

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

Artikel: Limnologische Untersuchungen im Hallwilersee
Autor: Keller, Rudolf
Kapitel: 6: Strömungsmessungen
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: 13.01.2026

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

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 Nachttemperaturausgleich 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 Flüßbettes 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.

Von diesen Strömungen, welche durch den Zu- und Abfluß bedingt sind, wird nie die ganze Wassermasse des Sees in Bewegung gebracht. In energetischer Hinsicht tritt eine viel mächtigere strömungserzeugende Kraft auf, welche die ganze Masse des Sees in Bewegung zu versetzen vermag, nämlich die Luftbewegungen und der ausgesprochene Wind. Dieser kann mit seinen gerichtet bewegten Luftmassen durch Reibung die Wasseroberfläche in gleicher Grundrichtung in Fluß bringen. Die tieferen Schichten des Seewassers werden ebenfalls durch die Reibung nachgezogen.

2. *Hydrostatische Ursachen:*

Die Wirkung der Unterschiede in den spezifischen Gewichten benachbarter Wassermassen bedingt weitere Strömungen im Wasser. Das spezifische Gewicht des Wassers kann durch Temperatur, Salzgehalt und suspendierten Schlamm verändert werden. Die daraus resultierenden Strömungen werden immer die Vertikale als Hauptkomponente aufweisen. Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit und die Entwerfung eines Bildes, das diese vertikalen Massenverschiebungen auch nur annähernd darzustellen vermöchte, wäre eine schwierige Arbeit, denn die wirklich vorhandenen Strömungen in einem See sind die Resultierenden aus den erwähnten Wirkungen der dynamischen und hydrostatischen Ursachen.

B. Ziel und Zweck der Strömungsmessungen

Unsere Messungen beschränkten sich hauptsächlich auf die Wirkung der beiden Hauptwindrichtungen — Bise und Föhn (Nord- und Südwind). Die Einwirkung von Zu- und Abfluß wurde außer Acht gelassen.

Die Messungen sollen ein Bild von der Bewegungsgröße und Richtung der Wassermassen geben.

C. Meßgerät zur Messung der Strömungen

Die Strömungsmessungen wurden mit Strömungskreuzen mit Schwimmkörpern ausgeführt, wie sie von *Max Städler*³³ beschrieben und mit Erfolg angewendet worden sind. Die Be-

schreibung der von Herrn Schaltegger, von der Wasserversorgung Zürich, konstruierten Apparatur sei hier wiederholt:

«Die Schwimmapparatur fußt auf dem Prinzip, daß ein Körper, der sich in einem bewegten Medium schwebend erhält, den Bewegungen dieses Mediums in jeder Hinsicht folgt. Wir versenken also einen Körper in die Wassermassen eines Sees, und zwar so, daß er sich in einer bestimmten Tiefe schwebend hält. Die Beobachtung zeigt, daß ein solcher Körper die Bewegungen der ihn umgebenden Wassermassen mitmacht. Es handelte sich also nur darum, einen Körper zu schaffen mit der Eigenschaft, sich in jeder beliebig gewählten Tiefe schwebend erhalten zu können, dessen Bewegung, d. h. Ortsveränderung, registrierbar ist.

