

Zeitschrift: Mitteilungen der aargauischen Naturforschenden Gesellschaft
Herausgeber: Aargauische Naturforschende Gesellschaft
Band: 22 (1945)

Artikel: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee
Autor: Keller, Rudolf
Kapitel: 5: Kombinierte Temperatur-Sauerstoff-Plankton-Untersuchungen während 24 Stunden im Hallwiler-See am 18./19.6.43
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-172261>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wird nun der pH-Wert eines Wassers nach der Methode von *Soracreppa*²⁹ experimentell gleich ermittelt, so kann entschieden werden, ob ein Wasser aggressiv ist oder nicht. Ist die Differenz aus dem errechneten pH und dem bestimmten pH gleich Null, so befindet sich das Wasser im Gleichgewicht. Eine negative Differenz weist auf ein Wasser mit unterschüssiger CO₂ hin. Ist die Differenz groß, so ist die Möglichkeit für Kalkausscheidung vorhanden. Eine deutlich positive Differenz hingegen läßt aggressives Wasser erkennen.

Die Möglichkeit der Berechnung des pH-Wertes für jedes beliebig harte Gleichgewichtswasser führt zur Aufzeichnung einer pH-Gleichgewichtskurve. Die Ordinate trägt die gebundene CO₂ in mg/l und die Abszisse die pH-Werte. Die Tillmans und Heubleinsche Gleichgewichtskurve hat hier eine Analogie gefunden.

*Strohecker*³⁰ hat die rein qualitative Erkenntnis der Aggressivität der Wässer anhand dieser pH-Gleichgewichtskurve quantitativ nutzbringend umgestaltet. Mit seinem Verfahren ist es möglich, aus der gemessenen gebundenen Kohlensäure und dem gemessenen pH-Wert des Wassers auch die Menge aggressiver Kohlensäure zu errechnen.

5. Kombinierte Temperatur-Sauerstoff-Plankton-Untersuchung während 24 Stunden im Hallwiler-See am 18./19. 6. 43

Einleitung

Von verschiedenen Autoren (*L. Minder, H. Müller, H. J. Elster* und *W. Einsele*) wurden bei Untersuchungen in Seen innert 24 Stunden Schwankungen in der Temperatur und im Sauerstoffgehalt an ein und derselben Stelle beobachtet.

Es wurde nun versucht, diese bis anhin noch nicht erklär-

ten Tatsachen näher zu ergründen. Zu diesem Zwecke wurden am 18./19. 6. 43 während 24 Stunden an Stelle 2 in je 2½stündigen Intervallen sowohl Temperatur- und Sauerstoffbestimmungen als auch Planktonzählungen durchgeführt.

Während die Temperatur- und Sauerstoffmessungen innerhalb des gesteckten Zieles in den Rahmen dieser Arbeit gehören, wurden die Planktonmessungen durch Herrn Rudolf Braun, stud. rer. nat., durchgeführt. Durch eine zwischen der Direktion des Hygiene-Institutes und Herrn Prof. Dr. Jaag vom Institut für spezielle Botanik getroffene Vereinbarung war die Zusammenarbeit zwischen Herrn Braun und mir geregelt und wirkte sich sehr günstig aus. Es wäre mir nicht möglich gewesen, die vorgenommenen Planktonuntersuchungen mit der gleichen Gründlichkeit und Sachkenntnis durchzuführen, wie dies nun tatsächlich geschehen ist. Es sei auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. Jaag, sowie Herrn Braun für ihre wertvolle Unterstützung gedankt.

Nachstehend die erhobenen Befunde:

I. Die Temperaturverhältnisse

Die Temperaturverhältnisse sind aus der Tabelle 19 und der graphischen Darstellung Fig. 9 der 24stündigen Messungen für die Tiefen 0, 1, 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5, 15 und 20 m ersichtlich.

Die thermisch bedingte Schichtung der Wassermassen in das *Epilimnion*, welches die Tiefen bis und mit 5 m erfaßt, das *Metalimnion* mit den Schichten 7,5 und 10 m und das *Hypolimnion* mit den Tiefen unterhalb 10 m, war sehr augenfällig. Die Tag- und Nachttemperaturdifferenzen an der Oberfläche betrugen 3,2 °C. Die homotherme Schicht, die durch den Tag- und Nachttemperaturausgleich gebildet wurde, erreichte eine Dicke von 5 m. Besondere Beachtung verdiente das Metalimnion. Die Messungen in der Tiefe von 7,5 m zeigten ausgesprochenen Sprungschichtcharakter, indem die Höhe der Temperatur (11 bis 14 °C) sich zwischen diejenige des Epilimnions (17 °C) und des Hypolimnions (5 bis 7 °C) stellte und starken Schwankungen unterworfen war. Parallel zur 7,5 m Temperaturkurve ver-

