

# Limnologische Unterschiede zwischen den österreichischen und ostschweizerischen Alpenseen und ihre Auswirkung auf das Phytoplankton

Herrn Professor Dr. E. REISINGER, Ordinarius für Zoologie an der Universität Graz, zu seinem 65. Geburtstag gewidmet.

Von

INGO FINDENEGG

Lunz am See, N.Ö.

Drei kürzere Aufenthalte in der Schweiz, die der Verfasser zum Studium der planktischen Primärproduktion im Juni und September 1963 sowie Mai 1964 verbracht hat, gaben den Anlass, neben der Messung der Assimilationsquoten und der vorhandenen Biomasse auch den qualitativen Zustand des Phytoplanktons ins Auge zu fassen. Dabei fielen neben vielen Ähnlichkeiten in der Zusammensetzung der planktischen Biozönosen auch manche Unterschiede gegenüber den Verhältnissen in den österreichischen Seen auf, welche letztere vom Verfasser schon seit langer Zeit untersucht werden. Trotz der notwendigerweise nur flüchtigen, auf drei Beobachtungsperioden gegründeten Kenntnis der Verhältnisse in den Schweizerseen ergab der Vergleich mit den österreichischen Gewässern doch so bemerkenswerte Abweichungen, dass der Versuch sich lohnt, den vermutlichen Ursachen dieser Unterschiede nachzugehen.

In der Schweiz wurden der Pfäffiker-, der Untersee des Bodensees, der Zürich-, der Vierwaldstätter- und der Walensee untersucht. Dabei wurde der Verfasser durch die EAWAG an der Technischen Hochschule, Zürich, in zuvorkommender Weise unterstützt. Dafür sei Herrn Professor JAAG und seinem Stabe, besonders Herrn Dr. AMBÜHL herzlichst gedankt. Zum Vergleich sind zwei österreichische Seengebiete, jenes in Kärnten sowie das in den nördlichen Kalkalpen herangezogen. In erster Linie ist auf das Kärntner Seengebiet Bezug genommen, das in seinen physiographischen Eigenheiten in gewisser Hinsicht das Gegenteil der ostschweizerischen Gewässer darstellt, so dass diese Gegenüberstellung besonders aufschlussreiche Aspekte verspricht. In der folgenden Tabelle sind zunächst die morphometrischen Charakteristika beider Seegruppen und einiger Nordalpenseen angeführt:

	Meeres- höhe m	Fläche km <sup>2</sup>	Tiefe m	Mittl. Tiefe m	Volumen Mill. m <sup>3</sup>	Einzugs- gebiet km <sup>2</sup>
Schweiz:						
Walensee	442	24,2	151	103	2500	1061
Vierwaldstättersee	437	113,8	214	104	11800	2240
Untersee	394	64	46			10560
Zürichsee	409	88,7	143	44	3900	1828
Pfäffikersee	538	3,2	36	18	58	30
Österreichische Nordalpen:						
Attersee	469	46,7	170	84	3930	462
Lunzersee	607	0,7	34	20	13	26
Traunsee	422	25,6	197	90	2300	1417
Mondsee	481	14,2	68	36	510	246
Zellersee	749	4,6	68	39	178	54
Kärnten:						
Millstättersee	580	13,3	140	86	1228	280
Klopeinersee	448	1,3	46	26	29	—
Wörthersee	439	19,4	84	43	840	164
Längsee	548	0,8	21	11	9	—
Ossiachersee	501	10,6	46	19	200	170

Wie aus dieser Zusammenstellung zu ersehen ist, ergibt sich insbesondere zwischen den Kärntnerseen und jenen der Ostschweiz zunächst ein beträchtlicher Unterschied der durchschnittlichen Grössenverhältnisse. Der grösste See Kärntens, der Wörthersee, erreicht noch nicht einmal das Areal des Walensees, und alle Kärntnerseen zusammen stehen mit rund 40 km<sup>2</sup> dem des Zürich-Untersees nach. Dieser Umstand ist für die Entwicklung der thermischen Sommerschichtung von Bedeutung. Unter sonst gleichen Verhältnissen bietet ein grosser See dem Wind eine viel wirksamere Angriffsfläche zum Zustandekommen von Zirkulationsströmungen der oberen Seeschichten, woraus sich eine tiefere Lage der Temperatursprungschicht und eine Abschwächung des Temperaturgefälles ergibt. Dies ist ziemlich klar aus der Abb. 1 zu ersehen, in der die Temperaturkurven von 4 Schweizer- jenen von 3 Kärntnerseen und der des Traunsees im Salzkammergut gegenübergestellt sind, die alle aus dem Juni 1963 stammen. Die Kurven der Kärntnerseen werden im Bereich einer zwischen 5 und 10 m Tiefe scharf ausgeprägten Sprungschicht von jenen des Vierwaldstätter-, Walen- und Untersees geschnitten, deren Verlauf keine deutliche Scheidung in Epi- und Metalimnion zulässt. Nur die Kurve des relativ kleinen Pfäffikersees übertrifft an Prägnanz der thermischen Sommerschichtung sogar jene der Kleinen unter den Kärntnerseen. Dies muss überraschen, denn der Pfäffikersee ist etwa dreimal bzw. sechsmal so gross als der Klopeiner- oder der Längsee. Die im Frühjahr 1963 gefundene Temperaturschichtung deutet daher auf sehr geringe Windeinwirkung, vor allem während des zeitlichen Frühjahrs hin; auch Ende Mai 1964 lag die Sprungschicht sehr hoch. Hingegen lehnt sich der Traunsee in den österreichischen Nordalpen wiederum stark an die Verhältnisse in den grossen Schweizerseen, speziell an die des Bodensee-Untersees an.

