutung haben.

Tabelle 33 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (11. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	730	645	326	316	394
1—2	675	825	250	309	220
2—3	540	875	375	315	340
3—4	545	980	450	280	380
4—5	560	900	510	320	470
** 5—6	540	590	360	315	450
(6—7)	(580)	(500)	(345)	(370)	(260)
Mittel 0—6	598	802	378	309	376
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	10	32	10	6	6
einzellige Grünalgen	wenig	wenig	43 458	13 942	130 624
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	25	48	30	55	120
Bechersedimente, pro cm ² :					
<i>Oscillatoria</i>	520	—	945	530	535
<i>Fragilaria</i>	1 840	—	2 020	1 865	1 885
<i>Mougeotia</i>	60	—	46	28	24
<i>Synedra</i>	54	—	31	48	61

Während andere Planktonalgen im freien See und im dunklen Lot nur in sehr geringen Mengen auftraten, hatten sich in allen drei Loten mit Nährstoffzusätzen massenhaft einzellige Grünalgen entwickelt, nämlich im P-Lot *Selenastrum* und kugelige μ -Algen, im PN-Lot neben kugeligen μ -Algen auch *Oocystis* und im N-Lot fast ausschliesslich *Selenastrum*. Dass diese Algen im PN-Lot durch die Phosphor- und Stickstoff-Düngung zu starker Vermehrung angeregt wurden, ist verständlich; hingegen ist unklar, wieso auch blosser Stickstoff- oder blosser Phosphordüngung stimulierend wirkten. Die grössten Zahlen für solche Algen fanden wir in den obersten drei Metern. In den lichtärmeren tieferen Schichten traten *Selenastrum* und *Oocystis* zugunsten der kugeligen μ -Algen zurück. Möglicherweise wäre hier die Ausnützung von im Wasser gelösten organischen Stoffen in Betracht zu ziehen (cf. auch RODHE, 1955, S. 117—122).

Betreffend die gleichzeitig in 50 cm Tiefe eingehängten Versuchsflaschen (cf. THOMAS, 1961) sei hier zusammengefasst, dass *Oscillatoria rubescens* nur in der dunklen Flasche einigermaßen erhalten blieb, in den übrigen vier Flaschen aber weitgehend bis fast vollständig der Zersetzung anheim fiel; an ihre Stelle traten

reichlich *Fragilaria crotonensis*, *Ceratium hirundinella* (13 bis 349 Zellen pro ml) und *Mougeotia*-Fäden.

Bechersedimente:

Die in den Loten gewonnenen Bechersedimente (Tab. 33) gaben keinen zahlenmässig genauen Aufschluss über das Verschwinden von *Oscillatoria*-Fäden; vielmehr muss angenommen werden, dass in den hellen Loten ein Teil der Fäden — wie in viel grösserem Masse in den exponierten Flaschen — durch autolytische Zersetzung verloren ging. *Fragilaria crotonensis* nahm bei der 11. Exposition in allen Loten ab und war in reichlichen Mengen in den Sedimenten zu finden, während *Synedra* und *Mougeotia* einen kleinen Anteil ausmachten.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Der Verlust des hellen Lotes während der Versuchsperiode erschwert die Beurteilung des Wasserchemismus in den übrigen Loten; vor allem ist unsicher, wie weitgehend diesmal die Veränderungen in den drei Loten mit Nährstoffzusätzen tatsächlich von der Stickstoff- und Phosphorzugabe abhängig sind.

Da die Sprungschicht gemäss Tab. 32 am 21. August zwischen 4 und 5 m Tiefe lag, reichte der unterste Teil der 7 m langen Lote immer noch bis in eine Tiefe unterhalb der Sprungschicht. In den obersten 6 Metern war der p_{H} -Wert wieder niedriger als im See-Lot. Während freie Phosphate nicht einmal mehr in den Loten mit P-Zugabe vorhanden waren, fanden wir im dunklen Lot wieder eine deutlich nachweisbare Phosphatmenge, die offenbar der Zersetzung von organischem Material entsprang, wofür auch der in diesem Lot stark erhöhte Ammoniakgehalt sprach.

Von den zugesetzten Nitraten blieb im N-Lot ein auffälliger Rest unverbraucht, wogegen im PN-Lot als Folge der vorhandenen Phosphate eine annähernd vollständige Nitratzehrung eintrat. Dass unter den exponierten Loten das PN-Lot das weichste Wasser enthielt, geht mit dem starken Stickstoff- und Phosphorverbrauch und der Algenproduktion parallel. Nitrite entstanden nicht nur durch Nitratreduktion in den beiden Loten mit Nitratzusatz, sondern auch im nitratfreien dunklen Lot durch beginnende Ammoniakoxydation.

Bezüglich des Sauerstoffgehaltes überraschte diesmal das P-Lot mit niedrigsten Werten, aber auch das PN-Lot erreichte den im See vorhandenen Sauerstoffgehalt nicht (Tab. 34 und 35). Zur Prüfung der Sauerstoffzehrung des Seewassers stellten

Tabelle 34 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (11. Exposition, 21. Aug. 1958).

Untersuchung	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
p_{H} -Wert	7,67	8,28	7,57	8,0	7,73
PO_4 mg/l	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NO_3 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	0,4	2,42
NO_2 mg/l	0,021	<0,005	<0,007	0,300	0,530
NH_3 mg/l	0,160	0,052	0,058	0,045	0,067
Härte, franz. °	16,92	13,33	16,12	14,46	15,96
Sauerstoff mg/l	3,05	9,30	2,12	4,34	3,33

Tabelle 35 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (11. Exposition, 21. Aug. 1958).

Tiefe in m	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot	BSB ₁₄ (See)
0,5	6,97	10,41	6,46	8,70	7,48	5,92
1,5	4,07	9,97	2,62	5,59	4,46	5,01
2,5	2,38	10,31	0,79	5,00	3,10	5,41
3,5	2,04	9,81	0,80	2,93	1,81	5,97
4,5	1,07	9,87	0,76	2,09	1,87	5,02
5,5	1,78	5,42	1,31	1,73	1,29	—

wir Wasserproben aus den verschiedenen Tiefen im Laboratorium im Dunkeln bei 20° C auf. Der so erzielte biochemische Sauerstoffbedarf (BSB₁₄) des Wassers erwies sich nach Tab. 35 als beträchtlich und lässt die Sauerstoffabnahme im Wasser der Lote verständlicher erscheinen.

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 5. bis 21. Aug. 1958

Im Gegensatz zur vorangehenden Periode trat bei dieser Exposition eine reichhaltige Phytoplankton-Entwicklung ein, vorwiegend einzellige Grünalgen, deren quantitative Erfassung allerdings durch Auszählen wenig befriedigend ist (grosse Grössenunterschiede). Der Gehalt an Fäden von *Oscillatoria rubescens* bewegte sich im Rahmen des Vormonates. Während *Fragilaria crotonensis* in den Loten stark zurückging, war ein Teil der verschwundenen Algen in den Bechersedimenten wiederzufinden. Eine parallel verlaufende Untersuchung über die im See absinkende Diatomeenmenge (mittels Sedimentmesspfanne, THOMAS, 1950) wäre im Verlauf dieser Exposition von besonderem Interesse gewesen.

12. Exposition vom 21. August bis 2. Sept. 1958 (12 Tage)

a) Versuchsanordnung

Da die in den Vormonaten zugesetzten Nährstoffmengen ganz oder weitgehend aufgezehrt worden waren, erhöhten wir die Zugabe gegenüber der 11. Exposition von 200 auf 400 ml Nitratlösung und von 100 auf 200 ml Phosphatlösung. Über die gleichzeitig angelegten Flaschenversuche berichteten wir an anderer Stelle (THOMAS, 1961).

Tabelle 36 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 2. Sept. 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
0,3	22,7	6	18,0
1	22,6	7	16,8
2	21,4	8	14,0
3	20,1	9	13,0
4	19,2	10	11,3
5	18,6		

Die Wassertemperaturen boten am 2. Sept. insofern ein verändertes Bild, als zwischen 2 und 4 m Tiefe als Folge von Sprungschichtneigungen oder internen Wellen kühleres Wasser vorhanden war, wogegen in den tieferen Schichten als Folge vermehrter turbulenter Strömungen eine Wärmezunahme eintrat, wie aus dem Vergleich von Tab. 32 und 36 hervorgeht.

b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Bei der 12. Exposition trat die eigenartige Erscheinung ein, dass die Menge der *Oscillatoria*-Fäden in allen Loten ausser dem hellen und ausser dem freien See (See-Lot, sofort) stark abnahm; abgesehen von der zahlenmässigen Reduktion waren die restlichen Fäden im Durchschnitt kürzer, und ein Teil davon schien abgestorben. Andererseits ist offensichtlich, dass in den Bechersedimenten (Tab. 37) nur ein kleinster

Table 37 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (12. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
0—1	1 105	226	460	164	317	240
1—2	895	139	455	170	216	215
2—3	655	167	810	205	228	220
3—4	635	187	1 670	150	236	246
4—5	580	245	1 010	270	216	366
5—6	405	243	395	305	236	388
(6—7)	(420)	(222)	(310)	(320)	(300)	(292)
Mittel 0—6	712	201	800	211	242	279
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	1	0	8	0	0	0
<i>Ceratium hirundinella</i>	0	0	12	0	0	0
einzellige Grünalgen	15 449	3 768	7 913	78 249	34 791	62 423
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	21	1	12	5	15	13
Bechersedimente, pro cm ² :						
<i>Oscillatoria</i>	790	415	—	650	710	1 100
<i>Fragilaria</i>	1 960	1 750	—	1 540	1 850	1 800
<i>Synedra</i>	172	115	—	92	110	116
<i>Mougeotia</i>	40	40	—	12	30	14

Bruchteil der verschwundenen Fäden aufgefangen worden ist. Das Aussehen der noch vorhandenen Fäden und die nur geringe Fädenzahl im Sediment sprechen dafür, dass während der zwölf-tägigen Exposition vom 21. Aug. bis 2. Sept. rund drei Viertel der ursprünglich im dunklen Lot und in den Nährstoff-Loten vorhandenen *Oscillatoria*-Fäden der Zersetzung anheimfielen; das Wasser im hellen Lot dagegen verhielt sich in dieser Beziehung ähnlich wie im freien See.

