

Thermik und Sauerstoffverteilung im Hallstätter See.

A. Die Thermik des Hallstätter Sees.

Dritte Mitteilung.

Wärmegehalt, Stabilität und Schwerpunktsverschiebungen
in den Jahren 1928—1930.

Von Regierungsrat Dr. FRIEDRICH MORTON, Hallstatt.

Aus der Botan. Station in Hallstatt. Nr. 36.

Mit 5 Textabbildungen und 1 Tabelle.

Von besonderem Interesse zur Erfassung des Wärmehaushaltes eines Sees ist dessen Wärmegehalt. Bisher wurde dieser meist durch den Wärmegehalt einer senkrechten Wassersäule von 1 dm²-Querschnitt zum Ausdruck gebracht. Auf Grund entsprechender Lotungen erhalten wir den Wärmegehalt für die einzelnen Meter- oder Dezimeterschichten dieser Wassersäule. Durch Addition dieser Wärmegehalte bekommen wir den Wärmegehalt für die ganze Säule.

Diese in letzter Zeit u. a. von RUTTNER¹⁾ für den Lunzer See und von mir für den Hallstätter See²⁾ zur Anwendung gebrachte Methodik, die ansonsten für orientierende Zwecke sehr geeignet ist, krankt aber daran, daß sie, wie SCHMIDT³⁾ sich ausdrückt, der hier einen ausgezeichneten Arbeitsvorgang einführte, „auf keinen Fall ein Maß für den Wärmegehalt des ganzen Sees“ gibt. Denn die tieferen Teile des Sees üben infolge ihres geringeren Volumens einen wesentlich geringeren Einfluß aus. Beispielsweise beträgt das Volumen des Hallstätter Sees

¹⁾ R u t t n e r, F r a n z: Das Plankton des Lunzer Untersees, seine Verteilung in Raum und Zeit während der Jahre 1908—1913. (Internat. Revue d. ges. Hydrobiologie und Hydrographie. 1929/1930. Bd. 23. Heft 1/2, 3/4. S. 20 u. f.)

²⁾ Thermik und Sauerstoffverteilung im Hallstätter See. A. Die Thermik des Hallstätter Sees. Zweite Mitteilung. Thienemanns Archiv 1931.

³⁾ S c h m i d t, W i l h e l m: Über den Energiegehalt der Seen. Internat. Revue d. ges. Hydrob. u. Hydrographie. 1915. 25 Seiten.

zwischen 4 m und 14 m Tiefe $73,6 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3$, während das Volumen zwischen 114 m und 124 m Tiefe nur $9,7 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3$ und zwischen 124 m und 125,2 m gar nur $0,4 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3$ ausmacht.

Um nun auf graphischem Wege den Wärmegehalt des ganzen Sees zu bestimmen, wurde (nach SCHMIDT) in folgender Weise vorgegangen ⁴⁾:

1. Aufstellung der hypsographischen Kurve.

Auf der Abszisse werden die Flächeninhalte (Isobathenflächen), auf der Ordinate die dazu gehörenden Tiefen aufgetragen. Der Maßstab wurde so gewählt, daß 1 mm (Abszisse) = $3 \cdot 10^4 \cdot \text{m}^2$ war und 1 mm (Ordinate) 1 m entsprach. Daraus ergibt sich für jeden mm^2 bei Planimetrierung ein Volumen von $3 \cdot 10^4 \cdot \text{m}^3$.

2. Aufstellung der Volumkurve.

Zur Gewinnung der Volumskala für die Tafel zur Bestimmung des Wärmegehaltes.

Abszisse: Volumina.

Ordinate: Entsprechende Tiefen.

1 mm (Abszisse) = $2 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3$.

1 mm (Ordinate) = 1 m.

Der Ordinate von 0 m Tiefe entspricht die Abszisse von $556,7 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3$, der Ordinate von 125,2 m Tiefe die Abszisse $\Theta \cdot \text{m}^3$. $1 \text{ mm}^2 = 2 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^4$.