Unsere Nordalpenseen sind ja, wie aus der eben gegebenen Zusammenstellung zu ersehen ist, nicht nur grösser, sondern durch ihre Lage am Rande des flachen Alpenvorlandes auch wesentlich windexponierter als die Kärntnerseen. Diese nämlich liegen in dem inneralpinen Senkungsgebiet des Kärntner Beckens im Windschatten von rundum aufragenden Gebirgszügen, in einem Gebiet relativ hoher Sonnenscheindauer.

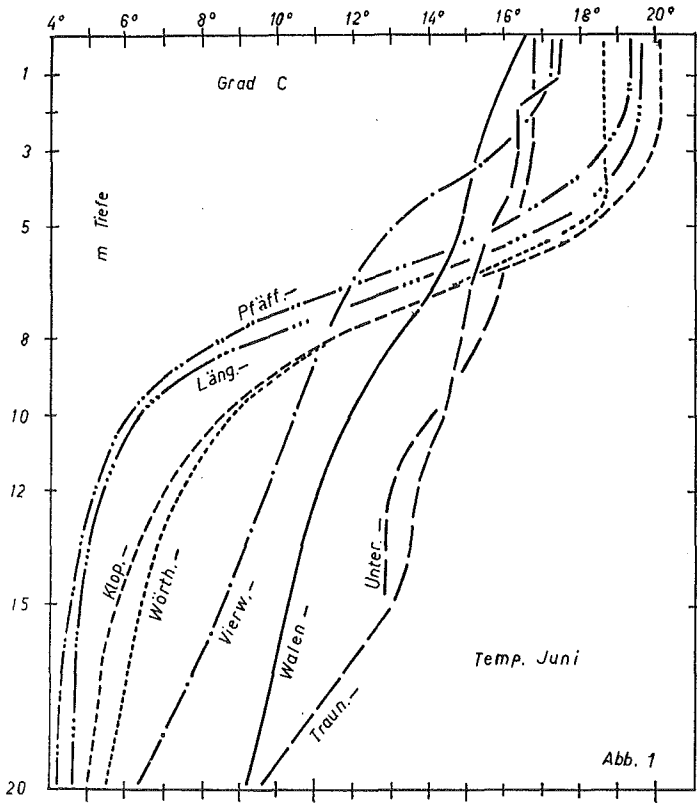


Abb. 1. Temperaturschichtung in ostschweizerischen und österreichischen Seen zur ungefähr gleichen Jahreszeit (Juni).

Der thermische Kontrast zwischen den Kärntner- und den Nordalpenseen findet in der Abb. 1 seinen Ausdruck durch den Vergleich mit der Temperaturkurve des Traunsees. Andererseits ist es aber auch kein Zufall, dass die Traunseekurve der des Bodensee-Untersees sehr ähnlich ist. In der relativ hohen Temperatur der Seetiefe drückt sich das gemeinsame Merkmal einer besonders starken Durchflutung aus, die aus der oben angegebenen morphometrischen Zusammenstellung an dem Verhältnis des Einzugsgebietes zur Seefläche zu ersehen ist. Diese starke Durchflutung durch den Rhein bzw. die Traun wirkt zusätzlich zu Oberfläche und Windexposition im Sinne einer Verminderung des Temperaturgefälles und damit einer Erleich-

terung des Austausches zwischen den Wasserkörpern der Oberflächen- und Tiefenschichten. Während die österreichischen Nordalpenseen aus den angeführten Gründen sich im Sommer viel weniger erwärmen, scheinen die Seen der Ostschweiz sich ähnlich jenen von Kärnten zu verhalten. Die meisten der hier behandelten scheinen im Sommer durch geraume Zeit epilimnische Temperaturen über 20° C aufzuweisen. Gleichwohl dürfte wenigstens bei den grösseren unter ihnen die Temperaturkonstanz in der sommerlichen Warmwasserschicht nicht so ausgeprägt sein wie in Kärnten. THOMAS (1950) beschreibt in eindrucksvoller Weise die durch den Wind zustande kommenden Sprungschichtneigungen im sommerlichen Zürichsee, wie sie in Kärnten undenkbar wären.

Damit dürfte das Fehlen einiger planktischer Warmwasserformen in der Ostschweiz in Zusammenhang stehen, die in Kärnten regelmässige Repräsentanten des Sommerplanktons sind und nur dort auftreten, wo lang andauernde hohe Wassertemperaturen herrschen. Es sind dies z. B. *Lyngbya limnetica* und *Dactylococcopsis smithii*, die vor allem im August in den Kärntnerseen recht häufig sind und dem August-September-Aspekt des Planktons ihren Stempel aufdrücken. *Lyngbya limnetica* wird von THOMAS (1957) zwar für den Zürichsee angegeben, doch scheint es sich dabei eher um ein ephemeres Auftreten gehandelt zu haben, denn in der Arbeit von PAVONI über das Nannoplankton einiger Ostschweizer Seen wird sie, ebenso wie *Dactylococcopsis*, nicht genannt. Auch das häufige Auftreten von polythermen Zooplanktern, wie *Pedalia mira* und das zeitweise Überwiegen von *Diaphanosoma brachyurum* gegenüber den Arten der Gattung *Daphnia* und *Bosmina* deutet in die gleiche Richtung.