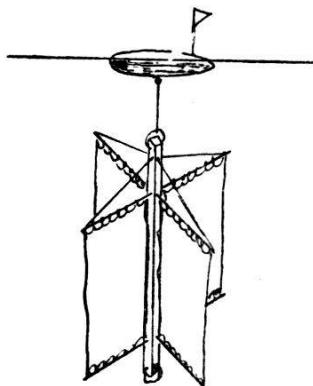


Fig. 12

Zu diesem Zweck wurde ein Gerät hergestellt, dessen spezifisches Gewicht etwas größer ist als das des Wassers, das also sinkt. Dieses Gerät wird mittels eines Drahtes von einer Schwimmboje getragen. Damit ist den beiden gestellten Forderungen Rechnung getragen: Der Körper schwebt dauernd in einer nach Bedarf wählbaren Tiefe, und seine Fortbewegung ist durch die Boje, die als Träger des versenkten Gerätes senkrecht darüber steht, der Beobachtung zugänglich gemacht. Da nun aber der Schwimmkörper seinerseits die Tendenz hat, den Bewegungen der Seeoberfläche zu folgen, mußte, um nicht eine Resultante aus Oberflächen- und Tiefenströmungen zu erhalten, die Boje so beschaffen sein, daß sie, von den Strömungen ihrer eigenen Medien (Wasser und Luft) möglichst unbeeinflußt, den Bewegungen des Gerätes nachkommen kann. Die relativ kleine Schwimmboje darf also den Wasser- und Windströmungen nur

geringe Angriffsflächen bieten. Das Meßgerät dagegen, das die Bewegungen der Wassermassen der bestimmten Tiefe anzeigen und mitmachen muß, verlangt bei großen Dimensionen ein Vielfaches der Angriffsfläche der Bojen. Auf ganz einfache Weise ist es nun gelungen, diesen Voraussetzungen zu entsprechen. Das eigentliche Meßgerät besteht nämlich aus einem Holzbalken von 2 m Länge, der am oberen und untern Ende Durchbohrungen besitzt, in welchen Eisenstangen kreuzweise eingefügt und mit Tüchern von $1,2 \text{ m}^2$ Fläche bespannt sind. Es zeigt also ganz erhebliche Ausmaße und würde beim Transport sehr viel Platz auf dem Schiff beanspruchen. Deshalb ist es so konstruiert, daß es in wenigen Minuten leicht montiert bzw. demontiert werden kann. Die Tücher sind am oberen und untern Ende mit Metallringen versehen, mittels denen sie bequem an den Eisenstangen befestigt werden können. Die Eisenstangen selbst sind in die Durchbohrungen des Vertikalbalkens leicht einschiebbar und werden durch Drähte, an denen sich Haken zum leichten Fixieren befinden, seitlich noch verstrebt (s. Fig. 12).

Die Schwimmboje besteht aus einem massiven Holzstück von zirka 1,2 m Länge und 12 bis 15 cm Durchmesser und besitzt Zigarrenform. Im Schwerpunkt ist eine Ringschraube angebracht, an welcher der das Meßgerät tragende Draht mittels Karabinern befestigt wird. Um die Boje, die zu zwei Dritteln in das Wasser eintaucht, möglichst weit sichtbar zu machen, sitzt an ihrem schmalen Ende ein zweifarbiges Fanion mit Nummernbezeichnung. Die Placierung des Fanions hat den besondern Zweck, die Boje stets in Windrichtung und damit auch in Strömungsrichtung der oberflächlichen Wasserschicht zu halten. Die Querfläche, die der Schwimmkörper den Wasser- und Luftbewegungen als Angriffsfläche bietet, ist so auf maximal 2 dm^2 eingeschränkt. Den 10 m^2 Gesamtfläche des Gerätes gegenüber ist dies verschwindend wenig und darf praktisch vernachlässigt werden.»

D. Aussetzen der Meßgeräte

Die Geräte wurden im Ruderboot an Ort und Stelle montiert und mit der nötigen Länge Draht in den See versenkt und

an der Boje befestigt. Die Boje wurde sofort mit dem Armee-Sitometer auf drei markante Punkte eingemessen und die Bezeichnung der Boje und die Zeit notiert. Die Dauer der Messung richtete sich nach der Strömungsgeschwindigkeit und der zur Verfügung stehenden Zeit.

E. Wahl des Zeitpunktes der Messungen

Entsprechend der Zielsetzung wurden die Messungen während beständigen Föhn- und Bise-Windperioden vorgenommen, damit die übrigen erwähnten dynamischen und hydrostatischen Strömungsursachen soweit in den Hintergrund rückten, daß ein möglichst eindeutiges «Wind-Strömungsbild» resultierte.