Zur gleichen Zeit war *Fragilaria crotonensis* stark zurückgegangen, *Ceratium hirundinella* war nur im freien See vorhanden und *Mougeotia* trat in den Hintergrund. Massenhaft hatten sich indessen einzellige Grünalgen entwickelt, am wenigsten im dunklen Lot und im See-Lot (sofort).

Bechersedimente:

Die Beschaffenheit der Sedimente der fünf Lote unterschied sich diesmal nicht grundsätzlich; im dunklen Lot mit dem grössten *Oscillatoria*-Verlust enthielt das Sediment am wenigsten *Oscillatoria*-Fäden, eine Folge der Zersetzung dieser Fäden. Die Zahlen der im Sediment gefundenen Diatomeen unterlagen weniger Schwankungen.

c) *Chemismus des Test-Lot-Wassers*

Die p_H -Werte lagen im Oberflächenwasser der Lote (Tab. 38) niedriger als in den Vormonaten, erreichten aber im See-Lot (sofort) und in den drei Loten mit Nährstoffzusätzen Werte von p_H 8,0 bis 8,6. In allen Loten waren die Phosphatzusätze

Table 38 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (12. Exposition, 2. Sept. 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot
p_H -Wert	7,72	7,64	7,94	7,69	7,92	7,98
PO ₄ mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,75	4,98
NO ₂ mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,583	0,358
NH ₃ mg/l	0,103	0,185	0,050	0,053	0,077	0,060
Härte, franz. °	13,96	14,25	14,12	14,08	13,92	13,25
Sauerstoff mg/l	1,61	2,56	8,33	2,75	4,19	3,81

aufgebraucht. Von den Nitratzusätzen blieben im PN-Lot und N-Lot noch Reste zurück; auch Nitrite hatten sich dort gebildet. Ammoniak war wieder in grösster Menge im dunklen Lot entstanden, reichlich auch im hellen Lot, dessen Wasser überraschend wenig Sauerstoff enthielt. Die Werte für die Karbonathärten sprechen dafür, dass einerseits die Assimilationstätigkeit des Planktons im Abnehmen begriffen war und andererseits durch beginnende Teilzirkulationen schon etwas härteres Wasser aus den tieferen Schichten ins Epilimnion eingemischt wurde.

Über die Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse im See und in den Loten orientiert Tab. 39. Nur in den obersten drei Metern des Seelotes (sofort) war eine Verbesserung des Sauerstoffgehaltes zu verzeichnen. Abgesehen von den Loten mit Nitratzusatz enthielt schon das Oberflächenwasser in den Loten wenig Sauerstoff.

Table 39 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (12. Exposition, 2. Sept. 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	P-Lot	PN-Lot	N-Lot	BSB ₁₄ (See)
0,5	2,59	5,33	11,93	5,23	8,42	6,97	3,58
1,5	2,59	3,20	11,80	3,93	6,35	6,30	2,96
2,5	1,83	2,72	12,48	2,62	4,67	4,13	4,06
3,5	0,91	2,38	9,03	1,87	2,67	3,10	6,32
4,5	0,86	1,02	3,79	1,02	1,31	1,60	4,97
5,5	0,86	0,71	1,03	1,84	1,73	0,77	6,72

Die im Dunkeln stattfindende Sauerstoffzehrung des Seewassers erwies sich innerhalb von 14 Tagen wieder als sehr beträchtlich (Tab. 39).

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 21. Aug. bis 2. Sept. 1958

Diese Versuchsperiode ist charakterisiert durch eine Zunahme kleinster einzelliger Grünalgen und einen Rückgang der übrigen Plankter, einschliesslich *Oscillatoria rubescens*. Diese kleinsten Grünalgen vermochten im See und in den Loten einen offensichtlich Einfluss auf den Wasserchemismus auszuüben; sie hamsterten reichlich Stickstoff- und Phosphorverbindungen. Wie im Vormonat war die Sauerstoffzehrung des Seewassers, gemessen am BSB₁₄ sehr beträchtlich; in den Loten war aber die Sauerstoffzehrung (möglicherweise als Folge der Wasserbewegungen) noch grösser.

Die aus den Loten verschwundenen Kolonien von *Fragilaria* fanden sich in den Bechersedimenten wieder.

13. Exposition vom 2. bis 16. September 1958 (14 Tage)

a) Versuchsanordnung

In den letzten drei Versuchsserien des Jahres 1958 (Expositionen 13 bis 15) waren wir bestrebt, einige weitere Verwendungsmöglichkeiten der Plankton-Test-Lote abzutasten, so dass wir auf die weitere Durchführung des vorherigen, starren Untersuchungsprogrammes verzichteten.

Nach der 13. Exposition setzten wir wie üblich das See-Lot (sofort), um im oben abgepumpten Wasser den Zustand des Sees beim Ende der 13. Exposition zu erfassen. Bei den exponierten fünf Loten wurde indessen das darin befindliche Wasser verdrängt durch warmes Oberflächenwasser, indem wir davon je Rohr 50 Liter oben hineingossen. Das helle und das dunkle Lot blieben ohne besondere Zusätze. Von den drei weiteren durchsichtigen Loten erhielt eines 100 ml einer Phytoplanktonanreicherung, bestehend weit vorwiegend aus 49 500 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml, ein anderes eine Zooplanktonanreicherung, bestehend aus 34 Planktonkrebsechen pro ml (*Daphnia*, *Cyclops*, *Leptodora*) und ein drittes ebenfalls 100 ml dieser Zooplanktonanreicherung, aber zusätzlich noch 200 ml Phosphatlösung und 400 ml Nitratlösung.

Analog dazu befestigte ich im See fünf Flaschen (650 ml Inhalt) mit Oberflächenwasser: hell und dunkel je ohne Zusatz, ferner je eine Flasche mit 40 ml Phytoplank-

Tabelle 40 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 16. Sept. 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
0,3	21,2	6	15,0
1	20,4	7	14,0
2	19,9	8	12,8
3	19,7	9	10,8
4	19,1	10	10,4
5	17,4		

tonanreicherung und ebensoviel Zooplanktonanreicherung, ferner mit 20 ml Phosphatlösung, 40 ml Nitratlösung und 40 ml Zooplanktonflüssigkeit.

Nach den Wassertemperaturen zu beurteilen, herrschte am 16. Sept. 1958 im See noch eine für den Hochsommer typische Schichtung, was aus Tab. 40 hervorgeht.

Immerhin hatte sich das Oberflächenwasser in den letzten vierzehn Tagen um 1,5° C abgekühlt und auch im restlichen Teil des Epilimnions war als Folge von Strömungen eine gewisse Abkühlung erfolgt. Da aber zwischen Oberfläche und 7 m Tiefe eine Temperaturdifferenz von rund 6° C vorlag, war in den Test-Loten mit einer stabilen Schichtung zu rechnen.

b) Biologie des Test-Lot-Wassers

In dieser Versuchsperiode fanden wir nur vereinzelt farblose Flagellaten; nicht nur *Fragilaria* und *Ceratium* waren im freien See häufiger als in allen Loten, sondern auch *Mougeotia* und *Lyngbya limnetica*. Kleine, einzellige Grünalgen entwickelten sich abgesehen vom dunklen Lot in den Loten reichlich.

Nach der 13. Exposition war die Menge der *Oscillatoria*-Fäden in den Loten offensichtlich kleiner als im freien See (Tab. 41). Während sich im freien See in 3—5 m Tiefe ein sprunghaftes Maximum ausbildete, war in den Loten eine allge-

Tabelle 41 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (13. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	Phyto- Lot	Zoo- Lot	Zoo/PN- Lot
0—1	63	122	520	108	81	94
1—2	59	88	550	81	57	74
2—3	59	89	705	102	121	98
3—4	106	126	2 055	177	185	125
4—5	139	169	2 145	237	233	184
5—6	179	191	660	244	229	169
(6—7)	(116)	(113)	(265)	(141)	(193)	(157)
Mittel 0—6	101	131	1 106	158	151	124
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	—	—	6	—	—	—
<i>Ceratium hirundinella</i>	—	—	5	—	—	—
einzellige Grünalgen Flaschen pro ml:	11 053	10 927	14 821	25 622	56 520	15 951
<i>Oscillatoria</i>	495	345	—	(4)	420	11
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	107	32	—	340	158	54
<i>Synedra</i>	31	8	—	12	52	16
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	520	110	—	35 600	390	18 200
einzellige Grünalgen Bechersedimente, pro cm ² :	21 980	20 096	—	16 956	61 544	1 243 440
<i>Oscillatoria</i>	105	160	—	112	206	112
<i>Fragilaria</i>	224	388	—	334	342	300
<i>Synedra</i>	138	191	—	249	174	122
<i>Mougeotia</i>	6	36	—	33	16	7
<i>Anabaena</i>	135	53	—	177	365	268

meine Tiefengliederung nur insofern zu beobachten, als in den obersten 0—3 m Tiefe die Fädenzahl viel kleiner war, als in 3—7 m Tiefe.