Viel auffallender jedoch wirkt sich die schwächere Dynamik der Wasserbewegung in den Kärntnerseen in einer anderen Weise aus. Es ist bemerkenswert, dass das Plankton der Kärntnerseen auffallend wenige Formen pennaler Diatomeen enthält. Für Organismen, die ihren ganzen Lebenszyklus schwebend im Wasser verbringen, ist es wesentlich, ob dieses Schweben realisiert werden kann. Neben der geringen Grösse der Individuen, die allen Planktern eigen ist, sind zwei Faktoren für die Schwebfähigkeit von ausschlaggebender Bedeutung: ihr geringes Übergewicht gegenüber dem Wasser und die turbulenten Strömungen im Wasser, die dafür sorgen, im Absinken begriffene Plankter wieder aufwärts zu verfrachten. Je stärker also die Turbulenz ist, die durch Windeinwirkung auf den See zustande kommt, um so eher werden auch spezifisch schwerere Plankter im Schweben gehalten werden.

Schon RUTTNER meinte, ohne dafür eine Erklärung geben zu können, dass in den «inneralpinen Seen» (gemeint sind nur die Nordalpenseen) und «Alpenrandseen» zwei verschiedene Planktontypen vorliegen, von denen erstere hauptsächlich durch das Fehlen der Gattungen *Asterionella* und *Fragilaria* sowie einiger Cyanophyceen gekennzeichnet sein sollen. Während sich das Fehlen mancher Cyanophyceen teils durch die niedrigen Seetemperaturen oder die Abwesenheit von häuslichen Abwässern erklären lassen, ergibt ein Überblick über alle österreichischen Alpenseen für die Verbreitung der pennalen Diatomeen folgendes Bild: In den kleinen, windgeschützten Seen im Innern der Alpen fehlen planktische pennale Diatomeen mit Ausnahme von *Synedra acus* und einer kleinen Form von *Asterionella formosa* überhaupt. In grösseren und etwas freier gelegenen tritt dazu *Fragilaria crotonensis*. *Asterionella formosa*

kommt in grösseren und schwereren Formen vor. (RUTTNER hat die beiden Formen der *Asterionella* als var. *hypolimnica* bzw. var. *epilimnica* zu unterscheiden versucht, eine Ansicht, der ich mich nicht anschliessen kann.) Auch THOMAS (1949) gibt an, dass *Fragilaria* nur in grösseren Seen häufig, in tieferen Kleinseen selten auftritt und in flachen Kleinseen ohne Bedeutung bleibt.

In dem besonders windgeschützten Kärntner Becken finden wir aber auch im Plankton der grösseren Seen mit 10—19 km<sup>2</sup> Fläche nur *Asterionella*, *Fragilaria* und *Synedra acus*. Es fehlen jedoch *Tabellaria fenestrata*, *Cymatopleura solea*, *C. elliptica* und auch die schweren, kettenbildenden Formen der zu den Centrales gehörigen Gattung *Melosira*. Davon ist nur der Ossiachersee auszunehmen, in dessen Winterplankton *Melosira granulata* eine zwar bescheidene, aber stetige Rolle spielt. Im Sommer findet man diese Alge im Absinken und daher immer spärlicher werdend nur noch im Meta- und Hypolimnion, bis sie durch die Herbstzirkulation wieder in die trophogenen Schichten zurückgebracht wird. Es ist sicher kein Zufall, dass *Melosira granulata* gerade nur im Plankton des Ossiachersees vorkommt, dessen stärkere Wasserdynamik sich unter anderem auch darin zu erkennen gibt, dass er der einzige über 30 m tiefe See Kärntens ist, der im Vorwinter eine Vollzirkulation durchmacht, also holomiktisch ist.

Hinsichtlich der Cymatopleuren verhält sich die Sache so, dass diese Formen in einigen Kärntner Seen, z. B. im Wörthersee vorhanden sind. Sie halten sich hier jedoch im Schlamm-Wasserkontakt auf und gelangen nur selten und in vereinzelt Exemplaren in das Pelagial des Sees, am ehesten während der winterlichen Hauptzirkulation, durch die sie aufgewirbelt und zuweilen auch in die oberflächennahen Wasserschichten getragen werden. Dasselbe gilt von *Tabellaria fenestrata* und *Melosira varians*, die sich seit einigen Jahren im Wörthersee im Zusammenhang mit dessen Eutrophierung an der Schlammoberfläche eingestellt haben, aber nur zu Zeiten erhöhter Wasserturbulenz vereinzelt planktisch anzutreffen sind.