F. Ausführung der Messungen

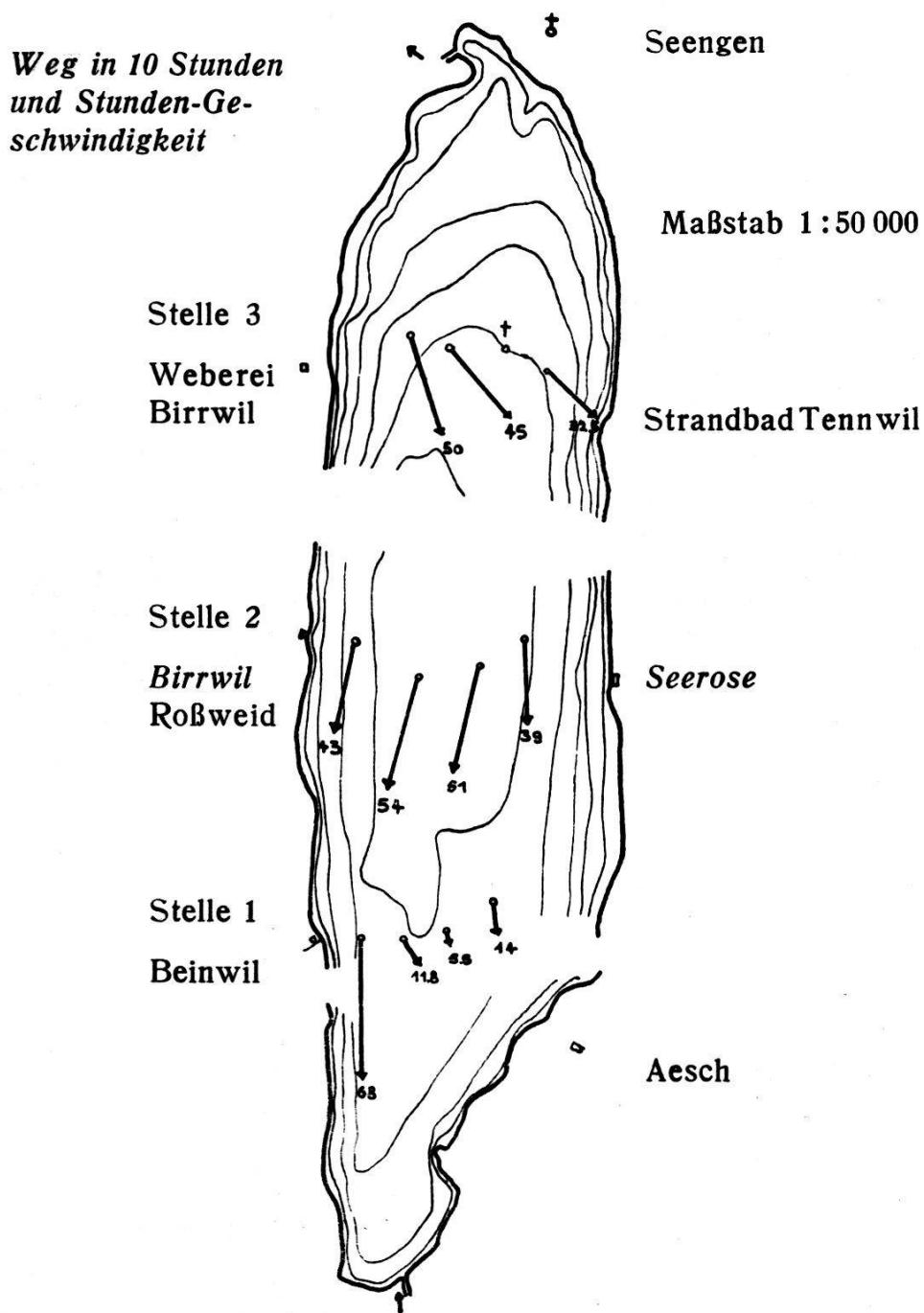
1. Strömungsmessungen an allen drei Stellen (1 bis 3) am 25./26. 6. 42 bei Bise-Lage