In den exponierten Flaschen fand keine Vermehrung der *Oscillatoria*-Fäden statt, wohl aber ein fast vollständiges Verschwinden in zwei Flaschen, wobei uns die Gründe für dieses Verschwinden noch unbekannt sind. Im übrigen entwickelten sich *Fragilaria*, *Synedra*, *Mougeotia* und kleinste einzellige Grünalgen in den exponierten Flaschen besser als in den Test-Loten oder im freien See.

Bechersedimente:

In den Bechersedimenten der Lote kam wohl das Absinken von *Fragilaria*, *Synedra*, *Mougeotia* und *Anabaena* gut zum Ausdruck, nicht aber von *Oscillatoria rubescens*, die sich aufgelöst hatte; Reste von zerfallenen Fäden waren zu beobachten.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Über die Art der Lebensvorgänge in den Loten geben bereits die in Tab. 42 aufgeführten p_{H} -Werte Aufschluss, aus denen man ersieht, dass — abgesehen vom

Tabelle 42 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (13. Exposition, 16. Sept. 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	Phyto-Lot	Zoo-Lot	Zoo-PN-Lot
p_{H} -Wert	7,81	7,85	8,09	7,75	7,83	8,60
PO ₄ mg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	10,1
NO ₂ mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,850
NH ₃ mg/l	0,083	0,123	0,073	0,061	0,083	0,090
Härte, franz. °	14,04	13,87	13,42	14,08	14,25	12,21
Sauerstoff mg/l	1,97	2,87	8,07	2,74	3,67	6,26

Zooplankton/PN-Lot — in den Loten die Zehrungsvorgänge mit CO₂-Produktion überwogen, dass aber im freien See und im Zoo/PN-Lot die Kohlensäure restlos aufgebraucht wurde für Assimilationstätigkeit des Phytoplanktons. Die zugesetzten Nitrate und Phosphate fanden während der 13. Exposition nur teilweise Verwendung, wobei eine gewisse Nitratmenge der Nitritbildung diene. Die höchsten p_{H} - und Sauerstoffwerte gehen mit den niedrigsten Karbonathärten parallel als Folge biogener Kalkfällung.

Ein überraschend vielseitiges Bild bietet die Verschiedenheit der Sauerstoffgehalte

Tabelle 43 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (13. Exposition, 16. Sept. 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	Phyto-Lot	Zoo-Lot	Zoo/PN-Lot
0,5	3,89	3,20	10,54	5,08	6,36	13,00
1,5	3,46	3,78	9,97	4,72	6,17	13,51
2,5	1,83	3,40	11,39	4,46	4,13	7,00
3,5	1,37	2,89	10,45	0,67	3,88	1,63
4,5	0,86	2,04	4,53	0,58	0,67	1,31
5,5	0,43	1,78	1,55	0,92	0,83	1,08

in den fünf exponierten Loten und im See-Lot (sofort). Nach Tabelle 43 enthielt das Wasser im dunklen Lot in den obersten 2 Metern am wenigsten Sauerstoff, hingegen ist nicht klar, wieso die Zehrungen in den tieferen Schichten des hellen Lotes sogar grösser waren. Im Phyto-Lot und Zoo-Lot waren die Zehrungen zwar kleiner als im hellen oder dunklen Lot, oder die Sauerstoffverluste wurden durch Assimilation teilweise wettgemacht; der günstigere Zustand des freien Sees wurde indessen hier nicht erreicht. Lediglich im Zoo/PN-Lot fand in den obersten 2 m eine kräftige Assimilation statt, einen höheren Sauerstoffgehalt produzierend als im freien See. Dank der windbedingten und turbulenten Strömungen im freien See dehnte sich dort die Schicht mit befriedigendem Sauerstoffgehalt bis gegen 4 m Tiefe aus, im Gegensatz zur hochliegenden Oxykline im Zoo/PN-Lot.

Für das dem See am 16. Sept. aus 0—6 m Tiefe entnommene Wasser bestimmten wir im Laboratorium Sauerstoffzehrungen von 2—4 mg/l (nach 5 Tagen), bzw. bis 7,8 mg/l nach 14 Tagen.

Während wir den Chemismus des Flaschenwassers für drei frühere Expositionen schon besprochen haben (THOMAS, 1961), sind die Untersuchungsergebnisse für das Flaschenwasser der 13. Exposition (Tab. 44) und der 14. und 15. Exposition hier erstmals darzulegen.

Tabelle 44 Chemismus des Wassers der in 50 cm Tiefe eingehängten Flaschen (13. Expositionen, 16. Sept. 1958).

Untersuchung	helle Flasche	dunkle Flasche	Phyto-Flasche	Zoo-Flasche	Zoo/PN-Flasche
p_{H} -Wert	8,2	8,2	8,7	8,7	9,7
PO_4 mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,05
NO_3 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	30
NO_2 mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,62
NH_3 mg/l	0,06	0,05	0,16	0,16	0,12
Härte, franz. °	11,50	12,50	11,25	9,00	5,00
Sauerstoff mg/l	12,95	10,02	17,48	23,80	41,37

In der hellen und dunklen Flasche fanden gemäss Tab. 44 nur geringfügige Veränderungen des Chemismus statt, hingegen fallen die Phyto-Flasche und die Zoo-Flasche bereits durch deutlich erhöhte p_{H} - und Sauerstoffwerte auf, was in ganz extremer Weise für die Zoo/PN-Flasche gilt, in der gleichzeitig auch die Härte als Folge biochemischer Entkalkung stark abgenommen hatte.

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 2. bis 16. Sept. 1958

Das Füllen der Lote mit Oberflächenwasser gibt gegen Ende der Sommerstagnationsperiode interessante Hinblicke auf die Frage der Minimumstoffe. Als Vergleichsbasis für fehlende Assimilation dient das dunkle Lot mit seinem hohen Ammoniakgehalt. Im hellen Lot war die Lebenstätigkeit des autotrophen Planktons durch Nährstoffmangel blockiert. Die Zugabe von Phyto- und Zooplankton scheint wie eine leichte Düngierzugabe gewirkt zu haben, vermochte aber die Lebenstätigkeit nur wenig zu heben, weil die zugesetzten Plankter diesmal vorwiegend abstarben.

Die gleichzeitige Zugabe von Phosphat, Nitrat und Zooplankton förderte wenigstens in den am meisten belichteten obersten 2 m die Phytoplanktonentwicklung und -tätigkeit; hingegen konnte sich das zugegebene Zooplankton nicht am Leben halten, sondern verschwand vermutlich durch Zersetzung (Düngstoffbildung!), da das Rohr mit seiner unteren Öffnung bereits ins sauerstoffarme Wasser reichte.

In den eingehängten Versuchsflaschen wuchsen die Planktonalgen üppiger als in den Loten oder im freien See; dies gilt in vermehrter Masse für diejenigen Flaschen, in denen Nährstoffe direkt oder in Form von Plankton zugesetzt waren. Als Folge des Planktonwachstums traten chemisch extreme Werte auf, besonders hinsichtlich p_H -Wert, Karbonathärte und Sauerstoffgehalt.

14. Exposition vom 16. bis 30. September 1958 (14 Tage)

a) Versuchsanordnung

Als Vergleichsbasis setzten wir nach Versuchsende wieder das See-Lot (sofort), um Wasser abzupumpen und den momentanen Seezustand zu erfassen. Vier Lote füllten wir vor der Exposition mit Oberflächenwasser durch Eingiessen von je 50 Litern. Von diesen Loten blieben das helle und das dunkle ohne Zusätze. Das PN-Lot erhielt 200 ml Phosphatlösung und 400 ml Nitratlösung. Das helle Rühr-Lot erhielt keine Nährstoffzusätze, jedoch den bereits früher gezeigten Wellenmischer (THOMAS, 1961, S. 141). Das «Hypo-Lot» wurde in der Weise mit Wasser aus dem Hypolimnion gefüllt, dass wir das Oberflächenwasser von oben her vollständig abpumpten und damit veranlassten, dass nur Tiefenwasser von unten her nachfloss; um von Anfang an einen gewissen Algenbestand zu gewährleisten, fügten wir nachträglich zur Impfung 200 ml Oberflächenwasser zu. Es gelang auch diesmal, in den Loten Bechersedimente aufzufangen.

Von den eingehängten Flaschen füllten wir die helle und die dunkle mit Oberflächenwasser, ebenso die mit 20 ml Phosphatlösung und 40 ml Nitratlösung versehene PN-Flasche; zwei Flaschen erhielten Wasser des Hypolimnions, eine ohne und die andere mit 60 ml Oberflächenwasser zur Impfung mit Algen («Hypo-Flasche»).

Wie aus Tab. 45 ersichtlich, mischte die herbstliche Teilzirkulation am Ende der Expositionszeit die obersten Wasserschichten bereits bis zu fast vier m Tiefe voll durch, wobei die Auswirkungen turbulenter Strömungen zweifellos weiter griffen; immerhin befand sich die Sprungschicht noch innerhalb der Lotlänge.

Tab. 45 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 30. Sept. 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
0,3	17,2	6	16,4
1	17,2	7	15,7
2	17,2	8	13,2
3	17,0	9	11,8
4	16,8	10	10,2
5	16,7		

b) *Biologie des Test-Lot-Wassers*

Fragilaria war am 30. Sept. nur in einzelnen Kolonien im See vorhanden und fehlte in den Loten fast ganz. Nicht selten traten nun *Anabaena planctonica* und *A. aequalis* auf, sowie *Lyngbya limnetica*, dominierend aber immer noch kleinste Grünalgen, darunter reichlich *Selenastrum*, und die planktische *Mougeotia*.