Nach Fertigstellung dieser Volumkurve ⁵⁾ schreiten wir an die Herstellung der Volumskala. Wir ziehen von jedem Punkte der Ordinate, d. h. also von jedem Meter Seetiefe eine zur Abszisse parallele Gerade und bringen sie mit der Kurve zum Schnitte. Von diesen Schnittpunkten fällen wir Normale auf eine Gerade, die wir uns unterhalb der Kurve parallel zur Abszisse gezogen haben. Die Fußpunkte dieser Normalen sind die Teilstriche der Volumskala. Der Abstand der (den einzelnen Metern entsprechenden) Teilstriche wird von 0 m abwärts immer kleiner.

3. Zeichnung der Tafel zur Bestimmung des Wärmegehaltes.

Wir tragen (wieder auf Millimeterpapier) auf der Abszisse Celsiusgrade auf. Als Ordinate dient die Volumskala.

⁴⁾ Da der Arbeitsgang in seiner Gesamtheit ziemlich kompliziert ist, habe ich ihn hier punktweise zusammengestellt und zugleich die beim Hallstätter See verwendeten Arbeitsgrößen angeführt. Diese haben naturgemäß nur für den Hallstätter See Gültigkeit.

⁵⁾ Eine Volumkurve ist abgebildet in Schmidt: „Über den Energiegehalt der Seen“, 1915. S. 18, Fig. 1. Hier auch die Volumskala.

1 mm (Abszisse) = 0,2° C.

1 mm (Ordinate) = 2 · 10⁸ · m³.

1 mm² = 4 · 10⁸ Kilogrammkalorien.

Bei Benützung der Tafel⁶⁾ wird eine Oleate über diese gelegt. Auf dieser werden die Ergebnisse der Temperaturlotungen eingetragen. Die Schnittpunkte (Tiefe — entsprechende Temperatur) ergeben miteinander verbunden, eine Kurve. Die von der Kurve und den entsprechenden Abschnitten der Abzisse und Ordinate eingeschlossene Fläche wird planimetriert. Jeder mm² entspricht dann (für den Hallstätter See) 4 · 10⁸ Kilogrammkalorien.

Die im Hallstätter See in den Jahren 1928, 1929, 1930 durchgeführten Lotungen dienten als Unterlage der Berechnung des Wärmegehaltes des Sees an den Lotungstagen. Von einer Reproduktion der entsprechenden 3 Tabellen mußte aus finanziellen Gründen Abstand genommen werden. Die Tabellen werden in der Botanischen Station aufbewahrt. Es wurden aber die Tabellen graphisch zur Darstellung gebracht (Fig. 1 und 2). Auf den Abszissen sind die Monate des Jahres eingetragen, auf den Ordinaten der Kaloriengehalt für die Lotungstage. Wir gelangen auf diese Weise zu sehr anschaulichen Bildern des Wärmegehaltes des Sees im Laufe des Jahres. Das Jahr 1928 (Fig. 1) zeigt den verhältnismäßig warmen Winter und den höchsten Kaloriengehalt Mitte Juli. Auch der normale Wettersturz des August und die darauf einsetzende Wiedererwärmung im September kommen schön zum Ausdrucke. Das auf derselben Abbildung dargestellte Jahr 1929 zeigt den Einfluß des strengen Winters, der ja zu einer lang dauernden Vereisung des Sees führte. Erst die zweite Maihälfte und der Anfang des Juni lassen den Kaloriengehalt des Vorjahres erreichen und sogar geringfügig übertreffen. Der Juli und August bleiben ebenfalls hinter dem Vorjahre zurück, lassen aber fast gleichzeitig den Wettersturz im Juli erkennen. Hingegen gibt es eine sehr starke Erwärmung in der Mitte des September, die den See so erwärmt wie 1928 die Mitte des Juli. Hierauf erfolgt aber sprunghafte Abkühlung, die den See wieder ungünstiger stellt wie 1928 und zu Werten führt, die bis zum Jahresende unter denen von 1928 bleiben.

Der Sommer des Jahres 1930 zeigt eine seltene Regelmäßigkeit vgl. Abb. 2. Der Wärmegehalt bleibt vom 20. Juni angefangen bis in die zweite Oktoberhälfte nahezu unverändert. Nur im August haben wir, entsprechend einem Wettersturze eine Abnahme, die aber in zwei Wochen wieder wettgemacht erscheint. Die weitere Temperaturabnahme bis zum Jahresende zeigt dann, abgesehen von einer vorüber-

⁶⁾ Siehe die Abbildung 2 S. 19 der in obiger Fußnote genannten Arbeit.

gehenden Wärmezunahme in der zweiten Novemberhälfte, keine Besonderheiten mehr.