a) Ziel: Ermittlung der Strömung in 10 m Tiefe bei konstanter Bise-Lage an drei Stellen des Sees, und zwar in $\frac{1}{6}$, $\frac{3}{6}$ und $\frac{5}{6}$ der Seelängsachse.

b) Ausführung: An den drei Stellen des Sees wurden nacheinander, angefangen auf der Höhe der Seemitte, Strömungskreuze auf die ganze Seebreite verteilt, in 10 m Tiefe versenkt, Startpunkt und Endpunkt eingemessen und in der Karte Maßstab 1 : 25 000 eingezeichnet. Die genaue Zeit der Start- und Endpunkte der Messungen wurden notiert. Die Verbindung der beiden entsprechenden Punkte ergab die Strömungsrichtung. Auf der nachfolgenden Zeichnung bedeutet der dicke Pfeil den in zehn Stunden zurückgelegten Weg; die angeführte Zahl gibt die Stundengeschwindigkeit an; die Messungen auf den drei verschiedenen Stellen dauerten über 48 aufeinanderfolgende Stunden.

c) Resultat der Untersuchung: Aus Fig. 13 ist ersichtlich, daß die Bewegung der Wassermassen in 10 m Tiefe ziemlich genau der momentanen Windrichtung folgt, die während des Tages durch die Kontrolle der Wellenrichtung festgestellt wurde. Die gesamte oberflächliche Wassermasse ist in einheit-

Fig. 13. Strömung in 10 m Tiefe bei konstanter Bise am 25. und 26. 6. 42



licher allgemeiner Richtung in Bewegung und es konnte keine Andeutung einer Horizontalrotationsbewegung bemerkt werden.

d) Schlußfolgerung: Das Ergebnis dieser Messung, die nur die 10-m-Tiefenzone erfaßte, führt zwangsläufig zum Schluß, daß der Ausgleich der bewegten Wassermassen nach den tiefen Regionen stattfinden muß.

2. Strömungsmessungen am 10. 10. 42 auf Höhe Birrwil—Seerose (Stelle 2) bei Föhn-Lage

a) *Ziel:* Ermittlung der Strömungen in den Tiefen 0, 5, 10, 20 und 30 m auf der Seite Birrwil.

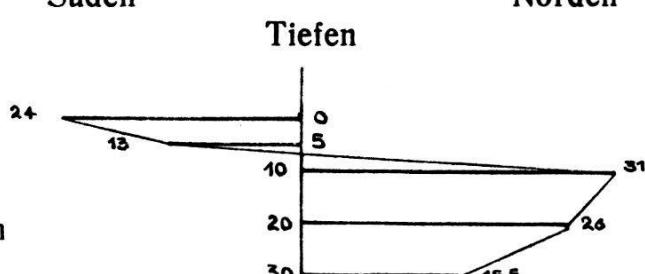
b) Ausführung: Während fünf Tagen vor der Messung war mittelstarker Föhn, zur Zeit der Aussetzung der Strömungskreuze setzte leichte Bise ein, welche zirka fünf Stunden lang anhielt und hernach wieder für die restlichen 14 Messungsstunden dem Föhn Platz machte.

Die Kreuze wurden auf einer Linie, parallel zum Seeufer, in verschiedenen Tiefen ausgesetzt, wobei das tiefste zirka 5 m ob Grund schwiebte.

c) Resultat der Messung: Weil die Windrichtung während der Versuchszeit um zirka 180° gewechselt hatte, war kein eindeutiges Bild der Wassermassenbewegung zu erwarten. Die Messungen zeigten, daß sich die Wassermassen in den verschiedenen Tiefen verschieden schnell und in entgegengesetzter Richtung bewegt hatten.