Im freien See (See-Lot) war nun *Oscillatoria rubescens* in den obersten vier m am häufigsten, mit der Spitze im Oberflächenwasser. Eine ähnliche Schichtung trat nach Tab. 46 nur in dem mit Tiefenwasser gefüllten «Hypo-Lot» auf, wobei allerdings die gesamte Fädenzahl bereits nur noch gut halb so gross war. In den vier übrigen

Tabelle 46 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (14. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	PN-Lot	helles Rühr-Lot	Hypo-Lot
0—1	505	335	1 830	240	540	1 025
1—2	380	375	1 820	170	340	915
2—3	340	445	1 370	205	365	620
3—4	475	620	1 200	340	425	550
4—5	525	440	695	570	670	390
5—6	735	425	310	560	525	370
(6—7)	(295)	(210)	(164)	(215)	(200)	(190)
Mittel 0—6	493	440	1 204	348	477	645
einzellige Grünalgen	9 294	5 652	9 420	12 058	9 043	12 183
<i>Mougeotia</i>	49	3	16	115	19	47
Flaschen, pro ml	hell	dunkel	—	PN	Hypo o. O.	Hypo m. O.
<i>Oscillatoria</i>	?	5	—	238	71	59
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	65	2	—	119	67	94
<i>Synedra</i>	32	0	—	3	5	18
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	188	11	—	156	514	546
einzellige Grünalgen	5 275	4 396	—	11 304*	17 584	17 458
<i>Anabaena</i>	22	19	—	4	136	96
Bechersedimente, pro cm ² :						
<i>Oscillatoria</i>	17	360	—	80	270	165
<i>Fragilaria</i>	98	250	—	240	175	160
<i>Synedra</i>	26	17	—	21	19	22
<i>Mougeotia</i>	28	26	—	34	34	43

* davon 1130 *Selenastrum*.

Loten befand sich das Maximum der Fäden in drei bis sechs m Tiefe, also dort wo im freien See die Fädenzahl gegenüber den oberen Schichten klein war. Eine niedrige Fädenzahl war in den Loten insofern zu erwarten, als gemäss Tab. 41 sowohl beim Füllen der Lote mit Oberflächenwasser (520 Fäden pro ml) als auch mit Tiefenwasser (265 Fäden pro ml) schon bei Beginn der Exposition eine ungleiche Ausgangslage vorlag. Trotzdem ist das unterschiedliche Verhalten der Fäden in den Loten und im See bemerkenswert, wenn auch noch unabgeklärt.

Das Wachstum der einzelligen planktischen Grünalgen war im PN-Lot und im Hypo-Lot mit Abstand am intensivsten, also in den beiden Loten, die entweder durch künstlichen Zusatz oder von Natur aus am meisten Nährstoffe enthielten.

In den Versuchsflaschen hatten sich die *Oscillatoria*-Fäden grösstenteils zersetzt, am meisten im dunklen Lot, am wenigsten im PN-Lot. Hervorzuheben ist, dass sich besonders die Diatomeen (*Fragilaria crotonensis* und *Synedra acus var. angustissima*) in den Flaschen entschieden besser entwickelten als in den Test-Loten oder im freien See.

Bechersedimente:

In den Sedimenten der Test-Lote fielen vor allem die Diatomeen auf, die aus dem Plankton verschwunden waren.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Gemäss Tab. 47 waren die Stoffumwandlungen in den drei ohne Zusätze mit Oberflächenwasser versehenen Loten nur klein, am kleinsten (jedoch mit der grössten Ammoniakbildung) wie zu erwarten im dunklen Lot. Die Tätigkeit des Rührers

Tabelle 47 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (14. Exposition, 30. Sept. 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	PN-Lot	helles Rühr-Lot	Hypo-Lot
p_{H} -Wert	7,89	7,84	7,96	8,12	7,72	7,77
PO_4 mg/l	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02
NO_3 mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	8,03	<0,5	<0,5
NO_2 mg/l	<0,005	0,006	<0,005	0,512	<0,005	<0,005
NH_3 mg/l	0,046	0,127	0,040	0,108	0,065	0,050
Härte, franz. °	13,12	13,38	14,92	13,17	13,67	15,83
Sauerstoff mg/l	4,08	4,16	8,76	5,52	3,03	5,08

konnte sich kaum auswirken, weil das Lot-Wasser nun gegen den Herbst hin einfach zu wenig Nährstoffe enthielt, um eine regere Algenvermehrung zu erlauben. Die Wirkung eines solchen Rührers muss deshalb in weiteren Versuchen geprüft werden.

Im PN-Lot blieb von den zugegebenen Nährstoffen nur ein kleiner Teil übrig, und die erhöhte Assimilationstätigkeit führte zum höchsten p_{H} -Wert aller Lote. Andererseits lässt der hohe mittlere Ammoniakgehalt, hervorgerufen durch einen Spitzenwert von 0,22 mg/l in 4 m Tiefe, auf bereits einsetzende Abbauvorgänge schliessen. Im Hypo-Lot stieg der p_{H} -Wert von anfänglich 7,5 auf 7,77 im Mittel, während gleichzeitig die Härte von 17,5 auf 15,83 franz. ° fiel. Da der Nährstoffgehalt des Hypo-Lotes bei Versuchsbeginn nur klein war, vermochte sich die Aktivität der Algen nicht auszuweiten.

Zum gleichen Schluss kommt man bei der Beurteilung der Ergebnisse der Wasseranalysen für die beiden Hypoflaschen (Tab. 48), wobei es nur eine bescheidene Rolle spielte, ob man der Flasche noch etwas Impf-Plankton beifügte. In der dunklen

Flasche überwogen die Vorgänge der Zersetzung und Stofffreigabe (Phosphate, Ammoniak!), während in der PN-Flasche die rege Lebenstätigkeit für die Versuchsperiode in den gegenüber der hellen Flasche sehr hohen Werten für p_H und Sauerstoffgehalt, aber auch in der biogenen Entkalkung zum Ausdruck kommt.

Sauerstoffgehalte wie in der hellen Flasche oder gar wie in der PN-Flasche wurden in den Loten bei weitem nicht erreicht (Tab. 49). Allgemein waren die Sauerstoffgehalte nach der 14. Exposition günstiger als nach der 13. (Tab. 42). Tatsächlich war auch im See die Sauerstoffzehrung nun kleiner als bei der vorangehenden Expositionsperiode, nämlich nach 5 Tagen 1,0 bis 2,3 mg/l und nach 14 Tagen 1,5 bis 4,5 mg/l. Die oberen Schichten des Rühr-Lotes enthielten weniger Sauerstoff als im hellen Lot — eine Folge der Förderung abbauender Bakterien?

Table 48 Chemismus des Wassers der in 50 cm Tiefe eingehängten Flaschen (14. Exposition, 30. Sept. 1958).

Untersuchung	helle Flasche	dunkle Flasche	PN-Flasche	Hypo-Flasche ohne Oberfl.	Hypo-Flasche mit Oberfl.
p_H -Wert	8,3	7,9	>9,0	7,45	7,55
PO ₄ mg/l	<0,02	0,13	0,02	0,02	<0,02
NO ₃ mg/l	<0,5	<0,5	29	<0,5	<0,5
NO ₂ mg/l	<0,005	<0,005	0,09	<0,005	<0,005
NH ₃ mg/l	0,05	0,30	0,035	0,05	0,05
Härte, franz. °	12,00	12,25	7,00	18,75	18,00
Sauerstoff mg/l	12,36	8,37	41,54	4,90	5,48

Table 49 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (14. Exposition, 30. Sept. 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Lot	See-Lot (sofort)	PN-Lot	helles Rühr-Lot	Hypo-Lot
0,5	7,09	4,69	10,44	10,61	4,83	5,94
1,5	4,97	5,09	11,07	7,67	3,38	5,88
2,5	3,79	4,63	10,71	6,13	2,33	5,08
3,5	2,38	2,31	9,55	2,43	1,60	4,88
4,5	2,64	3,47	7,28	2,88	2,72	4,69
5,5	3,59	4,76	3,51	3,37	3,33	4,03

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 16. bis 30. Sept. 1958

Die 14. Exposition war im See gekennzeichnet durch den Übergang von den hochsommerlichen Umweltfaktoren zu den herbstlichen. Teilzirkulationen hatten zwar begonnen, aber das Wasser der Lote noch nicht mit dem hypolimnischen Wasser durchgemischt. Die Armut des Oberflächenwassers an freien, den Phytoplanktern zugänglichen Nährstoffen führte in bezug auf die Algenentwicklung zu Ermüdungserscheinungen, die allerdings sofort überwunden waren, wenn ein Zusatz von chemisch reinen Phosphaten und Nitraten erfolgte.

15. Exposition vom 30. Sept. bis 14. Okt. 1958 (14 Tage)

a) Versuchsanordnung

Da vor der 15. Exposition im See die Teilzirkulationen schon bis zu mehr als 3 m Tiefe fortgeschritten waren, liess sich nicht voraussehen, ob bis zum Abschluss dieser Exposition die Teilzirkulation auch eine Tiefe von 7 m ergriff; dann wäre das Test-Lot-Wasser völlig durchgemischt worden mit dem Wasser des freien Sees. Zufälligerweise trat dieser Zustand noch nicht restlos ein, weil die Witterung bis kurz vor der Probenahme noch warm blieb.

Für die 15. Exposition füllten wir das helle Lot wieder mit Oberflächenwasser zum Vergleich mit der vorhergehenden Exposition. Aus den vier anderen Loten pumpeten wir das Oberflächenwasser ab, so dass das Tiefenwasser emporstieg («Hypo-Lote»); ein helles Hypo-Lot blieb ohne Zusatz, die anderen erhielten je 200 ml Oberflächenwasser zur Impfung mit Algen, und eines hiervon wurde mit dem Rührer versehen.