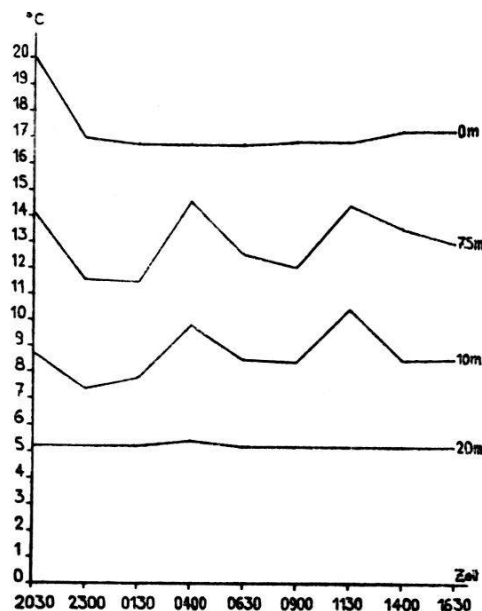
lief die Kurve der Tiefe von 10 m und zeigte Schwankungen zwischen 7,5 und 10,5 ° C.

Der Temperaturverlauf in der Tiefe 12,5 m zeigte die Schwingungen, wie sie in der 10-m-Tiefe auftraten, nur noch andeutungsweise. Die Temperaturen betrugen 5,6 bis 6,8 ° C. Die Tiefen von 15 m und 20 m waren ziemlich ausgeglichen und wiesen Temperaturen von 5,2 bis 5,9 ° C auf.

**Temperaturmessungen an Stelle 2 innerhalb 24 Stunden in den Tiefen
0 bis 20 m am 18. und 19. 6. 43**

Tabelle 19

Zeit Tiefe	2030	2300	0130	0400	0630	0900	1130	1400	1630
0 m	20,0	17,0	16,8	16,8	16,8	16,9	16,9	17,3	17,3
1 m	17,4	17,0	16,8	16,8	16,8	16,9	16,9	17,3	17,3
2,5 m	17,2	17,0	16,8	16,8	16,8	16,9	16,9	17,3	17,3
5,0 m	17,0	17,0	16,8	16,8	16,8	16,9	16,9	16,9	16,9
7,5 m	14,1	11,6	11,5	14,6	12,6	12,1	14,5	13,6	13,0
10,0 m	8,7	7,4	7,8	9,8	8,5	8,4	10,4	8,5	8,5
12,5 m	6,5	5,6	6,2	6,8	6,5	6,7	7,0	6,6	6,4
15,0 m	5,4	5,4	5,7	5,9	5,9	5,8	5,8	6,0	5,7
20,0 m	5,2	5,2	5,2	5,4	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2



**Fig. 9. Temperaturmessungen an Stelle 2 innerhalb 24 Stunden
am 18. und 19. 6. 43 nach Tabelle 28 in den Tiefen 0, 7,5, 10 und 20 m
graphisch dargestellt**

II. Die Sauerstoffsichtung

(Tabellen 20 und 21, Fig. 10)

Das *Epilimnion* wies Sauerstoffgehalte von 10,5 bis 11,5 mg/l auf, welche 110—120%iger Sättigung entsprachen. Die Tiefen 0, 1 und 2,5 hatten sehr eng beieinander liegende Werte, während in der Tiefe von 5 m einige Schwankungen auftraten, trotz-

Sauerstoffmessungen an Stelle 2 innerhalb 24 Stunden am 18. und 19. 6. 43

Sauerstoffgehalt in mg/l in den Tiesen 0 bis 20 m

Tabelle 20

Zeit Tiefe	2030	2300	0130	0400	0630	0900	1130	1400	1630
0 m	10,9	10,9	10,7	11,0	11,1	11,1	10,8	10,9	10,8
1 m	11,2	10,8	11,2	11,0	11,3	12,2	10,8	11,2	11,2
2,5 m	11,2	10,6	10,8	10,9	11,1	11,2	10,8	11,0	11,3
5,0 m	11,6	10,7	11,7	12,6	11,2	11,1	11,2	12,1	11,9
7,5 m	17,3	18,2	18,4	17,8	18,5	18,6	16,9	18,2	18,4
10,0 m	14,2	4,9	8,0	15,8	10,8	7,6	18,4	12,1	7,4
12,5 m	6,9	7,1	7,2	6,5	6,5	7,9	5,8	7,2	6,6
15,0 m	7,6	7,0	7,0	6,6	7,3	7,2	7,6	8,7	7,1
20,0 m	6,7	6,3	6,3	6,3	6,4	6,7	6,4	6,7	6,2