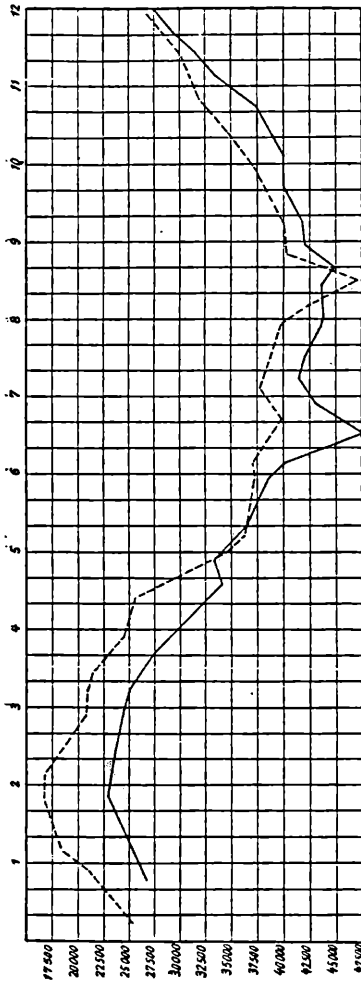


Abb. 1. Der Wärmegehalt des Hallstätter Sees. 1928 (—); 1929 (- - -).
Abszisse: Monate zu 30 Tagen. Ordinate: Kilogrammkalorien.

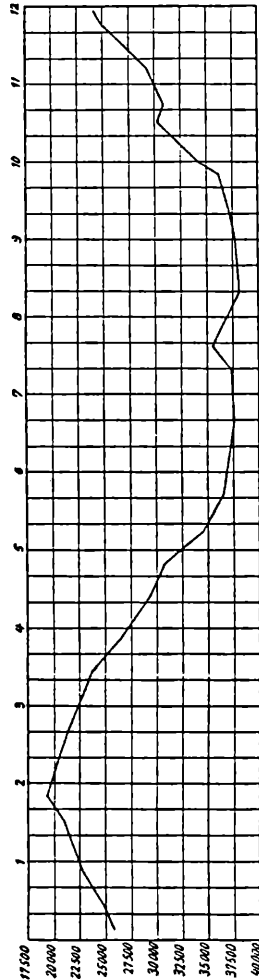


Abb. 2. Der Wärmegehalt des Hallstätter Sees im Jahre 1930.
Abszisse: Monate zu 30 Tagen. Ordinate: Kilogrammkalorien.

4. Die Kurve zur Gewinnung der Skala für die Bestimmung der Stabilität und Schwerpunktvérlagerung.

Auch hier hat SCHMIDT sehr wertvolle Anregungen und Berechnungen gegeben. SCHMIDT geht von der Tatsache aus, daß ein See bei Dichteunterschieden zwischen oberen und unteren Wasserteilchen schließlich in einen Zustand der Stabilität gelangt, der je nach dem Ausmaße der Dichteunterschiede oben und unten größer oder geringer sein wird. Eine Änderung dieses durch Mangel an potentieller Energie gekennzeichneten Zustandes erfordert Arbeit. Diese wird nun als

Maß für die Stabilität angenommen. Es wird also der Energieaufwand festgestellt, der zur Überführung einer vorhandenen Lagerung in eine bestimmte instabile nötig ist. Dabei kann die Schwerpunktlagerung herangezogen werden. Bei Überführung aus stabiler in instabile Lagerung wird der Schwerpunkt des Sees gehoben. Der Schwerpunkt liegt je nach der Stabilität verschieden tief unter dem Schwerpunkte, „den die ganze Wassermasse des Sees bei indifferentem Gleichgewicht, also überall gleicher Dichte ... besitzen würde“. Diese Lage wollen wir nun als Vergleichslage benützen. Die Stabilität *S* ist dann durch die Arbeitsmenge gegeben, die notwendigerweise aufgewendet werden muß, um die anfängliche Schichtung in eine ganz gleichförmige Verteilung überzuführen. Das ist aber auch der Arbeitsaufwand, welcher ein Heben der Wassermasse des Sees um den Höhenunterschied des Schwerpunktes in den beiden Lagen — begleitet (SCHMIDT, l. c. 5—6).