Die helle und die dunkle Flasche enthielten bei dieser Exposition nur Oberflächenwasser, die «Hypo-Flasche» nur Tiefenwasser, die beiden anderen «Hypo-Flaschen» Tiefenwasser mit 10% Oberflächenwasser zur Impfung, wovon die letzte zusätzlich 20 ml Phosphatlösung und 40 ml Nitratlösung.

Tabelle 50 Wassertemperaturen, direkt im See gemessen, 14. Okt. 1958.

Tiefe in m	Temperatur ° C	Tiefe in m	Temperatur ° C
1	14,8	7	12,1
3	14,8	8	10,4
5	14,8	9	8,8
6	14,8	10	8,4

Aus der in Tab. 50 ersichtlichen Temperaturverteilung geht hervor, dass das Test-Lot-Wasser am Ende der Exposition nur noch schwach abgeschirmt war gegen das Wasser des freien Sees. So entschlossen wir uns, auf Grund dieser Temperaturverteilung und der bald zu erwartenden weitgreifenden Teilzirkulation, die Test-Lot-Versuche des Jahres 1958 nach dem 15. Oktober abzubrechen.

b) Biologie des Test-Lot-Wassers

In dieser Periode trat *Asterionella* etwas häufiger auf als *Synedra* und *Fragilaria* oder als *Ceratium*. Kleine einzellige Grünalgen fanden sich hauptsächlich in den exponierten Flaschen, wurden aber nicht ausgezählt.

Über die Verteilung von *Oscillatoria* bei Versuchsabschluss sind wir nicht orientiert, weil die Entnahme des See-Lotes (sofort) am 14. Okt. durch eintretenden Sturm verunmöglicht wurde. Es ist jedoch allgemein bekannt, dass im Herbst und besonders im Monat Oktober bei ruhigem Wetter im freien See ein Aufrahmen von *Oscillatoria rubescens* erfolgt. Ein solches Aufsteigen in die obersten Wasserschichten war nun nach der 15. Exposition auch in allen Loten zu beobachten, wie aus Tab. 51 hervor-

Tabelle 51 Fäden von *Oscillatoria rubescens* pro ml (15. Exposition) und Mittelwerte für andere Algen.

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Hypo-Lot mit Oberfl.w.	helles Hypo-Lot ohne Oberfl.w.	h. Hypo-Lot mit Oberfl.w.	h. Hypo-Lot m. Obfl.w. m. Rührer
0—1	2 520	1 000	1 415	1 045	965
1—2	755	955	890	555	630
2—3	620	840	750	530	575
3—4	500	680	425	585	575
4—5	690	720	660	505	500
5—6	590	660	705	625	675
(6—7)	(340)	(410)	(795)	(610)	(795)
Mittel 0—6	946	809	807	641	653
<i>Asterionella</i> (Zell.)	3	1	7	2	1
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	24	4	18	19	21
Flaschen, pro ml	hell	dunkel	Hypo-Flasche ohne Obfl.w.	Hypo-Flasche mit Obfl.w.	Hypo-Flasche mit Obfl.w. + PN
<i>Oscillatoria</i>	525	16	15	12	3
<i>Fragilaria</i> (Kol.)	16	5	38	338	164
<i>Asterionella</i> (Zell.)	—	35	8	12	—
<i>Mougeotia</i> (Zell.)	6	—	392	2 450	1 860
Bechersedimente, pro cm ² :					
<i>Oscillatoria</i>	1 020	544	1 300	1 114	1 070
<i>Fragilaria</i>	416	324	295	250	165
<i>Synedra</i>	76	24	51	33	27
<i>Mougeotia</i>	172	52	71	103	63

geht. Da das Oberflächenwasser am 30. Sept. *Oscillatoria*-reich war, überrascht es nicht, die grösste Fädenzahl am 14. Okt. in dem mit Oberflächenwasser gefüllten hellen Lot zu finden. Berücksichtigt man aber, dass die mit Tiefenwasser gefüllten Lote anfänglich (Tab. 46) nur um 164 Fäden (See-Lot, sofort) enthielten, so erkennt man die grosse Zunahme der Fädenzahl. Es scheint uns indessen unwahrscheinlich, dass es sich hier um eine Vermehrung durch Wachstum handelt; eher erfolgte die Zunahme durch Aufsteigen der Fäden aus tieferen Schichten in die unten offenen Lote, die hier wie eine Falle wirkten. Man wird diese Frage in einem späteren Versuch dadurch abklären können, dass man das untere Rohrende mit einem wasser-durchlässigen, filtrierenden Material (Tuch oder dergleichen) verstopft. — Der Gehalt an Kieselalgen und an Grünalgen blieb bei der 15. Exposition klein, nicht zuletzt wohl auch als Folge des hohen *Oscillatoria*-Gehaltes.

Die Lebensbedingungen in den Flaschen scheinen wesentlich anders zu sein als in den Loten, indem die Zahl der *Oscillatoria*-Fäden gegenüber dem Ausgangswasser (Tab. 46) stark abgenommen hat, nämlich in der hellen Flasche mit Oberflächenwasser von 1830 auf 525, in der dunklen auf 16, und in der Flasche mit Tiefenwasser von 164 Fäden auf 15 bis 3! In den Flaschen mit Tiefenwasser war das Wachstum ohne Impfung mit Oberflächenwasser kleiner als mit Impfung; eine zusätzliche Nitrat-Phosphat-Zugabe wirkte sich bei dieser letzten Exposition nicht mehr aus.

Bechersedimente:

Die in Tab. 51 aufgeführten Zahlen geben Aufschluss über die aus den Loten abgesunkenen Planktonalgen, zu denen sich noch vereinzelt *Synedra*, *Asterionella*- und *Staurastrum*-Zellen gesellen. Auf die ganze Wassersäule berechnet spielen aber diese Verluste eine sehr kleine Rolle.

c) Chemismus des Test-Lot-Wassers

Wenn auch gemäss Tab. 50 zu erwarten war, dass die Sprungschicht während der 15. Expositionsperiode noch innerhalb der Lote lag, so lässt Tab. 52 erkennen, dass jetzt diese tiefliegende Sprungschicht nicht mehr genügte, um das Oberflächenwasser vom Tiefenwasser zu isolieren. Wahrscheinlich hatten kurz vor der letzten Probenahme in den Loten Austauschströmungen stattgefunden, die den Chemismus des Test-Lot-Wassers weitgehend ausglich. Die in Tab. 54 aufgeführten Sauerstoffgehalte bestärken diese Auffassung. Am meisten Sauerstoff enthielt das Wasser der Lote an der Oberfläche.

Tabelle 52 Chemismus des Test-Lot-Wassers von 0 bis 6 m Tiefe im Mittel (15. Exposition, 14. Okt. 1958).

Untersuchung	helles Lot	dunkles Hypo-Lot mit Oberfl.w.	helles Hypo-Lot ohne Oberfl.w.	h. Hypo-Lot mit Oberfl.w.	h. Hypo-Lot m. Oberfl.w. m. Rührer
p _H -Wert	7,90	7,88	7,92	7,88	7,94
PO ₄ mg/l	0,13	0,11	0,12	0,10	0,12
NO ₃ mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
NO ₂ mg/l	0,008	0,037	< 0,005	< 0,005	< 0,005
NH ₃ mg/l	0,041	0,031	0,031	0,033	0,031
Härte, franz. °	14,62	15,92	15,37	15,46	15,50
Sauerstoff mg/l	4,42	5,15	5,48	5,32	6,34

Tabelle 53 Chemismus des Wassers der in 50 cm Tiefe eingehängten Flaschen (15. Exposition, 14. Okt. 1958).

Untersuchung	helle	dunkle	Hypo-Flasche ohne Oberfl.w.	Hypo-Flasche mit Oberfl.w.	Hypo-Flasche m. Oberfl.w. + PN
p _H -Wert	8,05	7,35	8,05	8,10	8,55
PO ₄ mg/l	0,04	0,04	< 0,02	< 0,02	1,0
NO ₃ mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	24
NO ₂ mg/l	< 0,005	0,05	< 0,005	< 0,005	0,055
NH ₃ mg/l	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
Härte, franz. °	12,75	12,75	16,75	15,50	10,50
Sauerstoff mg/l	7,42	1,62	8,81	11,07	15,16

Tabelle 54 Sauerstoffgehalt des Test-Lot-Wassers von 0,5 bis 5,5 m Tiefe (15. Exposition, 14. Okt. 1958).

Tiefe in m	helles Lot	dunkles Hypo-Lot mit Oberfl.w.	helles Hypo-Lot ohne Oberfl.w.	helles Hypo-Lot mit Oberfl.w.	helles Hypo-Lot m. Oberfl.w. m. Rührer
0,5	10,12	6,60	7,94	8,45	8,65
1,5	4,19	4,89	4,72	4,32	5,98
2,5	1,60	4,66	4,35	3,83	5,14
3,5	2,28	4,77	4,33	4,27	5,50
4,5	4,19	4,73	5,08	4,77	5,81
5,5	4,11	5,23	6,48	6,27	6,99

Einen Einblick in die im See zu dieser Zeit noch mögliche Lebenstätigkeit gibt die Untersuchung der eingehängten Versuchsflaschen (Tab. 53). Wasser aus dem Hypolimnion mit Phosphor- und Stickstoffzusatz erlaubte die stärkste p_H -Erhöhung und Kalkfällung. Tiefenwasser ergab nach einer Impfung mit Oberflächenwasser einen höheren Sauerstoffgehalt, eine grössere Kalkfällung und p_H -Erhöhung als ohne Impfung. Im Oberflächenwasser machte sich nach Verdunkelung eine starke Zehnung geltend, die jedoch ohne Verdunkelung nicht zum Ausdruck kam oder durch die Assimilation übertönt wurde.

d) Zusammenfassung über die Exposition vom 30. Sept. bis 14. Okt. 1958

Die bei Beginn der Exposition in 4 m Tiefe liegende obere Grenze der Sprungschicht (Tab. 45) wurde durch die herbstlichen Teilzirkulationen hinuntergedrängt auf ca. 6,5 m Tiefe. Mit anderen Worten vermochte also gegen Ende der Versuchsperiode die Sprungschicht den Inhalt der Test-Lote gegen das umgebende Wasser nicht mehr sicher abzuschirmen. Hinsichtlich des Planktongehaltes und des Chemismus des Test-Lot-Wassers waren deshalb in den verschiedenen Loten nur geringfügige Unterschiede zu verzeichnen, so dass die während der Versuchsperiode ablaufenden Lebensvorgänge nicht voll erfasst wurden.