Fig. 14. Seite Birrwil

Start: 13.00
Ende: 08.30
Beobachtungszeit:
19 Stunden 30 Minuten



Die Zahl am Ende der Treibstrecke, welche im Maßstab 1:20 000 gezeichnet ist, gibt die Stundengeschwindigkeit an.

d) Schlußfolgerung: Diese erste Einsicht in die Bewegungen der Tiefen läßt ahnen, daß die Vorgänge im Profil nach der Tiefe mannigfaltiger sind als in Horizontalebene

Die Vermutung, die anhand der Resultate der Strömungsmessungen in 10 m Tiefe an den drei Stellen des Sees geäußert wurde, scheint durch die Beobachtungen dieser Messungen berechtigt gewesen zu sein. Die Ausgleichsströmungen bewegen sich in der geringen Tiefe von zirka 7 m in entgegengesetzter

Richtung zur oberflächlichen Strömungsrichtung. Wenn in Betracht gezogen wird, daß die Strömungskreuze nur die Horizontalkomponente der Strömungsrichtung anzeigen, so kann die beobachtete Strömung mit einer rotierenden Walze verglichen werden.

3. Strömungsmessungen am 31.10.42 auf Höhe Birrwil—Seerose (Stelle 2) bei Bise-Lage

a) **Ziel:** Ermittlung der Strömungen in den Tiefen 0, 5, 10, 20 und 30 m auf der Birrwiler Seite.

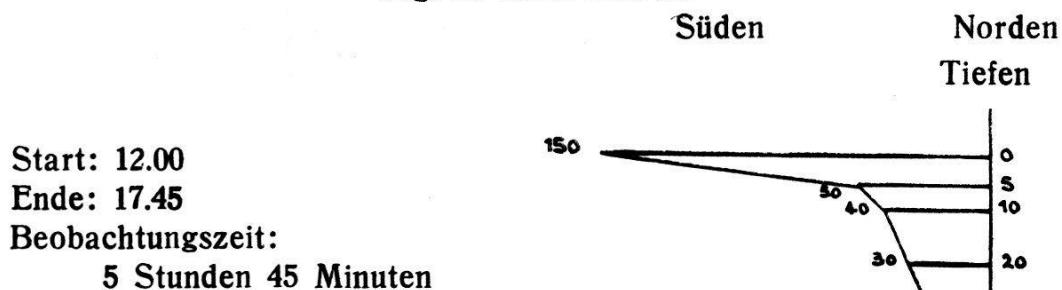
b) Ausführung: Diese Messung unterscheidet sich von der vorstehend beschriebenen nur durch die neue Windlage. Während sechs Tagen vor der Messung herrschte mittelstarke Bise. Die Geräte wurden ausgesetzt und während zirka fünf Stunden treiben gelassen.

c) **Resultat der Messung:** Die Geräte bewegten sich alle in gleicher Nord—Süd-Richtung.

An der Oberfläche wurde eine Strömungsgeschwindigkeit von 150 m/h gemessen, die sich in 5 m Tiefe auf $\frac{1}{3}$ herabsenkte.

Unterhalb 5 m bis 30 m Tiefe stellten wir eine gleichmäßige stetige Abnahme der Geschwindigkeit fest.

Fig. 15. Seite Birrwil



Zahl = Stundengeschwindigkeit. Maßstab = 1 : 20 000

d) Schlußfolgerung: Der andauernde Wind vermag die Wassermassen bis auf den Grund in Bewegung zu bringen und es bleibt nur die Frage offen, wo der hydrostatische Ausgleich stattfindet. Die Strömungsmessungen müßten gleichzeitig oder wenigstens bei gleicher Windlage nacheinander auf beiden See-

seiten durchgeführt werden, damit es gelingt, die Ausgleichsströmung zu erfassen.