Sauerstoffmessungen an Stelle 2 innerhalb 24 Stunden am 18. und 19. 6. 43

Sauerstoffgehalt in % der theoretischen Sättigung in den Tiefen 0 bis 20 m

Tabelle 21

Zeit Tiefe	2030	2300	0130	0400	0630	0900	1130	1400	1630
0 m	120,0	113,0	111,0	114,0	115,0	115,0	112,0	114,0	112,5
1 m	116,8	112,0	114,5	114,0	116,5	116,0	112,0	116,2	116,1
2,5 m	116,5	109,5	111,8	112,5	114,5	116,3	111,0	114,8	118,0
5,0 m	120,0	111,2	120,8	129,5	116,0	115,0	115,3	125,0	123,3
7,5 m	169,0	164,3	169,5	175,5	174,5	173,5	166,2	176,0	175,3
10,0 m	122,0	40,6	73,7	140,0	92,7	65,1	165,0	104,0	63,3
12,5 m	56,7	56,5	58,1	53,6	53,2	65,0	48,3	59,3	53,7
15,0 m	60,7	55,5	56,3	53,3	59,0	57,8	61,0	70,0	56,7
20,0 m	52,6	52,5	49,8	49,8	50,6	52,0	50,6	52,7	49,3

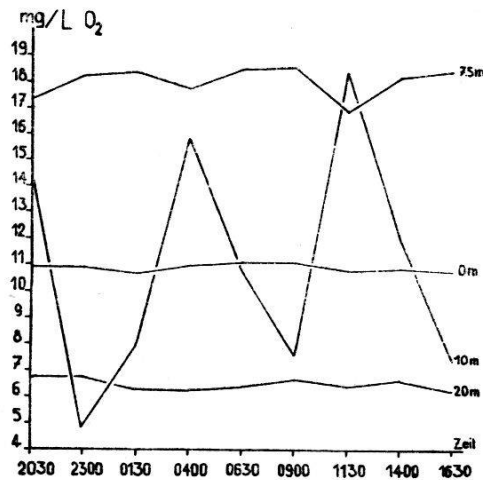


Fig. 10. Sauerstoffmessungen an Stelle 2 innerhalb 24 Stunden am 18. und 19. 6. 43 nach Tabelle 29 in den Tiefen 0, 7,5, 10 und 20 m graphisch dargestellt

dem die Temperatur gleich wie in den andern Tiefen des Epilimnions war. Mit wesentlich höherem Sauerstoffgehalt trat die Tiefe von 7,5 m als ausgesprochene Sprungschicht in Erscheinung. Der Sauerstoffgehalt schwankte innerhalb von 24 Stunden nur zwischen 17 und 18 mg/l, was einer theoretischen Sättigung von 165 resp. 175 % gleichkam. Der Sauerstoffgehalt des Hypolimnions erreichte im Mittel 50 bis 60 % der theoretischen Sättigung, absolut also nur noch Werte von 6,5 und 7,5 mg/l. Den bemerkenswertesten Verlauf nahm die Kurve der Tiefe von 10 m. Der Sauerstoffgehalt bewegte sich von den Werten des Metalimnions zu denen des Hypolimnions. Die Schwingungen wiederholten sich dreimal im Verlaufe von 24 Stunden. Um 20.30 war die Temperatur in 10 m Tiefe im Absinken und erreichte um 23.00 einen ersten Tiefpunkt, gleichzeitig hatte der Sauerstoffgehalt den niedrigsten Wert von 4,8 mg/l erreicht. Nach diesem Zeitpunkt war die Temperatur wieder im Ansteigen begriffen und erreichte um 04.00 den ersten Kulminationspunkt. Auch für die Sauerstoffkurve war dies der erste Kulminationspunkt von 15,8 mg/l. Nach 04.00 strebten Temperatur und Sauerstoffgehalt wieder einem Minimalwert zu und erreichten diesen um 09.00 mit einem Sauerstoffgehalt von 7,6 mg/l, entsprechend dem Gehalt im Hypolimnion. Nach 2½ Stunden, um 11.30, erreichte die 10-m-Tiefe ihren höchsten Sauerstoffwert von 18,4 mg/l und war damit um 1,5 mg/l höher als der Sauerstoff-