Die gleichzeitig angelegten Flaschenversuche zeigten andererseits, dass sich beim Vorhandensein genügender Nährstoffmengen trotz der vorgerückten Jahreszeit noch eine rege Planktontätigkeit abspielte, wenn die in der Flasche fixierte Wassermenge stets 50 cm unter dem Wasserspiegel blieb; dies gilt besonders für die mit Hypolimnionwasser, Phosphat- und Nitratlösung gefüllte und mit Oberflächenwasser geimpfte Flasche (Tab. 53). Eine Erklärung dafür, dass in der mit Oberflächenwasser gefüllten Flasche *Oscillatoria rubescens* gut erhalten blieb, in der dunklen und in den mit Hypolimnionwasser gefüllten Flaschen dagegen fast ganz verschwand, steht noch aus.

C. Besprechung der Ergebnisse

1. Ergänzungen zur Methodik

Bei unseren Versuchen des Jahres 1958 wünschten wir Aufschluss zu erhalten über die Temperaturverhältnisse in den Test-Loten. Wir hängten deshalb während des Auspumpens des Wassers ein Thermometer ins Oberflächenwasser des Lotes. Da aber das Auspumpen eines Lotes einschliesslich Abfüllen des Wassers in Flaschen rund 20 Minuten beansprucht, erwärmte sich das Wasser aus grösserer Tiefe auf seinem Weg zur Oberfläche, wie wir bei einem Vergleich mit rasch (ohne Abfüllen von Flaschen) abgepumptem Lot festgestellt hatten. Beim geringen Durchmesser der Lote hätte eine Temperaturmessung mit Elektrothermometer keine befriedigenden Ergebnisse geliefert. Indessen hat nun GOLDMAN (1962) in seinen gross dimensionierten Polyäthylen-Test-Loten (Durchmesser 1,16 und 0,58 m) Temperaturmessungen durchgeführt, bei denen sich die Innen- und Aussentemperatur der Lote als

annähernd gleich erwies. Nach unseren Erfahrungen erfolgt der Temperatúrausgleich bei den Plexiglas- und Symalen-Loten mit 5,4—5,6 cm Durchmesser in kurzer Zeit.

Über den Vorgang der Verteilung von oben in die Lote eingebrachten Salzmengen berichteten wir auf Grund von Versuchen mit Natriumchlorid an anderer Stelle (THOMAS, 1960). Die in den besprochenen Versuchen oben eingebrachten Nährsalzlösungen verteilten sich erfahrungsgemäss in wünschenswerter Weise. Hingegen sei hier noch auf eine störende Wirkung von Stürmen hingewiesen.

Wenn die Plankton-Test-Lote einem starken Wellengang ausgesetzt sind, dann findet auch innerhalb des Lotes ein ständiges Aufsteigen und Absinken des Wasserspiegels statt; diese Bemerkung gilt auch für die von GOLDMAN verwendeten Lote mit grossen Durchmesser. Aus dem untersten Teil des Lotes geht somit immer ein Wasserteil verloren und wird — da bei Stürmen beim unteren Lot-Ende Strömungen stattfinden — durch Lot-fremdes Wasser ersetzt. Im Idealfall würde dabei aus dem untersten Lot-Teil eine nur so hohe Wasserschicht ausgetauscht, als im Oberflächenwasser des Lotes der maximalen Höhendifferenz entspricht. Es ist aber zu vermuten, dass sich diese Wellenwirkung im untersten Teil der Lote durch turbulente Strömungen etwas weiter hinauf auswirkt, bis die grösser werdenden Differenzen in der Wassertemperatur einen weiteren Austausch aufhalten. Glücklicherweise sind bei Wellengang die Wasserspiegelschwankungen innerhalb der Test-Lote kleiner als ausserhalb. Wellenarme Witterungsperioden und Seebuchten eignen sich deshalb am besten für Versuche mit Test-Loten.

Wir erachten es als wichtig, dass die Test-Lote vor jeder Exposition innen (mit an Stab befestigter Bürste oder Lappen) und aussen (mit Lappen, evtl. auch mit Säure) gründlich gereinigt werden, was bei Loten mit grossem Durchmesser (GOLDMAN, 1962) vermutlich nicht leicht ist.

2. Das Verhalten von *Oscillatoria rubescens* und anderen Blaualgen

Unter den Planktonalgen zeichnet sich *Oscillatoria rubescens* dadurch aus, dass sie in der Regel sehr langlebig ist. So entwickeln sich im Zürichsee von dieser Alge im Frühjahr grosse Massen, die erst gegen den Beginn des nächsten Frühjahrs grösstenteils auf den Seeboden sinken und sich zersetzen (THOMAS, 1951). Für den Seeanwohner gewinnt die Alge durch ihre eigenartigen Lebensgewohnheiten an Auffälligkeit. In manchen Seen verschiebt sie sich im Hochsommer aus dem Epilimnion sozusagen restlos ins Metalimnion, wo sie die physikalischen und chemischen Milieufaktoren wesentlich beeinflusst, um erst im Herbst durch Teilzirkulationen wieder ins Oberflächenwasser und später auch in die tieferen Wasserschichten zu gelangen. Nach der Hauptzirkulation erfolgt ein massenhaftes Absinken und schliesslich ein erneutes Einschichten der restlichen Algenfäden ins Metalimnion.

Die Test-Lot-Untersuchungen des Jahres 1958 verfolgten unter anderem den Zweck, auf experimentellem Wege Erfahrungen zu sammeln, welche Faktoren für das eigenartige Verhalten der Burgunderblotalge verantwortlich sein mögen. Unter den *Oscillatoria*-Seen wählten wir für diese Versuche den Baldeggersee, weil die Sprungschicht verhältnismässig hoch liegt, der See nur von wenigen Booten befahren

werden darf und weil uns im Laboratorium des Schweizerischen Bundes für Naturschutz eine geeignete Basisstelle zur Verfügung stand.

Für alle 15 Expositionen haben wir den Gehalt der Test-Lote an *Oscillatoria*-Fäden für das Oberflächenwasser und den Mittelwert von 0—6 m Tiefe graphisch dargestellt, die Abszissenachse für die Zeit und die Ordinatenachse für die Fädenzahl während (Abb. 1 und 2). Wir geben im folgenden eine Zusammenfassung der Ergebnisse, wobei wir daran erinnern, dass Lote mit Nährstoffzusätzen in dieser Versuchsreihe erst ab 10. April 1958 exponiert wurden; ferner ist der Seezustand (See-Lot, sofort) vom 14. Oktober 1958 nicht bekannt.

Die vom 19. März bis zum 14. Oktober 1958 dauernde Versuchsperiode gliedert sich im ganzen gesehen in zwei Teile. Im ersten, bis zum 22. Juli dauernden Teil war die Zahl der *Oscillatoria*-Fäden im Mittel fast immer grösser als im See, während im zweiten Teil der Versuchsperiode die mittlere Fädenzahl im See grösser war als in den Loten. Parallel zu dieser Feststellung geht die Beobachtung, dass im ersten Teil der Versuchsperiode das Oberflächenwasser in den Loten mehr Fäden enthielt, als dem mittleren Fädengehalt des betreffenden Lotes entsprach; im zweiten Teil der Versuchsperiode dagegen war der *Oscillatoria*-Gehalt im Oberflächenwasser der einzelnen Lote etwa gleich dem mittleren Fädengehalt des betreffenden Lotes. Im ersten

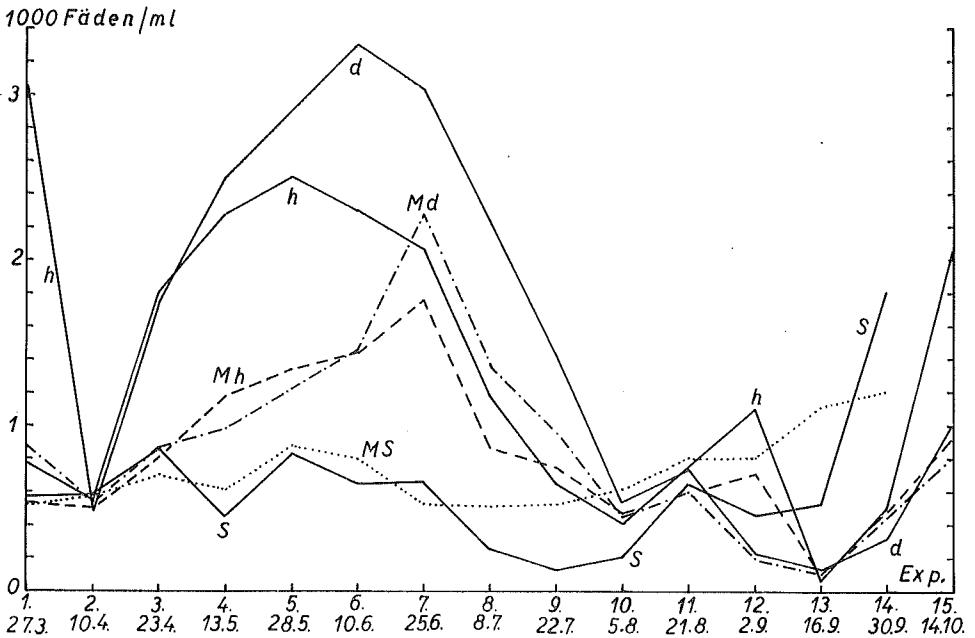


Abb. 1. Anzahl von *Oscillatoria*-Fäden in Plankton-Test-Loten und im freien See (See-Lot, sofort) nach der 1.—15. Exposition; h = helles Lot, Oberfläche; Mh = helles Lot, Mittelwert von 0—6 m; d = dunkles Lot, Oberfläche; Md = dunkles Lot, Mittelwert von 0—6 m; S = See-Lot (sofort), Oberfläche; MS = See-Lot (sofort), Mittelwert von 0—6 m.