4. Strömungsmessungen am 7.11.42 auf Höhe Birrwil—Seerose (Stelle 2) bei Föhnlage

a) *Ziel*: Ermittlung der Strömungen in den Tiefen 0, 5, 10, 20 und 30 m auf der Birrwiler- und Seerose-Seite, zur Aufklärung der Ausgleichsströmungen.

b) *Ausführung der Messungen*: Die Strömungsgeräte wurden bei konstantem Föhnwetter auf der Seerose-Seite ausgesetzt, nach zirka vier Stunden Beobachtungszeit eingezogen, auf der Birrwiler-Seite ausgesetzt und hier zirka drei Stunden beobachtet. Während den Messungen setzte für Minuten die Bise ein und vermochte möglicherweise das eindeutige Resultat etwas zu stören.

Fig. 16. Seite Birrwil

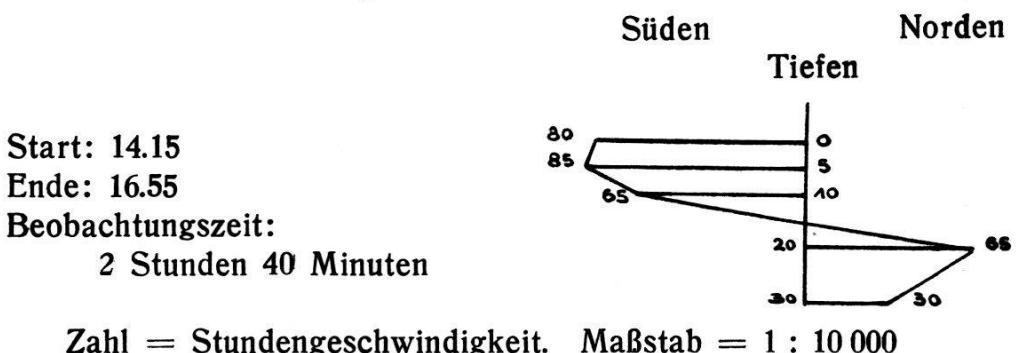
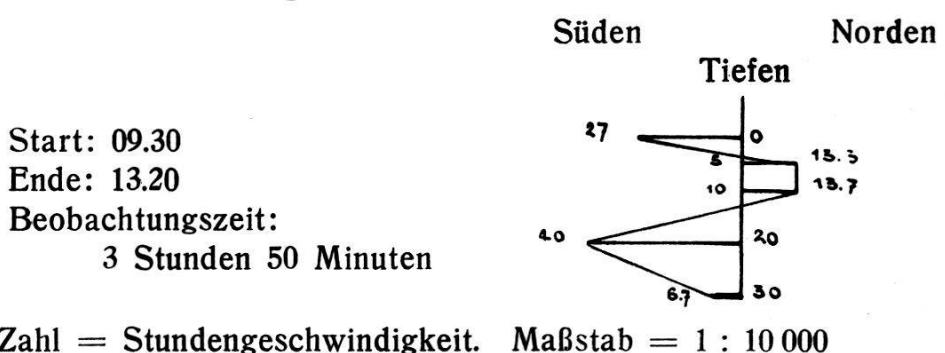


Fig. 17. Seite Seerose



c) *Resultat der Messungen*: Beim Vergleich der beiderseitigen entsprechenden Strömungsrichtungen fällt auf, daß sie einander entgegengesetzt sind. Zwei Rotationsbewegungen sind ein-

ander überlagert, welche die Wassermassen in entgegengesetzter Richtung bewegen. Die Drehebene liegt zwischen 10 m und 20 m Tiefe.

d) Schlußfolgerung: Diese Messungen geben einen Anhaltspunkt, wie man sich den hydrostatischen Ausgleich der Wassermassen im See vorzustellen hat. Analoge Messungen bei Bise-Lage sollen das Bild erweitern.