wert in 7,5 m Tiefe. In den folgenden fünf Stunden sanken sowohl die Temperatur als auch der Sauerstoffgehalt auf einen dritten Minimalpunkt von 7,4 mg/l Sauerstoff. Diese starken Schwankungen des Sauerstoffgehaltes hatten ihren Ursprung in den Vertikalbewegungen der temperierten Wassermassen. Das Metalimnion war nicht starr zwischen Epi- und Hypolimnion gelagert, sondern bewegte sich, wie unsere Messungen deutlich zeigen, gegen Abend in die Höhe, sodaß die 10-m-Tiefe die Grenze zwischen Meta- und Hypolimnion mit starkem Sauerstoffminimum darstellt. In der Zeit von 23.00 bis 04.00 sank das Metalimnion tiefer, sodaß die 10-m-Tiefe gut ins Metalimnion mit hohem Sauerstoffwert zu liegen kam. Von 04.00 bis 09.00 stieg die Sprungschicht wieder an, sodaß die 10-m-Tiefe, nach dem Sauerstoffgehalt zu schließen, ausgesprochenen Hypolimnioncharakter aufwies. Bemerkenswert war besonders das schnelle und tiefe Absinken des Metalimnions von 09.00 bis 11.30. Bis 16.30 stieg das Metalimnion wieder an, um dann um 20.30 einen dritten Höhepunkt zu erreichen. Diese Schwingungen im Sauerstoffgehalt im Metalimnion waren umso merkwürdiger, als die Wassertemperatur der Oberfläche bis 5 m Tiefe, abgesehen von der Zeit zwischen 20.30 bis 23.00, streng ausgeglichen war. Mit den biologischen quantitativen Planktonuntersuchungen, die gleichzeitig und in denselben Tiefen ausgeführt worden sind, werden die Vorgänge im Metalimnion abzuklären versucht.

III. Schichtung des Planktons

Die Profilfänge wurden von Rudolf Braun ausgeführt und die Proben mit seiner eigens dazu erstellten Apparatur genommen. Über den Gang der Analyse berichtet er folgendes:

«Mit einer Schöpfflasche wird aus einer bestimmten Tiefe Wasser heraufgeholt und in den Filterapparat gegossen. Letzterer besteht zur Hauptsache aus einem trichterförmigen, aus rostfreiem Stahl angefertigtem Gefäß, welches zwei Liter Wasser faßt. Am untern Ende desselben, läßt sich mittels einer mechanischen Einrichtung ein zirka fünflibergroßes Planktonnetzchen mit feinsten Maschenweite (Nr. 25) anbringen. Das Netz-

chen läßt sich sehr leicht auswechseln. In großen Tiefen gewonnenes Wasser wird in wenigen Sekunden filtriert sein, Oberflächenwasser braucht sehr viel länger infolge größerer Individuenzahl der Planktonorganismen. Sobald das Wasser durchgeflossen ist, wird der Befestigungsring vorsichtig entfernt und das Netzchen in ein kleines, zur Hälfte mit Wasser gefülltes Pillengläschen verbracht und sofort mit Formol fixiert. Auf diese Art lassen sich in kurzer Zeit viele Proben fassen. Im Labor wird der ganze Inhalt des Gläschens, also auch das Netz, in ein Urgläschen geleert. Das Pillengläschen soll gut ausgespült werden, damit keine Organismen verloren gehen. Mit einer Spritzflasche, die einen scharfen Wasserstrahl erzeugen soll, wird nun das Netzchen von beiden Seiten her ganz gründlich abgespült. Es ist jetzt für weitere Analysen verwendbar. Den Inhalt des Urglases bringen wir nun in einen Meßkolben von 50 cm³ Inhalt. Auch hier soll das Urglas wieder ausgespült werden, um Verluste zu vermeiden. Den Meßkolben füllen wir mit Wasser auf bis 50 cm³ und haben darin also die Organismen, die in zwei Liter Seewasser (wenn die Schöpfflasche zwei Liter faßte) enthalten sind. Dieses Wasser im Kolben wird nun gut durchgemischt, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Planktonten zu erhalten. Mit einer Pipette fassen wir nun Wasser und füllen damit eine Planktonzählkammer (nach *Kolkwitz*) von 1 cm³ Inhalt. Dies muß geschehen, solange das Wasser im Meßkolben noch in Bewegung ist, um eine Sedimentation und eine damit verbundene Ungenauigkeit zu vermeiden. Bevor wir das Deckglas auf die Kammer legen, ist es zweckmäßig, noch einen Tropfen Färbeflüssigkeit in das Wasser zu bringen (z. B. Viktoriablau oder Methylenblau), um die Organismen zu färben und ihr spezifisches Gewicht zu erhöhen, was bei der Auszählung sehr gute Dienste leistet, da es die Augen bei weitem nicht so ermüdet, als wenn die Organismen ungefärbt wären. Sobald die Planktonkammer geschlossen ist, lassen wir sie mindestens zehn Minuten stehen, damit sich die Organismen auf dem Boden der Kammer absetzen, was wiederum eine Erleichterung bei der Auszählung bedeutet, indem man dann nicht immer den Tubus heben und senken muß, weil die Organismen sonst nicht in einer Ebene liegen. Nun wird nach den bekannten Methoden