Teil der Versuchsperiode fand somit innerhalb der Lote ein Aufsteigen der Fäden gegen die Seeoberfläche statt. Diese Tendenz des Aufrahmens war im dunklen Lot am grössten, am zweitgrössten im hellen Lot ohne Nährstoffzusätze, etwa gleich gross in den Loten mit nur Phosphatzusatz oder nur Nitratzusatz und am kleinsten im Lot mit Zusatz von Phosphat und Nitrat. Die Zunahme der Fädenzahl in den Loten im ersten Teil der Versuchsperiode dürfte einerseits auf Vermehrung beruhen, anderseits aber auch im Aufsteigen von Fäden aus tieferen Schichten in die Lote hinein; mehr Untersuchungen sind zur Abklärung dieser Frage erwünscht.

Im zweiten Teil der Versuchsperiode fehlte in den Loten die Tendenz des Aufrahmens. Während im freien See das Oberflächenwasser meist weniger Fäden enthielt, als dem mittleren Gehalt im See (0—6 m) entsprach, war eine solche Veränderung in den Loten indessen nur selten und in bescheidenem Umfang zu beobachten. Ganz aus dem Oberflächenwasser des Baldeggersees, wie bei anderen *Oscillatoria*-Seen, verschwand *O. rubescens* im Sommer 1958 nie.

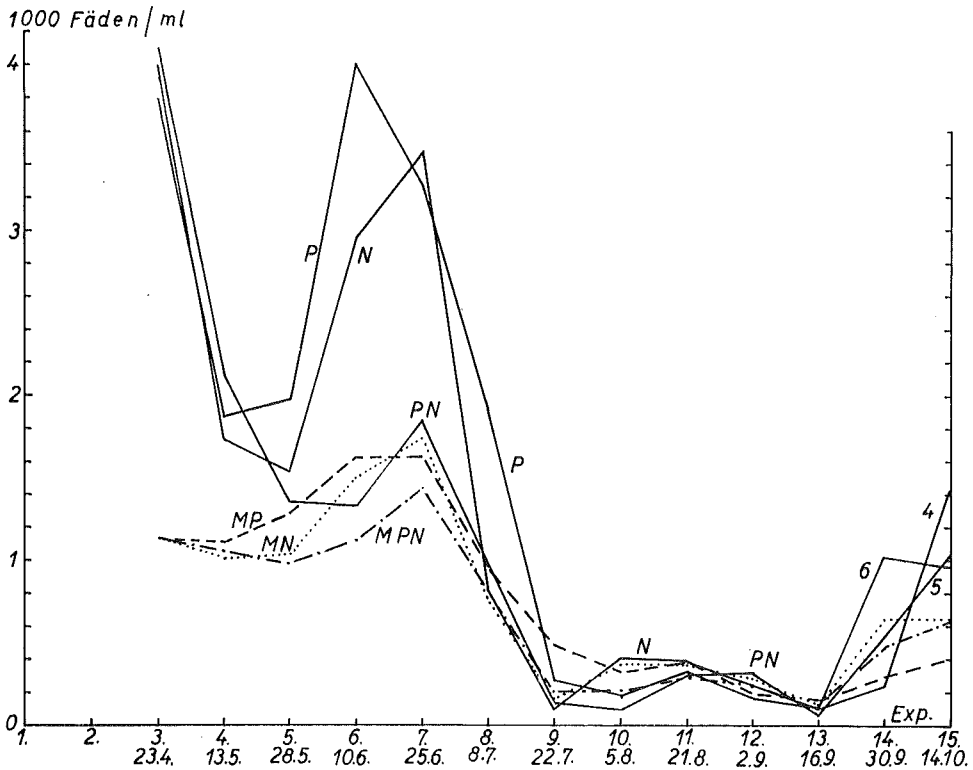


Abb. 2. Anzahl von *Oscillatoria*-Fäden in den restlichen drei Plankton-Test-Loten nach der 3.—15. Exposition; P = P-Lot, Oberfläche; MP = P-Lot, Mittelwert von 0—6 m; PN = PN-Lot, Oberfläche; MPN = PN-Lot, Mittelwert von 0—6 m; N = N-Lot, Oberfläche; MN = N-Lot, Mittelwert von 0—6 m; die Zahlen 4, 5 und 6 beziehen sich auf die speziellen Versuchslote der Expositionen 13—15 (Oberfläche und entsprechende Mittelwerte von 0—6 m).

Im Juni begann sich die Alge im freien See in charakteristischer Weise zu schichten, die maximale Fädenzahl auf etwa 5 m Tiefe verlegend; im Spätsommer stieg die Maximalzahl auf 3—4 m Tiefe (12. Exposition). In den Loten war für *Oscillatoria* seltener ein Sprungschichtmaximum zu beobachten, so z. B. in der 10. Exposition (22. Juli bis 5. Aug.). Als Kuriosum für das Verhalten von *O. rubescens* sei hier hervorgehoben, dass sie in Flaschenversuchen in 50 cm Tiefe mehrmals vollständig oder fast vollständig verschwand durch Zersetzung (cf. auch THOMAS, 1961, S. 142). Ein solches Verhalten kann bei Produktionsstudien mit Flaschenexperimenten zu Fehlern führen.

Ausser *O. rubescens* spielte unter den Blaualgen im Versuchsjahr nur *Anabaena planctonica* eine gewisse Rolle, ohne jedoch durch starke Vermehrung hervorzutreten (10. Exposition).

3. Das Verhalten der Diatomeen

Stephanodiscus astraea var. *minutula* vermochte sich in den Loten bei der 4. Exposition besser zu entwickeln als im See, was wohl auf die im See erhöhten Frassverluste durch Krustazeeen zurückzuführen ist.

Asterionella war bei der 4. und 15. Exposition von etwelcher Bedeutung, entwickelte sich aber in den Loten nur in bescheidenem Umfang.

Synedra acus var. *radians* und var. *angustissima* entwickelten sich z. B. bei der 5. Exposition in den Loten in ähnlicher Weise wie im See, bei der 4. dagegen in geringerem Umfang.

Fragilaria crotonensis gedieh im freien See meist etwas besser als in den Loten. Hingegen wuchs sie in den Flaschenversuchen besonders nach Nährstoffzugabe zeitweise sehr üppig. Sie erreichte indessen weder im Baldeggersee noch in den Test-Loten im Sommer 1958 eine grössere produktionsbiologische Bedeutung.

4. Das Verhalten der Grünalgen

Die Entwicklungszeit der Grünalgen begann bei unseren Versuchen Ende Mai (5. Exposition) und erstreckte sich bis gegen den Herbst. Zu erwähnen sind vor allem *Ankistrodesmus spirotænia*, *Selenastrum*, eine planktische *Mougeotia* (evtl. *Debarya* Wittrock), kleinste einzellige Grünalgen und von geringerer Bedeutung *Oocystis*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*, *Micractinium* und andere. Diese Algen waren es hauptsächlich, die auf die Zugabe von Nährstoffen durch massenhafte Vermehrung ansprachen. Unter ihnen erreichte *Ankistrodesmus* allein schon durch Phosphatzugabe sehr hohe Individuenzahlen, wobei die Stickstoffversorgung möglicherweise auf dem Wege über luftstickstoffbindende Organismen erfolgte (7. und 8. Exposition); eigenartig ist nur, dass sich diese Alge zur gleichen Zeit in den exponierten Flaschen überhaupt nicht entwickelte.

Von andauernd grosser Bedeutung waren die für quantitative Untersuchungen wenig beliebten grünen Kugelalgen; die Gehaltszahlen sind nur von beschränkter Bedeutung, weil die einzelnen Algen von Lot zu Lot oder von Flasche zu Flasche in ihrer Grösse erheblich variieren und schwer vergleichbar sind. Da auch den Lebens-

ansprüchen dieser Kugelalgen sehr weite Grenzen gesteckt sind (Licht-Dunkelheit; Stickstoff-Phosphor), muss man sich fragen, ob hier nicht verschiedene physiologische Rassen vorliegen.

Mougeotia kam mit geringen Phosphatmengen aus, bevorzugte aber einen erhöhten Nitratgehalt.

5. Das Verhalten anderer Planktonalgen

Ceratium hirundinella fand sich bei der 10., 12. und 13. Exposition vereinzelt im freien See; den Lebensraum der Test-Lote schien diese Alge dagegen nicht zu ertragen, eher den der Versuchsflaschen.

Andere Planktonalgen erlangten im Sommer 1958 weder im Baldeggersee noch in den Test-Loten oder Versuchsflaschen eine produktionsbiologische Bedeutung.