Dieser Umstand hat zur Folge, dass sich die Sukzessionen der Planktonbiozöosen im Laufe der Eutrophierung der Kärntnerseen erheblich von der der Schweizerseen unterscheiden. So erschien *Tabellaria fenestrata* schon 1896 in Massen im Zürichsee, noch ehe die Burgunderblut-Alge 1898 ihre «Invasion» begann. Und auch die Melosiren spielten da schon eine Rolle, bevor sich das Gewässer zu einem Oscillatoriassee entwickelte. Hingegen sind in Kärnten der Wörther- und der Längsee durch Jahrzehnte ausgeprägte Oscillatoriasseen gewesen, ohne jemals ein Melosiren- oder Tabellarienstadium durchgemacht zu haben.

Man könnte nun meinen, das Fehlen der genannten Diatomeen in Kärnten (die ja als Eutrophierungsanzeiger gelten), würde darauf beruhen, dass die Düngung dieser Gewässer geringer wäre als im Falle der Ostschweiz. Dem kann man nun aber entgegenhalten, dass auch in der Schweiz hoch eutrophe Seen vorhanden sind, in denen die genannten Formen ebenfalls eine nur sehr untergeordnete Rolle spielen, so z. B. der Pfäffikersee. Zwar gibt THOMAS (1949) für einen Zeitpunkt starker Wasserdynamik (März 1948) *Tabellaria fenestrata* als «nicht selten» an und *Melosira div. spec.* sogar als häufig, doch fehlen sie in der Aufzählung bei PAVONI, die nur *Melosira granulata* erwähnt, und auch ich habe im Pfäffikersee nur vereinzelt Melosiren gefunden. Andererseits habe ich *Tabellaria fenestrata* auch im Walensee in nicht ganz

unbedeutenden Mengen gefunden (siehe auch PAVONI), also in einem Gewässer, das man keineswegs als eutroph bezeichnen kann. In den österreichischen Nordalpenseen ist *Tabellaria fenestrata* und *Melosira* ebenfalls nur in den Gewässern mit übernormaler Dynamik im Plankton zu finden, wie im Traunsee, Wolfgangsee, Wallersee und Zellersee.

Aus diesem Vergleich geht meines Erachtens hervor, dass man bisher bei der Kausalanalyse eines gegebenen Planktonbestandes neben der Berücksichtigung der Temperatur- und Lichtansprüche sowie der trophischen Gegebenheiten zu wenig auf die Dynamik der Wasserbewegungen geachtet hat, aus der sich zwangsläufig das Fehlen schwerer Algengruppen erklärt, wenn die Turbulenz zu gering ist. Sicherlich ist auch die Lösung der Frage, warum solche Formen in einem und demselben See manchmal zahlreich, manchmal nur spärlich im Plankton zu finden sind, in manchen Fällen in den Witterungs- bzw. Windverhältnissen der dem Beobachtungstag vorangegangenen Wochen oder sogar Monaten zu finden.

Auch das Fehlen der *Oscillatoria rubescens*, bzw. ihr nur spärliches Vorkommen in manchen Gewässern hängt mit der Dynamik der Wasserbewegung zusammen. Da in diesem Fall aber auch noch andere Faktoren mitspielen, soll auf diese Alge erst später eingegangen werden. (Hinsichtlich der Seetypen, die aus Gründen zu hoher Wasserdynamik keine *Oscillatoria*-Bestände enthalten können, siehe FIN-DENEGG 1964.)

Ein anderer Faktor, der die Zusammensetzung des Phytoplanktons kontrolliert, ist die in den Seen herrschende Lichtintensität. Das Eindringen des Lichtes in die tieferen Seeschichten hängt wohl bis zu einem gewissen Grad davon ab, ob das Wasser klar oder getrübt ist, viel wesentlicher aber ist der Gehalt des Wassers an kolloidal gelösten Humusstoffen («Gelbstoffe»). Diese verschlucken den kurzwelli-

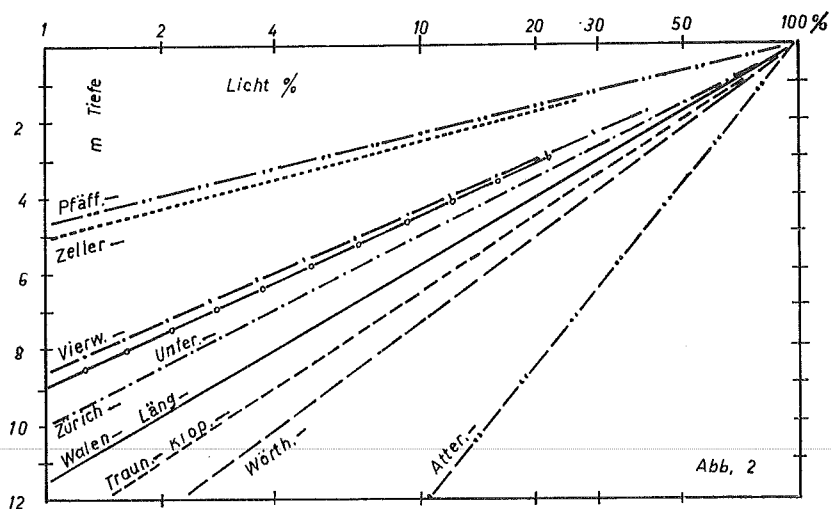


Abb. 2. Abfall der Lichtintensität von der Oberfläche gegen die Tiefe in % des Oberflächenwertes in 5 ostschweizerischen und 6 österreichischen Seen. Mittelwerte aus Messungen im Frühjahr 1963 und 1964 sowie Herbst 1963. Halblogarithmisch.