ausgezählt, indem man, wenn eine Objektträgerführung vorhanden ist, die Kammer systematisch verschiebt und zählt. Ist keine solche Führung vorhanden, so ist diese Auszählung sehr mühsam. Man hilft sich dadurch, daß man auf einem Cellophanblättchen feine Rillen mit kleinem Abstand einritz und dieses dann auf die Unterseite der Planktonkammer aufklebt. Auf diese Weise hat man im Gesichtsfeld ein Netzsystem, in welchem man die Organismen leicht zählen kann. Wenn eine Massenentwicklung auftritt, wie z. B. bei *Oscillatoria*, die in bestimmten Tiefen bis zu zwei Millionen Stück im Liter vorkommt, so empfiehlt es sich, eine etwa tausend- oder zehntausendfache Verdünnung herzustellen.

Durch diese Methode der quantitativen Planktonuntersuchung ist es möglich, innert kurzer Zeit ein gesamtes Tiefenprofil fassen und fixieren zu können. Außerdem beanspruchen die kleinen Pillengläser, welche die einzelnen Proben fassen, sehr wenig Platz, sodaß man auf einer Exkursion mehrere Profilaufnahmen machen kann. Außerdem benötigt man keine Zentrifuge, was ebenfalls die Untersuchung erleichtert und abkürzt.

Wir sind uns aber vollauf bewußt, daß diese Methode noch nicht vollkommen ist, indem zahlreiche kleinste Organismen (Nannoplankton) mit dem Planktonfilter nicht erfaßt werden können. Es hat sich aber gezeigt, daß für die praktische Seeuntersuchung diese Methode genügt. Für exakte quantitative Untersuchungen ist die Methode nach *Gimesi* vorzuziehen.»

Über die Schichtung des Planktons orientiert die Zusammenstellung der Planktontiefenkurven zu allen Meßzeiten (Fig. 11). Die Anzahl der Organismen war verschieden nach Zeit und Tiefe der Probenahme. Es ließen sich zwei Schichtungstypen unterscheiden:

a) Mehr oder weniger ausgeglichene Organismenzahl von der Oberfläche bis zur Tiefe von 10 m; deutlicher Abfall in 12,5 oder 15 m Tiefe unter die Oberflächenzahlen, eventuell zu einem ersten Minimum. Unterhalb 12,5 oder 15 m Tiefe langsame, stetige Abnahme der Organismenzahl.

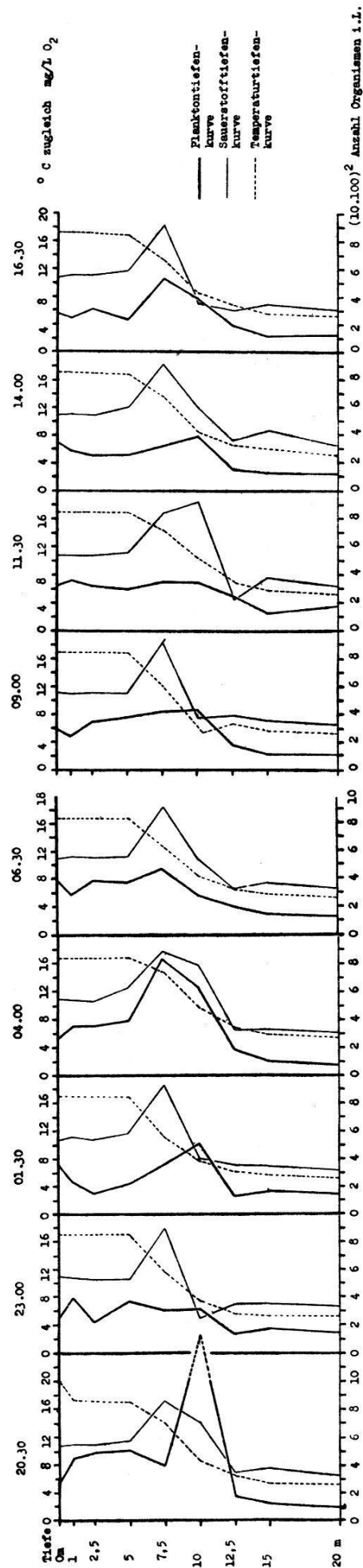
b) Die Organismenzahlen der Oberflächenzone 0 bis 5 m sind schwankend, zu- oder abnehmend. In den Tiefen 7 oder

Fig. 11

Profilfänge im Hallwilersee vom 18./19. 6. 43

Planktontiefenkurven, graphische Darstellung

Den Profilen sind die Temperatur- und Sauerstofftiefenkurven beigegeben



10 m, der Sprungschichtzone, treten Maxima auf. Der Abfall der Organismenzahlen in den Tiefen 12,5 und 15 m tritt wie beim Typus a auf.