Arbeitsgang: Zunächst muß die Kurve zur Gewinnung der Skala für die Bestimmung der Stabilität gewonnen werden. Wir greifen auf die Volumkurve (Punkt 2) zurück und planimetrieren die Flächenstücke, die der Schichte 0—4 m, 0—14 m, 0—24 m usw. entsprechen. Die so gewonnenen Zahlen geben die erste Zeile der im folgenden für den Hallstätter See berechneten Tabelle 1. Hierauf suchen wir die Lage des Schwerpunktes *S* des Sees. Wir dividieren die Zahl, die wir bei Planimetrierung der ganzen Volumkurve erhielten ($26,443 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^4$) durch das Volumen ($556,7 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^3$) und erhalten 47,49 m für die Tiefe des Schwerpunktes.

Tabelle 1 zur Darstellung der Kurve für die Stabilität.

Tiefe	0 m	4	14	24	34	44	54	64
I	0	80	750	1985	3765	5 890	8 295	10 900
II	0	1533	5039	8249	11 141	13 686	15 947	18 070
III	0	1453	4289	6264	7 376	7 796	7 652	7 170

Tiefe	74	84	94	104	114	124	m
I	13 750	17 005	20 003	22 933	25 163	26 443	$10^6 \cdot \text{m}^4$
II	20 074	21 936	23 607	24 989	25 958	26 443	$10^6 \cdot \text{m}^4$
III	6 324	4 931	3 604	2 056	795	—	$10^6 \cdot \text{m}^4$

Für den Schwerpunkt:

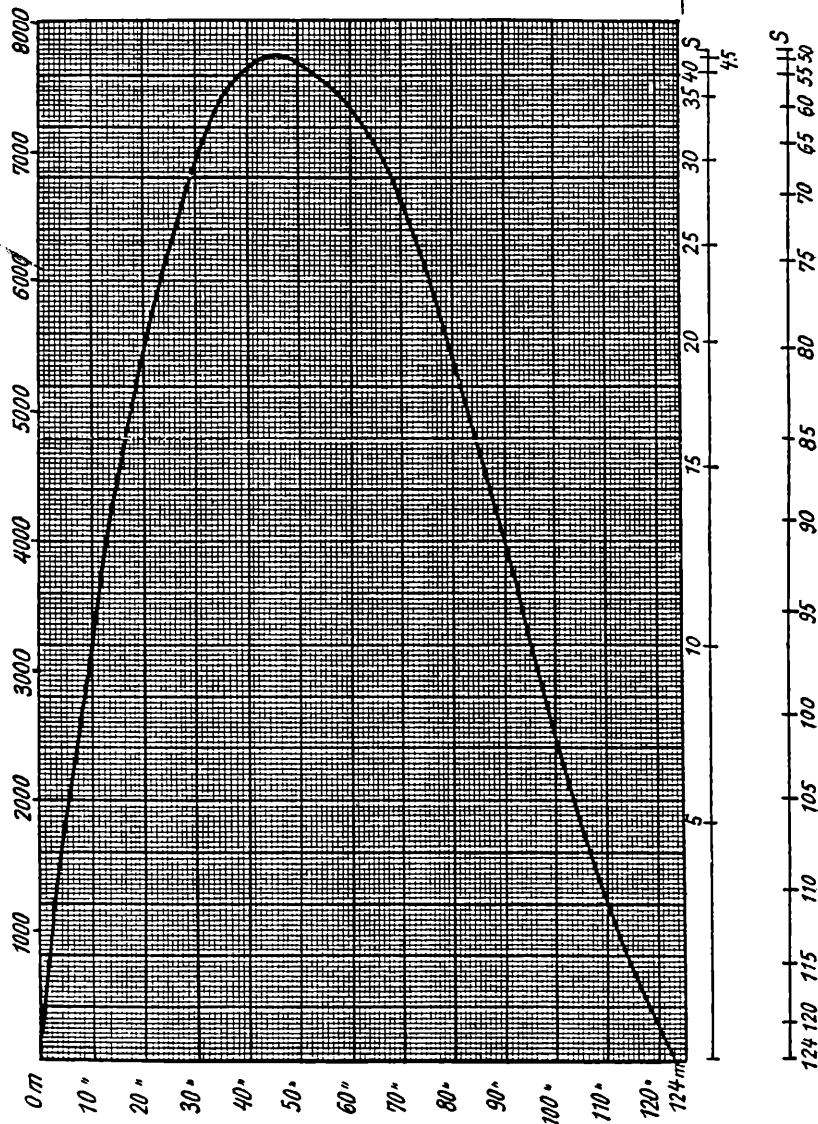
Tiefe	47,49	m
I	6 714	$10^6 \cdot \text{m}^4$
II	14 517	$10^6 \cdot \text{m}^4$
III	7 837	$10^6 \cdot \text{m}^4$