gen Anteil des Tageslichtes so stark, dass hauptsächlich nur mehr gelbgrünes bis rotes Licht in die tieferen Schichten gelangt. Während im reinen Wasser nur der gelbe und noch stärker der rote Spektralanteil des Tageslichtes grossenteils verschluckt und der blau-grüne Anteil relativ gut durchgelassen wird, sinkt in einem humuskolloidhaltigen See gerade die Strahlungsdurchlässigkeit für den kurzwelligen Lichtbereich stark ab. Dadurch wird der Lichtgenuss für die Phytoplankter in tieferen Schichten bei stärker gelbstoffhaltigen Gewässern gegenüber den «Blauwasserseen» stark herabgesetzt. Da im allgemeinen ein höherer Kalkgehalt im Laufe der Zeit zur Ausfällung der Humuskolloide führt, findet man in Gebieten mit geringerer Wasserhärte oft höheren Gelbstoffgehalt und damit geringere Lichtdurchlässigkeit als in kalkreicher Umgebung. In Abb. 2 ist die «Lichttransmission», also die von einer ein Meter dicken Wasserschicht durchgelassenen Lichtmenge in Prozenten der Lichtintensität an der Oberfläche für einige schweizerische und österreichische Seen angegeben, wobei unter «Blau» der Bereich der Strahlung um 435 nm, für «Grün» um 525 nm und für «Rot» um 660 nm zu verstehen ist. Die gesamte, der Assimilation des Phytoplanktons zugute kommende Lichttransmission ergibt sich ungefähr als Mittelwert der drei genannten Wellenlängen.

Wie aus der Abb. 2 unschwer zu erkennen ist, haben die in Rede stehenden Schweizerseen eine geringere Lichtdurchlässigkeit als die zum Vergleich herangezogenen Ostalpenseen, mit Ausnahme des Zellersees, der etwa dem Pfäffikersee vergleichbar ist. Es liegt nahe, dies mit der höheren Eutrophierung bzw. dem höheren Gehalt an Plankton in Zusammenhang zu bringen. Es ist kein Zufall, dass der Zellersee der eutrophste unter den genannten österreichischen Seen ist. Andererseits gibt es zu denken, dass der grosse und doch sicherlich noch einigermaßen oligotrophe Walensee eine geringere Lichttransmission hat als der kleine, seichte und eutrophierte Längsee. In diesem Fall scheint vielmehr die geologisch-pedologische Beschaffenheit des Einzugsgebietes, beziehungsweise der Humusgehalt der Zuflüsse von erheblicher Bedeutung zu sein. Die am besten lichtdurchlässigen unter den österreichischen Seen beziehen ihr Wasser aus kargen, felsigen oder Schotterböden der Kalkalpen, sind also arm an kolloidal gelösten Humusstoffen. Da solche Böden auch wenig Stickstoff- und Phosphorverbindungen enthalten, paart sich mit dem Fehlen von Humuskolloiden in der Regel auch die Nährstoffarmut und schwache Planktonentwicklung.

Für das Phytoplankton bedeutet geringere Lichttransmission eine Beschränkung des Lebensraumes auf die obersten Wasserschichten. In der Abb. 3 ist versucht worden, die Vertikalverteilung des Algenplanktons in den von mir untersuchten Schweizerseen für das Frühjahr 1963 zusammenzustellen. Neben den Kurven im linken Teil, welche die in den verschiedenen Tiefen vorgefundenen Planktonvolumina (angegeben als Frischgewicht in Milligramm pro Liter) darstellen, sind rechts in der gleichen Linienart die am gleichen Tag gemessenen Lichttransmissionen eingetragen. Es sind die Tiefen angegeben, in denen die Lichtintensität (Mittelwert aus Blau + Grün + Rot) auf 1% des Oberflächenwertes gesunken ist. Für die Septemberserie von 1963 betrug diese 1%-Lichttiefe: Pfäffikersee 2,5 m, Untersee 6,5 m, Zürichsee 7 m, Vierwaldstättersee 8 m und Walensee 15 m. Obschon die Vertikalverteilung des Phytoplanktons keineswegs vom Licht allein abhängt, sondern von

zahlreichen Faktoren beeinflusst wird, so ergibt sich doch eine deutliche Zuordnung der Tiefen maximaler Phytoplanktonentfaltung zur Lichttransmission. In der Reihenfolge zunehmender Durchlässigkeit hat der Pfäffikersee ein Oberflächenmaximum mit raschem Abfall der Algenmasse nach unten; Unter- und Zürichsee haben in 3 m die grösste Algenmasse, zu der allerdings beim Zürichsee noch ein schwächeres oberflächennahes Maximum kommt. Der Vierwaldstättersee wies an dem Untersuchungstage die stärkste phytoplanktonische Besiedlung in 5 und etwa 13 m auf und der am meisten lichtdurchlässige Walensee in etwa 15 m. Vergleicht man damit zu gleicher Jahreszeit die Zonen maximaler Algendichte in den österreichischen Seen, so zeigt sich, entsprechend der durchschnittlich höheren Lichttransmission, auch eine tiefere Lage der Planktonmaxima. Dies sei nur an einem Beispiel durch eine Gegenüberstellung der vertikalen Verteilung des Phytoplanktons im Vierwaldstätter- und Wörthersee im Frühjahr und Herbst des Jahres 1963 in Abb. 4 gezeigt. Beide Gewässer sind Oscillatoriaseen, der Wörthersee ausgeprägter als der Vierwaldstättersee, in dessen Plankton im Frühjahr 1963 volumsmässig neben *Tabellaria fenestrata*