Die maximalen Planktonzahlen traten abwechselungsweise in den Tiefen 7,5 und 10 m auf. Es liegt nun nahe, daß zwischen Planktonzahl und Tageszeit eine Beziehung gesucht wird. Wir können prüfen, ob die besprochenen Maxima periodischen Schwankungen nach der Tiefe unterworfen sind, das heißt ob die Masse des Planktons zu bestimmter Zeit der Wasseroberfläche näher rückt oder ob ein Tiefersinken bemerkt wird. Eine andere Methode liegt darin, die mittlere Planktonzahl (Planktonzahlen in allen Tiefen addiert und durch Probenzahl dividiert) mit den verschiedenen Zeiten der Probenahmen zu vergleichen. Wenn solche Vergleiche angestellt werden, so sind wir uns bewußt, daß wir infolge der Unmöglichkeit, zu verschiedenen Zeiten genau an derselben Stelle die Proben zu entnehmen, zu absolut falschen Schlüssen kommen können. Es liegt uns daher ferne, eine Gesetzmäßigkeit konstruieren zu wollen, wir wollen lediglich die einzelnen Proben im Tagesverlauf prüfen.

Die oben erwähnten Schichtungstypen a und b wechselten im Verlaufe des Tages untereinander ab, und zwar mit Übergängen; außerdem schwankten die Planktonmaxima zwischen den Tiefen 7,5 und 10 m. Unsere Untersuchung zeigte insofern einen charakteristischen Verlauf, als ausgehend von Schichtungstypus a bei der Probe von 23.00 zuerst in 10 m ein Maximum ausgebildet war, also um 01.30 in Schichtungstypus b überging. Um 04.00 wurde das Maximum vergrößert und verlagerte sich in die Tiefe 7,5 m. Um 06.30 nahm das Maximum ab, erschien aber immer noch in 7,5 m Tiefe, um später um 09.00 nur noch schwach ausgebildet in 10 m Tiefe aufzutreten. Die Probe um 11.30 zeigte wieder den Typus a; aber schon um 14.00 war in 10 m Tiefe ein Maximum in Ausbildung begriffen. Diese Kurve zeigt auffallende Ähnlichkeit mit derjenigen um 01.30, ebenfalls ein Anfangsstadium. Um 16.30 Uhr war der analoge Zustand wie 04.00, mit ausgebildetem Maximum in 7,5 m Tiefe.

Die Durchschnittsplanktonzahlen sind folgende:

20.30	.	.	.	385 000 (extrem)
23.00	.	.	.	61 000

01.30	. . .	80 000
04.00	. . .	180 000 (extrem)
06.30	. . .	100 000
09.00	. . .	93 000
11.30	. . .	86 000
14.00	. . .	69 000
16.30	. . .	91 000

Das Durchschnittsminimum fanden wir also um 23.00, welchem um 04.00 ein Maximum folgte. Bis um 14.00 stellten wir stetige Abnahme fest, welcher um 16.30 ein Anstieg folgte.

Die Ausbildung der zwei Planktonschichtungstypen fand ihre Erklärung in den thermischen Verhältnissen. Die weitgehend ausgeglichenen Planktonzahlen der Tiefen 0 bis 5 m rührten daher, weil der Ausgleich in der homothermen Zone durch turbulente Strömungen gefördert wird. Dieselbe Erklärung gilt auch für die ausgeglichenen Werte des oberen Hypolimnions, wo nur geringe Temperaturdifferenzen gemessen werden.

In der Sprungschicht, in welcher die Tiefen 7,5 und 10 m untersucht wurden, beobachteten wir einen Temperaturabfall von 10°C . Die Temperaturdifferenzen bewirken nach *W. Schmidt*³¹ die Stabilität des Metalimnions. Die strenge Schichtung der Wassermasse schließt turbulente Strömung aus. Als Bewegungsrichtung tritt nur die Vertikale in Erscheinung.

Das Metalimnion war gegenüber dem Epi- und Hypolimnion als «ruhende» Zwischenschicht aufzufassen, welcher Organismen, wenn sie einmal eingedrungen sind, ohne eigenes Dazutun oder passives Absinken nicht mehr entrissen werden. Auf diese Weise können die Anhäufungen des Planktons zustande kommen.