5. Strömungsmessungen am 13./14. 11. 42 auf Höhe Birrwil—Seerose (Stelle 2) bei Bise-Lage

a) **Ziel:** Aufklärung des hydrostatischen Ausgleichs durch Messung der Strömungen in den Tiefen 0, 5, 10, 20 und 30 m auf der Birrwiler- und Seerose-Seite bei Bise-Lage.

b) Ausführung der Messungen: Wie beim vorangegangenen Versuch 4 mit dem Unterschied, daß die Beobachtungszeit nur $1\frac{1}{4}$ und $2\frac{1}{2}$ Stunden dauerte. Die Bise war gleichmäßig stark.

c) *Resultat:* Das Strömungsbild auf der Seite Birrwil ist dasselbe, wie es schon der Versuch 3 bei Bise gezeigt hat; einheitliche Bewegungsrichtung der gesamten Wassermassen mit abgestuften Stundengeschwindigkeiten. Erstaunlicherweise zeigen aber auch hier Seerose-Strömungsbilder auffallende Ähnlichkeit wie bei Föhn-Lage, mit dem Unterschied, daß bei Bise-Lage die Strömungsrichtung nach der Tiefe, von der Oberfläche zum Grund, viermal die Richtung wechselt, statt nur dreimal wie bei Föhn-Lage.

Fig. 18. Seite Birrwil

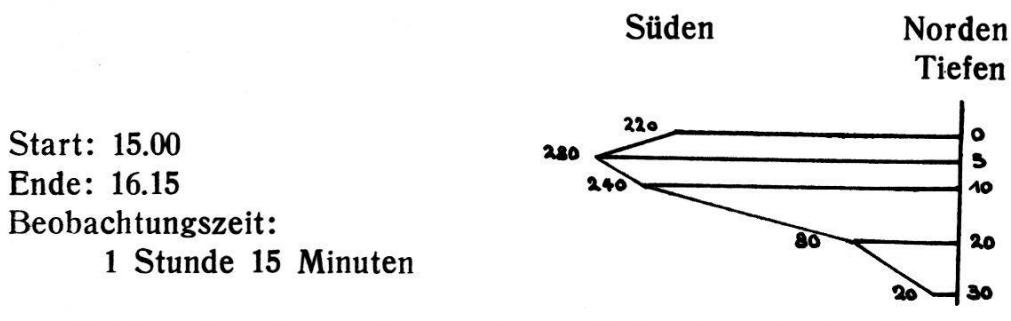
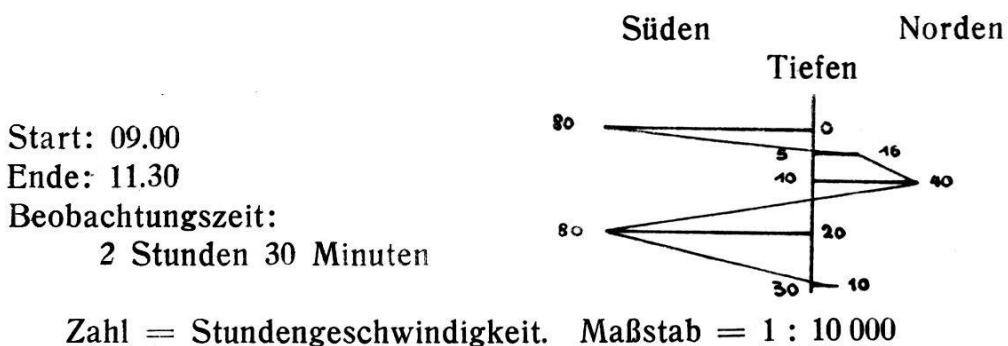


Fig. 19. Seite Seerose



d) *Schlußfolgerung:* Die Strömungsverhältnisse nach der Tiefe liegen bei Bise-Lage nicht so eindeutig, wie sie bei Föhn gemessen werden konnten. Die Bise greift auf der linken Seeseite die Wassermasse so entschieden an, daß hier keine Ausgleichsströmungen aufkommen können. Auf der rechten Seeseite dagegen kämpfen direkte windbedingte Strömungen mit Ausgleichsströmungen um den Vorrang.