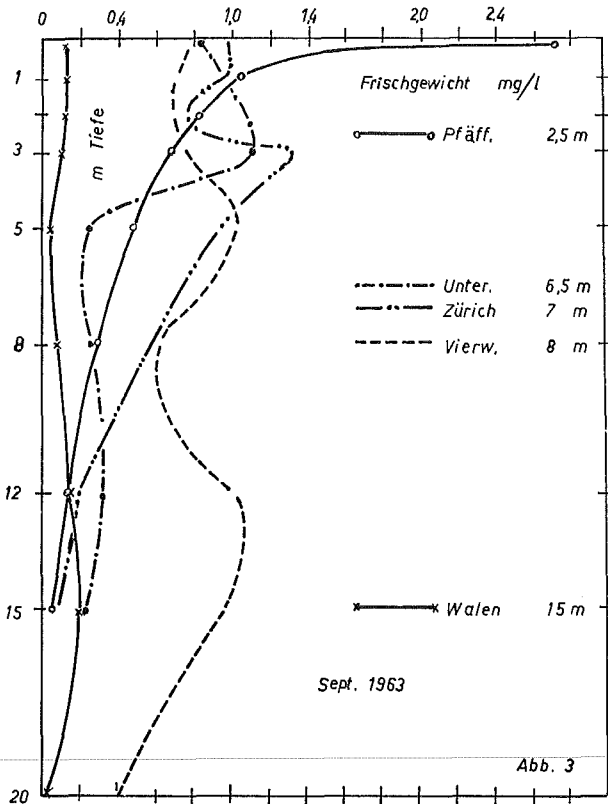


Abb. 3. Vertikalverteilung des Phytoplanktonvolumens, angegeben als Frischgewicht in mg/l in 5 ostschweizerischen Seen im Sept. 1963 mit Angabe der Tiefen (rechts), in denen die Lichtintensität am Beobachtungstage auf 1% jener der Oberfläche gesunken war.



*Dinobryon sociale* stark vertreten war, im Herbst waren es *Ceratium*, *Dinobryon sociale* und *Uroglena*, die eine grosse Rolle spielten. Im Wörthersee waren im Frühjahr *Uroglena* und *Synedra acus* dominierende Formen, im Herbst *Ceratium* und *Cyclotellen*. In beiden Serien liegt das Maximum des Algenvolumens im Wörthersee tiefer, zwischen 13 und 15 m, beim Vierwaldstättersee im Frühjahr zwischen 8 und 12 m, im Herbst gibt es zwei fast gleich grosse Spitzen bei 5 m und 8 m. Die Volumskurven der beiden Seen unterscheiden sich aber auch noch in einer zweiten Hinsicht prinzipiell voneinander, die mit der Lichtdurchlässigkeit nichts zu tun hat. Im Vierwaldstättersee verteilt sich die Algenmasse gleichmässiger auf die Tiefen zwischen 0 und 20 m, das Verhältnis der Maxima zu den Minima ist etwa 2 : 1, beim Wörthersee steht ein relativ planktonarmes Epilimnion einem etwa 5 mal so stark besiedelten Metalimnion gegenüber. In diesem Kontrast drückt sich die relative Nährstoffarmut der Oberschicht des Wörthersees gegenüber der des Vierwaldstättersees aus, eine Nährstoffarmut, die nicht nur aus einer geringeren Düngung durch häusliche Abwässer resultiert, sondern auch aus dem Umstand schwächerer Nährstoffzufuhr aus den tieferen Seeschichten. Wegen des meromiktischen Verhaltens des Wörthersees und seiner äusserst stabilen Schichtung während der sommerlichen Stagnationsperiode

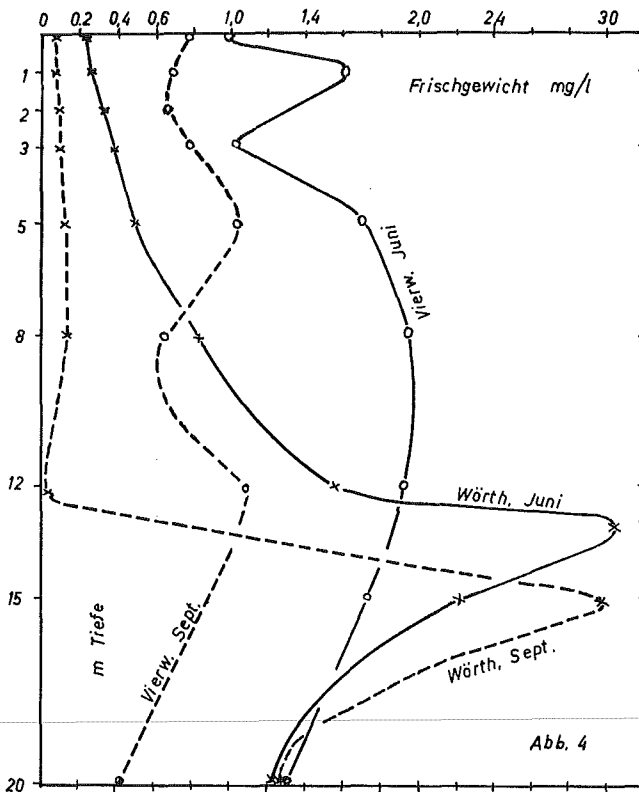


Abb. 4. Vertikale Verteilung des Phytoplanktonvolumens im Vierwaldstättersee und Wörthersee, angegeben als Frischgewicht in mg/l, im Juni und September 1963.