Auch das wechselnde Auftreten der Planktonmaxima in 7,5 und 10 m Tiefe wird seinen Ursprung in den thermischen Verhältnissen haben.

Die Schwankungen der Temperatur in der Sprungschicht werden dadurch erklärt, daß die kompakte Sprungschicht, die durch große Temperaturdifferenzen stabilisiert ist, unten und oben von Horizontalströmungen, die kältere oder wärmere Wassermassen bewegen, eingedrückt wird. Solche Stöße kön-

nen in der Sprungschicht eine Welle erzeugen und die kompakte Wassersäule zwingen, vertikale Schwingungen auszuführen. Mit den Wassermassen können natürlich auch die Planktonmassen verlagert werden. Unsere quantitativen Planktonmessungen zeigten, daß das Plankton den Temperaturschwankungen in den Tiefen 7,5 und 10 m nur teilweise folgte.

Um 20.30 fanden wir das Planktonmaximum in 10 m Tiefe. Die Temperatur in dieser Tiefe und auch diejenige in 7,5 m war im Sinken begriffen, was bedeuten will, daß die Sprungschichtmasse einem Druck von unten ausweichen muß. Von 23.00 bis 01.30 verharrte die Sprungschicht in erhöhter Lage, aber das Planktonmaximum fanden wir noch um 01.30 in 10 m Tiefe. Um 04.00 war die Sprungschicht wieder abgesunken, das Planktonmaximum war jetzt in 7,5 m Tiefe.

Wenn die Planktonmasse der Wassermasse gefolgt wäre, so müßte nun das Maximum schon wieder in der Tiefe von 10 m auftreten. Um 06.30 fanden wir das Planktonmaximum der Temperatur «entsprechend» in 7,5 m Tiefe; es hätte inzwischen aber auf Tiefe 10 m sein sollen. Um 09.00 war das Planktonmaximum der Sprungschichtschwankung vorausgeeilt und war schon in 10 m Tiefe aufzufinden, wo es auch um 11.30 verharrte. Den raschen Aufstieg der Wassermasse in die 7,5-m-Tiefe machte das Planktonmaximum um 14.00 nur verspätet mit und erreichte die Höhe erst, als die Wassermasse wieder abzusinken begann. Für dieses Nachhinken kann nur die träge Masse des Planktons verantwortlich gemacht werden.

Wir haben also für alle Eigentümlichkeiten der Tiefenverteilung des Planktons die herrschenden Temperaturverhältnisse in den betreffenden Tiefen verantwortlich gemacht. Die Temperaturschichtung ist die meßbare Folge der verschiedenartigsten Strömungen, die in einem See auftreten können (siehe Strömungsmessungen). In diesem Sinne können unsere Untersuchungen die Ansicht von *Henri Lozeron*³² unterstützen. *H. Lozeron* erklärt die Schwankungen in der Tiefenverteilung des Planktons seiner quantitativen Jahresuntersuchung im Zürichsee mit Horizontal- und Vertikalströmungen.

IV. Beziehung zwischen Plankton- und Sauerstoffgehalt

Wir glaubten, daß bei dieser Tag- und Nachtuntersuchung die quantitativen Planktonergebnisse uns die Schwankungen der Sauerstoffkurve der 10-m-Tiefe verständlich machen würden. Nachdem aber für die Tiefenverteilung des Planktons die Temperaturschichtung maßgebend war, müssen wir ein Heben und Senken des Metalimnions als Tatsache hinnehmen. Die Tiefe von 10 m würde also nach dem früher Gesagten abwechselnd in der trophogenen und tropholytischen Schicht liegen und der Temperatur und Lage entsprechende Sauerstoffwerte aufweisen. Es wäre auch absolut falsch, wenn wir ein starkes Ansteigen des Sauerstoffgehaltes in 10 m Tiefe von 23.00 bis 04.00, als Nachtzeit, auf intensivierte Assimilation zurückzuführen versuchten. Wir müssen daher festhalten, daß die Sauerstoffschwankungen der 10-m-Tiefe *biologisch* nicht erklärt werden können.

Das *Epilimnion* (0 bis 5 m), das zusammen mit dem Metalimnion die trophogene Schicht darstellt, zeigt ausgeglichene Temperatur und zugleich ausgeglichene Sauerstoffwerte in der Höhe von 110 bis 130 % der theoretischen Sättigung. Dementsprechend ist in ihm das Plankton mehr oder weniger gleichmäßig verteilt.