G. Praktisches Ergebnis der Strömungsmessungen

Ganz allgemein ist festzuhalten, daß auch bei nur geringen Windgeschwindigkeiten verhältnismäßig große Kräfte im Spiele sind, welche erhebliche Wassermassen in Bewegung bringen können. Diese Bewegung teilt sich infolge der ausgesprochen wattenförmigen Gestaltung des Seebettens der gesamten Wassermasse des Sees mit. Aus der Messung 1 ist deutlich ersichtlich, daß sich bei irgendeiner Windrichtung die gesamte Seeoberfläche in gleicher allgemeiner Richtung in Bewegung setzt. Unter dieser Oberfläche finden hydrostatisch bedingte Ausgleichsströmungen statt. Die Strömungsmessungen 3 und 4 haben die Existenz dieser Ausgleichsströmungen bewiesen, während natürlich ihr Verlauf bei anderen als den beobachteten Windrichtungen nicht ermittelt werden konnte. Zur einwandfreien Festlegung wären sehr viele Meßgeräte notwendig, die zur gleichen Zeit ausgesetzt und ständig kontrolliert würden. Zweifellos würde eine Sammlung von Strömungsbahnen entstehen, die für die verschiedensten Wetterlagen charakteristisch wären. Es gelang festzustellen, daß sowohl die oberflächlichen als auch die tiefer liegenden Wassermassen von Windströmun-

gen in ganz bestimmt gerichtete Bewegungen gezwungen werden. Es ist unwahrscheinlich, daß der See infolge seiner mit der geographischen Lage verbundenen Empfindlichkeit gegenüber den Winden Eigenströmungen meßbarer Größe, die auf das Gesamtströmungsgeschehen einwirken, aufweist. Die oft von Fischern beobachteten lokalen Strömungen sind vermutlich Ausgleichsströmungen, die zufolge Bodenbeschaffenheit und Winddruck die mannigfältigsten Wege einschlagen können.

7. Der Chemismus des Sees

A. Allgemeines

Es besteht kein Zweifel, daß das Seewasser als Nährlösung und Lebensraum für die Art und Ausdehnung der Biozoenose bestimmend ist. Alle Organismen entziehen dem Wasser Nährstoffe und geben ihre Stoffwechselprodukte wieder ins Wasser ab. Mit Hilfe der exakten chemischen Analyse können Veränderungen im Lebensraum quantitativ ermittelt und als Ursache für Umstellungen in der Planktonwelt gedeutet werden. Es besteht somit eine Wechselbeziehung zwischen Lebewelt und Lebensraum. Die Herkunft der gelösten Stoffe im Seewasser ist mannigfach. Durch die Zuflüsse, aus der Atmosphäre, aus dem Boden oder aus dem Stoffwechsel der Organismen gelangen sie in den See. In den oberen, gut belichteten trophogenen Schichten führen die Lebensvorgänge zu einem Verbrauch an Nährstoffen, während in den lichtlosen Tiefen, den tropholytischen Schichten des Sees ein Gedeihen höherer, insbesondere assimilierender Pflanzen unmöglich ist. Hier finden der autolytische und der bakterielle Abbau der organischen Stoffe statt. Der Gehalt des Wassers an gelösten Nährstoffen erlaubt eine maßgebende Beurteilung eines Gewässers.

Vielfach herrscht ein arges Mißverhältnis zwischen der Zusammensetzung der Nährlösung und den Ansprüchen der Organismenwelt. Einzelne Ionen sind im Überfluß vorhanden, wie