wird ein Aufquellen des nährstoffreicheren Tiefenwassers in viel stärkerem Masse verhindert als es bei dem gleichmässigeren Temperaturgefälle des Vierwaldstättersees der Fall ist. Es sei in diesem Zusammenhang noch einmal auf die Temperaturkurven in Abb. 1 verwiesen.

Aus Abb. 4 ist deutlich zu erkennen, dass zu beiden Jahreszeiten das epilimnische Algenfrischgewicht des Wörthersees wesentlich geringer ist als das des Vierwaldstättersees. Man kann in sehr groben Umrissen daraus das Verhältnis der im Epilimnion beider Gewässer zur Verfügung stehenden Minimumstoffe abschätzen und vermuten, dass diese im Vierwaldstättersee etwa 3—4 mal so hoch sind.

Ausserordentlich starke jahreszeitliche Schwankungen des epilimnischen Algenvolumens habe ich im Walensee beobachtet. Während dieses Gewässer im September 1963 und Mai 1964 mit durchschnittlich etwa 0,1 mg/l Algenfrischgewicht sich als sehr planktonarm erwies (vergleiche die Septemberkurve in Abb. 5), fand ich im Juni 1963 in 3 m Tiefe ein Maximum von über 2,4 mg/l und auch bei 5 und 8 m Tiefe Werte von über 1 mg/l. Solche «Frühjahrsexplosionen» der Planktonentfaltung

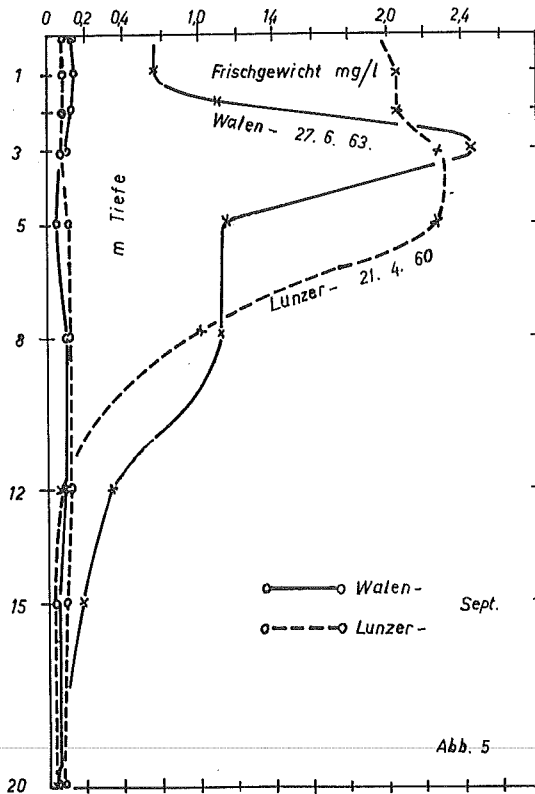


Abb. 5. Vertikalverteilung des Phytoplanktonvolumens, angegeben als Frischgewicht in mg/l im Walensee und Lunzersee. Links im Normalfall (Herbstserien), rechts während einer exzessiven Frühjahrsexplosion.

ereignen sich bei oligotrophen Seen auch in Österreich. Sie sind keineswegs für bestimmte Seen charakteristisch, sondern kommen nur ab und zu, bald hier bald da vor. In Abb. 5 sind den Kurven des Walensees vom Jahre 1963 jene des Lunzer Untersees vom April und September des Jahres 1960 gegenübergestellt. Qualitativ bestanden zwischen beiden Massentwicklungen Unterschiede. Im Walensee setzte sie sich vorwiegend aus *Uroglena americana*, *Rhodomonas lacustris* und *Pandorina morum* zusammen, im Lunzersee 1960 aus *Stephanodiscus hantzschii* und *Dinobryon divergens*. Man nimmt an, dass solche «Frühjahrsexplosionen» durch das Zusammentreffen von günstigen Witterungsabläufen mit besonders wirksamen Umschichtungsverhältnissen im Winter und Frühjahr zustande kommen, die eine kurzfristige Erhöhung des trophischen Niveaus hervorrufen.