6. Keimzahl und coliforme Bakterien

Bei der 12.—15. Exposition bestimmten wir die Keimzahl und die Zahl coliformer Bakterien. In allen Fällen enthielt das Wasser des freien Sees (See-Lot, sofort) weniger Bakterien als das Wasser in den Test-Loten oder Versuchsflaschen. Die dunklen Lote und Flaschen enthielten in vier von fünf Fällen weniger Bakterien als die hellen, z. T. mit Nährstoffzusätzen versehenen.

7. Das Verhalten der Zooplankter

Da unsere Test-Lote bei der besprochenen Versuchsserie unten mit einem Sieb versehen waren, auf dem das Sedimentbecherchen befestigt war, befanden sich in den exponierten Loten zweifellos viel weniger Zooplankter als im freien See. Wir haben deshalb im Rahmen dieser ersten Versuche auf eine Bearbeitung des Zooplanktons verzichtet. Für Studien über das Verhalten der Zooplankter würden wohl am besten spezielle Versuche angelegt.

8. Phytoplankton und Nitrat- und Phosphatgehalt

Nicht nur bei Seen, sondern auch unter marinen Bedingungen finden die Beziehungen zwischen Nitrat- und Phosphatgehalt heute grosse Beachtung (JEFFRIES, 1962, S. 28). Dabei ist augenfällig, wie das N : P-Verhältnis in Süßwasserseen (THOMAS, 1949, Tab. 1 und 1953, S. 77) sich in einem ähnlichen Rahmen bewegt, wie unter marinen Bedingungen. So fanden wir im oligotrophen Walensee im Winter ein Verhältnis von N : P = 46 : 1, im eutrophen Zürichsee aber N : P = 11 : 1, im Abwasser einer Gemeinde indessen ca. N : P = 4 : 1 bis 17 : 1. Bei den Test-Lot-Versuchen des Jahres 1958 interessierte vor allem die Frage, in welcher Weise die Zugabe von Phosphat oder von Nitrat oder von beiden Stoffen zusammen das Wachstum der Planktonalgen beeinflusse.

Da der Baldeggersee als Folge der Abwassereinleitungen heute stark eutroph ist (cf. BACHOFEN, 1960), war bei den ersten vier Expositionen der Nitrat- und Phosphat-

gehalt in den Loten auch ohne Zugabe von Nährlösungen so gross, dass kein Schwund bis zu minimalen Werten erfolgte, abgesehen vom freien See (0 bis 6 m) und vom Oberflächenwasser des P-Lotes am 13. Mai. Eine vermehrte Phosphorzugabe hatte nämlich schon in der Zeit vom 23. April bis 13. Mai eine vermehrte Lebenstätigkeit des Phytoplanktons zur Folge. Phosphorreichtum des Seewassers führt also schon im Frühjahr zur vermehrten Bildung von zersetzlichem Material, aus dem die Nährstoffe, nach der Zersetzung wieder ans Wasser abgegeben werden und neuen Stoffkreisläufen («Kleinkreisläufen») zur Verfügung stehen!

Bei der 5. bis 7. Exposition (13. Mai bis 25. Juni) genügten die im Seewasser vorhandenen Phosphate, dass sogar im N-Lot alle zugegebenen Nitrate aufgezehrt wurden. Von einem erhöhten Nitrat-Zusatz blieben bei der 8. Exposition (25. Juni bis 8. Juli) noch Reste zurück, nicht aber bei der 9. Exposition (8. Juli bis 22. Juli), was auf die durch erhöhte Temperatur angeregte Lebenstätigkeit zurückzuführen sein dürfte. Hingegen war der Phosphatgehalt des Wassers im N-Lot bei der 10. bis 12. Exposition (22. Juli bis 2. Sept.) so klein, dass verhältnismässig viel Nitrat zurückblieb, stets mehr als bei der gleichzeitigen Zugabe von Phosphat wie im PN-Lot. Bei der 11. Exposition waren im PN-Lot die Nitrate als Folge des Phosphatzusatzes sogar aufgezehrt.

Es überraschte, dass es Grünalgen wie *Ankistrodesmus* und *Selenastrum* waren, die trotz Nitratmangel sich bei Phosphatreichtum rasch vermehrten. In noch nicht publizierten Untersuchungen haben wir allerdings in Seewasser das Vorhandensein von stickstoffbindenden Bakterien nachgewiesen, deren Tätigkeit möglicherweise die Entwicklung dieser Grünalgen begünstigte.

Andererseits erwiesen sich kleinste kugelige Grünalgen (μ -Algen) als am besten geeignet, um bei Phosphatmangel vorhandene Nitrate auszunützen. Hier mag es die grosse Oberfläche dieser Algen sein, die die kleinsten, bei Zersetzungen frei werden den Phosphatmengen spontan aufzunehmen erlaubte. Auch in tieferen Wasserschichten (11. Exposition) waren μ -Algen im Vorteil (cf. RODHE, 1955).

Es fiel auf, dass *Oscillatoria rubescens* sich in Plankton-Test-Loten weder durch Phosphat-, noch durch Nitrat-Zugabe, noch durch eine Kombination beider Nährstoffe zu vermehrtem Wachstum bewegen liess. Weder die Laboratorium-Experimente von R. STAUB (1961), noch unsere in-situ-Experimente mit Plankton-Test-Loten lassen deshalb vorläufig einen Schluss zu, welcher spezielle Stoff das Wachstum von *O. rubescens* stimuliert. Unsere Versuche stellten sicher, dass in einem eutrophen *Oscillatoria*-See eine übermässige Phosphat- oder Nitrat-Zufuhr oder eine Kombination beider Stoffe das Wachstum anderer Planktonalgen begünstigen kann!

Während *O. rubescens* in den Plankton-Test-Loten im allgemeinen gut erhalten blieb, ging die Alge in vielen exponierten Flaschen ganz oder teilweise ein und machte anderen Planktern Platz wie *Fragilaria crotonensis*, *Ceratium hirundinella*, *Mougeotia*, kleinsten Grünalgen. Die Lebensbedingungen sind somit in Flaschen erheblich anders als im freien See oder in Test-Loten.

Sogar künstliche Ruheperioden mit 14 Tagen Dunkelheit überstand *O. rubescens* im dunklen Lot meistens gut. Der Wasserchemismus veränderte sich dabei in diesem Lot insofern, als der Ammoniak- und Phosphatgehalt anstiegen, besonders bei stärkerem Rückgang des Sauerstoffgehaltes.

Die «Minimum-Grenze» eines bestimmten Stoffes ist in einem See nicht für alle Algen gleich. Die Versuche mit Plankton-Test-Loten zeigten, dass die im See vorhandenen Arten von Planktonalgen sich im Milieu der Lote den veränderten Bedingungen sehr rasch anpassen, indem vorher seltene Phytoplankter unter Umständen plötzlich dominierend auftreten. Die Erfahrung mit solchen experimentell (künstlich) hervorgerufenen raschen Veränderungen in der Planktonbiocoenose deckt sich mit den Beobachtungen an eutrophen Seen, wo plötzliche Witterungsumschläge oder Sturmeinflüsse das Planktonbild oft in kurzer Zeit verändern.

Die 13. bis 15. Exposition zeigte, dass es bei kleinem Durchmesser der Test-Lote möglich ist, in Vergleichsserien einzelne Lote ganz mit Oberflächenwasser oder ganz mit Tiefenwasser (durch Abpumpen des Oberflächenwassers) zu füllen, was bei gross dimensionierten Loten einige Schwierigkeiten bereitet. Wir sind jedoch überzeugt, dass für die Abklärung mancher Fragen auch gross dimensionierte Test-Lote, wie sie von GOLDMAN (1962) verwendet wurden, sehr nützlich sind.

D. Literatur

- BACHOFEN, R., 1960. Stoffhaushalt und Sedimentation im Baldegger- und Hallwilersee (Diss., Universität Zürich, Juris-Verlag, Zürich).
- GOLDMAN, CH. R., 1962. A method of studying nutrient limiting factors in situ in water columns isolated by polyethylene films (Limnology and Oceanography, 7, 99—101).
- JEFFRIES, H. P., 1962. Environmental characteristics of Raritan Bay, a polluted estuary (Limnology and Oceanography, 7, 22—31).
- RODHE, W., 1955. Can plancton production proceed during winter darkness in subarctic lakes? (Verhandl. IVL, Vol. XII, 117—122).
- STAUB, R., 1961. Ernährungsphysiologisch-autökologische Untersuchungen an der planktischen Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC (Schweiz. Z. f. Hydrologie, Vol. XXIII, 81—198).
- THOMAS, E. A., 1950. Beitrag zur Methodik der Produktionsforschung in Seen (Schweiz. Z. f. Hydrologie, 12, 25—37).
- 1953. Zur Bekämpfung der See-Eutrophierung: Empirische und experimentelle Untersuchungen zur Kenntnis der Minimumstoffe in 46 Seen (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 (Schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm., Nr. 1, 8 S.).
- 1959. Versuche mit Plankton-Test-Loten im Baldeggersee. Erster Teil, vom 19. März bis 13. Mai 1958 (Vierteljschr. Natf. Ges. Zürich, 104, Festschrift Steiner, 330—340).
- 1960. Chloridzugabe bei Plankton-Test-Loten im Baldeggersee (Schweiz. Z. f. Hydrologie, 22, 320—329).
- 1961. Vergleiche über die Planktonproduktion in Flaschen und im Plankton-Test-Lot (Verh. IVL, XIV, 140—146).
- THOMAS, E. A. und MÄRKLI, E., 1949. Der heutige Zustand des Zürichsees (Verh. IVL, 10, 476—488).