Nun werden die den einzelnen, aufeinanderfolgenden Schichten des Sees entsprechenden Volumina mit S multipliziert. Auf diese Weise erhalten wir die Zeile II der Tabelle 1. Wenn wir die Werte von Zeile I von Zeile II subtrahieren, erhalten wir die Zeile III der Tabelle 1.

Nun können wir an die Zeichnung der Kurve schreiten, die uns die Skala für die Stabilitäts tafel liefern soll.

Auf der Abszisse tragen wir die Werte von Zeile III unserer Tabelle 1 auf.

Abb. 3. Kurve zur Gewinnung der Skala für die Bestimmung der Stabilität und Schwerpunktsverlagerung im Hallstätter See.



Skala Om-S (47,49 m)

Skala 47,49 m-Grund

Auf der Ordinate die entsprechende Tiefe in Metern. Durch Eintragen der den Tiefen von 4 m, 14 m usw. entsprechenden Werte der Zeile III und Verbinden der so gewonnenen Punkte erhalten wir eine Kurve (Fig. 3).

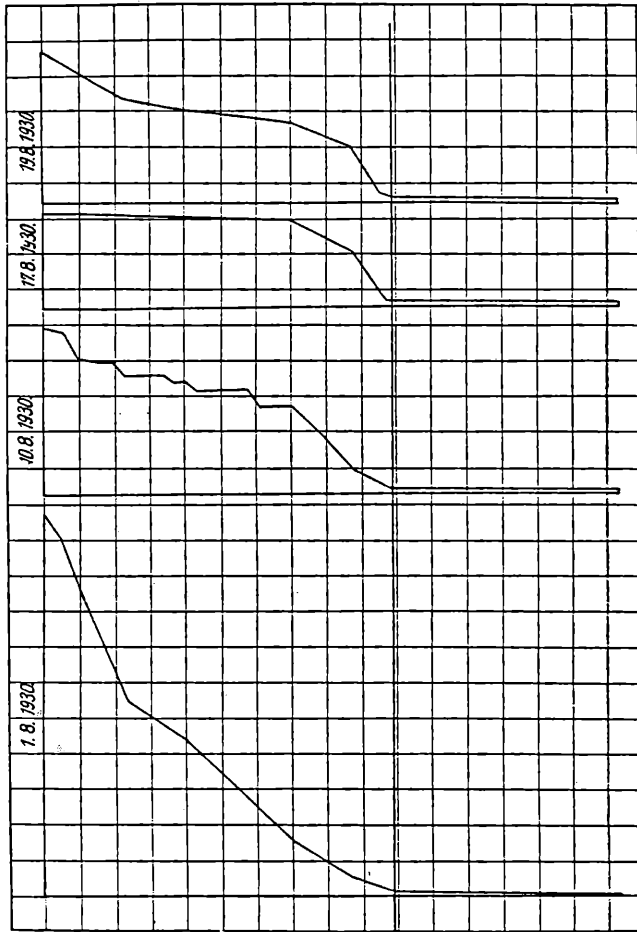


Abb. 4. Der Einfluß eines Wettersturzes auf die Stabilitätsverhältnisse des Hallstätter Sees.

5. Die Skala für die Bestimmung der Stabilität und Schwerpunktsverschiebung.

Bei obiger Kurve (Fig. 3) ziehen wir unter der Kurve parallel der Abszisse eine Gerade. Hierauf suchen wir jene Punkte der Kurve, die den Tiefen von 1 m, 2 m usw. bis 125 m entsprechen und fällen von diesen Punkten Normale auf die Gerade unter der Kurve. Die Fußpunkte sind die Teilstriche der gesuchten Skala. Die Abstände der Teilstriche werden bis zu dem dem Schwerpunkte (also bei 47,49 m) entsprechenden Teilstriche immer kleiner, nehmen hierauf zu und schließlich wieder ab.