Solche Überlegungen über den Trophiezustand der Seen führen uns zu einem weiteren Unterschied zwischen den ostschweizerischen und den österreichischen Seen, der hier als letzter Punkt behandelt werden soll: Es ist die durchschnittlich höhere Eutrophie der ersteren. Eine ganze Reihe von Phytoplanktern, die im Schweizer Seengebiet weit verbreitet sind und die man zweifellos als Indikatoren für höheren Nährstoffgehalt auffassen muss, kommen in Österreich nicht oder nur selten zur Entwicklung und verursachen höchstens in Kleinstseen oder Weihern eine richtige Wasserblüte. Es ist dies *Aphanizomenon flos aquae*, die ich besonders im Pfäffikersee im Herbst 1963 in Massen fand und die nach MESSIKOMMER dort zentimeterdicke Schwimmschichten bildet. Übereinstimmend mit Angaben bei THOMAS (1964) und PAVONI fand ich sie auch im Zürichsee. Eine andere derartige Form ist *Anabaena planctonica*, vom Zürichsee genannt, von mir auch im Bodensee in Massen beobachtet. In Österreich habe ich sie nur in stärker eutrophierten Seen, z. B. im Zellersee, gefunden. Dieses Fehlen oder spärliche Auftreten der genannten Formen ist um so auffälliger, als es sich um Warmwasserformen handelt, die in thermischer Hinsicht in den Kärntnerseen gut fortkommen müssten. Als ein Zeichen fortgeschrittener Eutrophierung muss auch gelten, dass sterile Formen von *Mougeotia* oder von *Ulothrix*, die in Österreich nur als Litoralbewohner auftreten, in das Plankton übergehen, was bereits von THOMAS (1961) und anderen Schweizer Limnologen festgestellt wurde und wie ich es im Herbst 1963 vor allem im Bodensee, Zürich- und Vierwaldstättersee angetroffen habe. Im Gegensatz dazu ist wiederum *Oscillatoria rubescens* speziell in den Kärntnerseen eher häufiger als im ostschweizerischen Gebiet. Dies hängt wohl damit zusammen, dass diese Alge im Endstadium der Eutrophierung wieder verschwindet. Wie aus Untersuchungen des Verfassers (1964) hervorzugehen scheint, kann sich *Oscillatoria rubescens* in den Seen, in denen sie einmal Fuss gefasst hat, nur so lange halten, als die oberen Wasserschichten im Sommer noch verhältnismässig viel Licht bis in die thermische Sprungschicht gelangen lassen, in der die Blutalge während des Sommers vegetiert. Steigt die epilimnische Algenmasse an, so vermindert sich die Lichttransmission und die metalimnischen Algen sind zum Absterben verurteilt. In Österreich war dieser Vorgang am Zellersee in Salzburg in den Jahren um 1957 festzustellen. Auch in einigen Kleinseen ist eine ähnliche Tendenz zu beobachten. Inwieweit sich der Rotsee bei Luzern, der früher als ausgesprochener Oscillatoriassee galt, auch hier einreihen lässt, kann ich nicht beurteilen. Im Juni 1964 habe ich die Alge in 8 m Tiefe in bescheidenen Mengen noch feststellen können.

### Literatur

- AMBÜHL, H. (1963): Der Zustand unserer Gewässer. Schweiz. Techn. Zeitschr. 60, 414—428.
- FINDENEKG, I. (1943): Untersuchungen über die Ökologie und die Produktionsverhältnisse des Planktons im Kärntner Seengebiet. Int. Revue 43, 368—429.
- (1964): Produktionsbiologische Planktonuntersuchungen an Ostalpenseen. Int. Revue ges. Hydrobiol. 49, 381—416.
- JAAG, O. (1958): Probleme und Aufgaben des Gewässerschutzes im Einzugsgebiet der Reuss. Wasser- u. Energiewirtsch. 1958, Nr. 8—9, 1—12.
- KUHN, H. (1953): Das Netzplankton des unteren Zürichsees im Wandel eines Jahrzehntes von 1943—1953. Ber. Geobotan. Forsch.-Inst. Rübel in Zürich für d. Jahr 1952, 72—79.
- MESSIKOMMER, E. (1961): Eine neue Planktoninvasion im Pfäffikersee. Vjschr. Natf. Ges. i. Zürich 106, 448—449.
- PAVONI, M. (1963): Die Bedeutung des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton. Qualitative und quantitative Untersuchungen im Zürichsee, Pfäffikersee und anderen Seen. Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie, 25, 219—341.
- RUTTNER, F. (1937): Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. Arch. Hydrob. 32, 167—319.
- THOMAS, E. A. (1949): Regionallimnolog. Studien an 25 Seen der Nordschweiz. Verh. Int. Ver. Limnol. 10, 489—495.
- (1950): Auffallende biologische Folgen von Sprungschichtneigungen im Zürichsee. Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie 12, 1—24.
- (1951): Sturmeinfluss auf das Tiefenwasser des Zürichsees im Winter. Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie 13, 5—23.
- (1956—1957): Der Zürichsee, sein Wasser und sein Boden. Jahrbuch vom Zürichsee, Bd. 17, 173—208, Th. Gut & Co., Stäfa u. Zürich.
- (1961 a): Hydrodictyon reticulatum und seine Beziehung zur Saprobität im Zürichsee und in der Glatt. Vjschr. Natf. Ges. i. Zürich 106, 450—456.
- (1961 b): Wucherungen von Cyanophyceen an den Ufern des Zürichsees und deren Ursachen. Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie 23, 225—235.
- (1964): Katalog der Planktonorganismen des Zürich-Obersees und des Zürichsees. Vjschr. Natf. Ges. i. Zürich 109, 103—142.
- THOMAS, E. A. und MÄRKI, E. (1949): Der heutige Zustand des Zürichsees. Verh. Int. Ver. Limnol. 10, 476—488.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. INGO FINDENEKG, Biologische Station, Lunz am See, Niederösterreich.