Im *Metalimnion* mit der Tiefe 7,5 m wurden die höchsten Sauerstoffgehalte beobachtet. Wir konstatierten weitgehende Unabhängigkeit der Sauerstoffwerte vom Planktongehalt. Maßgebend war, daß in dieser Schicht das durchschnittliche Planktonmaximum gemessen wurde und daß die Temperatur nur in mäßigem Rahmen schwankte. Die Anreicherung von Sauerstoff sowie auch des Planktons hatte zur Bedingung, daß die Schichtung innerhalb diesem wichtigsten Teil der trophogenen Zone nicht gestört worden war. Dies ist aber gerade das Charakteristikum des Metalimnions und liegt in der Thermik begründet. Es wäre gut denkbar, daß wir auch im Epilimnion maximale Sauerstoffwerte messen könnten, wenn nicht die Turbulenz den sofortigen Ausgleich und die Zerstörung der Schichtung verursachen würde. Wir machten auch hier wieder die Erfahrung, daß die Maxima und Minima der Sauerstoffwerte immer auf der

Grenze zwischen Meta- und Hypolimnion auftraten. Dies mag seinen Grund darin haben, daß die unmittelbare Nähe der trophogenen Zone die Assimilation durch die Nachlieferung von Kohlensäure begünstigt.

Das Hypolimnion als tropholytische Zone zeigte verminderte Planktonzahlen und erste Sauerstoffminima. In diesen Tiefen von 12,5 m an abwärts haben wir wohl noch beträchtliche Planktonmengen (10 000 bis 40 000 im Liter), die des geringen Lichtes wegen aber nur wenig Sauerstoff zu produzieren vermögen.

Gleichzeitig wird zum oxydativen Abbau der Planktonleichen und zur Atmung des Zoo- und Phytoplanktons Sauerstoff verbraucht.

Unsere Tag- und Nachtmessungen zeigten auch hier sehr geringe Schwankungen, die sogar bei sehr genauen Messungen innerhalb der Fehlergrenzen liegen könnten.

V. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Wir versuchen im Nachfolgenden die Unterschiede und Schwankungen in der Temperatur und dem Sauerstoffgehalt, innerhalb eines Tages, an einer bestimmten Stelle, auf folgende Weise zu erklären:

- a) *Die Temperaturschwankungen* können folgendermaßen erklärt werden:
 1. *im Epilimnion*, 0 bis 5 m, durch Tag- und Nachtausgleich;
 2. *im Metalimnion*, 7,5 bis 10 m, durch Heben und Senken der Sprungschicht, wahrscheinlich verursacht durch turbulente Strömungen;
 3. *im oberen Hypolimnion* mehr oder weniger ausgeglichene Temperatur infolge turbulenter Strömungen.
- b) *Die Schwankungen im Sauerstoffgehalt* gehen den Temperaturschwankungen parallel und haben ihren Ursprung in:
 1. der Planktonschichtung;
 2. der Störung des stabilen Metalimnions durch einfallende turbulente Strömungen, die ein vertikales Schwingen des Metalimnions verursachen;

3. der Sauerstoffkonsumtion durch Zoo- und Phytoplankton, sowie Abbaureaktionen.
- c) Besondere Verhältnisse liegen bei der Tiefe von 10 m vor, wo die Sauerstoffkurve im Verlaufe der Untersuchung drei starke Schwingungen zwischen den Sauerstoffwerten der Tiefen 7,5 m und 12,5 m ausführte und zwischen 40 % bis 165 % der theoretischen Sättigung schwankte.
Die Tiefe von 10 m liegt an der Grenze zwischen Meta- und Hypolimnion und gehörte einmal der trophogenen, dann wieder der tropholytischen Schicht an.
- d) Für die Zone 0 bis 5 m, dem eigentlichen Epilimnion, gilt folgendes:
Infolge Tag- und Nachttemperatenausgleich wurde eine homotherme Schicht von 0 bis 5 m gebildet, die entsprechend ausgeglichene Sauerstoffwerte von 110 bis 120 % der theoretischen Sättigung aufwies.
- e) Nach den vorliegenden Befunden liegt am Tage der Untersuchung das Hypolimnion aus folgenden Gründen in der Tiefe von 12,5 m an abwärts:
 1. Die Temperatur entspricht der Kaltwasserschicht, wie sie bei der Thermik konstatiert worden war;
 2. die Sauerstoffwerte sind gegenüber denjenigen der trophogenen Zone stark reduziert;
 3. die Planktonzahlen sind stark in Abnahme begriffen.

6. Strömungsmessungen

A. Ursachen der Strömungen in einem kleinen See

1. Dynamische Ursachen:

Der See kann als Erweiterung des Flußbettes zum Becken aufgefaßt werden, worin naturgemäß der Zufluß je nach seinem Inhalt an Bewegungsenergie Strömungen hervorrufen kann. Der Abfluß mit seiner Saugwirkung wird in bestimmten Regionen des Sees spürbar sein.