6. Die Tafel zur Bestimmung der Stabilität und Schwerpunktsverschiebung.

Ordinate: Die eben gewonnene Skala. Diese wird in zwei Teile getrennt: von 0 m Tiefe bis zum Schwerpunkte und vom Schwerpunkte bis zum Grunde. Zwischen beiden Hälften liegt eine trennende Gerade (parallel der Abszisse) in der Tiefe des Schwerpunktes.

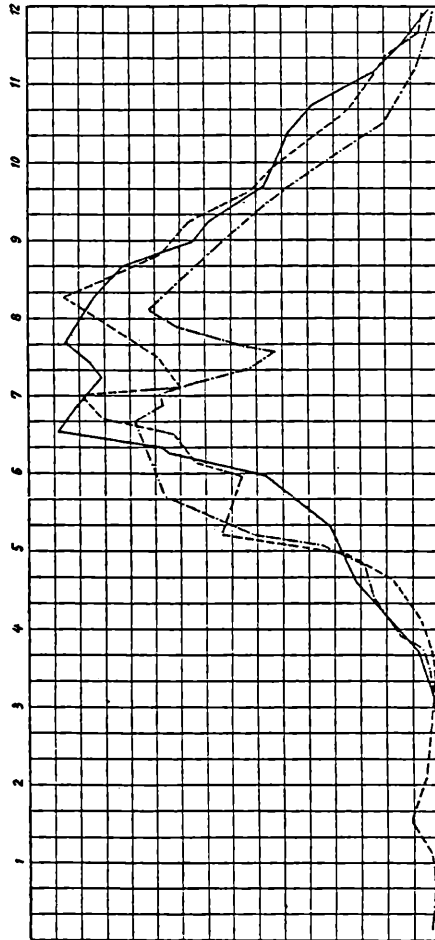


Abb. 5. Kurve der Schwerpunktsverschiebungen im Hallstätter See im Jahre 1928 (—), 1929 (---) und 1930 (-.-.-).

Abszisse: Wir nehmen eine Tabelle zur Hand, welche uns die Dichte (ρ) des Wassers bei verschiedenen Temperaturen angibt. Wir bilden nun: $\rho - 1$, also einen stets negativen Wert, nehmen ihn aber positiv und tragen, ihn bei 4° C am Koordinatenursprung beginnend, auf der Abszisse auf (Fig. 4).

Wir haben nunmehr nur die einer Lotung entsprechenden Grade (d. h. die diesen entsprechenden Werte von $\rho - 1$) einzutragen, die Punkte

zu verbinden und diese Kurve zu planimetrieren. Dabei ist zu beachten, daß die Fläche unterhalb des Schwerpunktes vom Planimeter in entgegengesetzter Richtung zu umfahren ist.

Beim Hallstätter See wurden folgende Maßstäbe verwendet:

Abszisse: 1 cm = 0,0001 Einheiten (spez. Gewicht — 1).

Ordinate: 1 cm = 800 Einheiten ($10^6 \cdot \text{m}^4$) der Zeile III von Tabelle 1.
= $8 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \cdot \text{m}^4$.
= $8 \cdot 10^{11} \cdot \text{mkg}$.

$$1 \text{ Quadratzentimeter} = 8 \cdot 10^{11} \text{ m/kg } 10^{-4} \\ = 8 \cdot 10^7 \cdot \text{m/kg Gewicht.}$$

Einem (planimetrierten) Quadratzentimeter entspricht eine Schwerpunktsverschiebung von 0,143 mm.

Die bei Planimetrierung der Stabilitätstafel gewonnenen Werte, die als Maß der Stabilität zu gelten haben ($1 \text{ cm}^2 = 8 \cdot 10^7 \text{ m/kg Gew.}$), wurden nun mit dem Umrechnungsfaktor ($1 \text{ cm}^2 = 0,143 \text{ mm}$) multipliziert, woraus sich die Schwerpunktsverschiebungen für die einzelnen Lotungstage ergeben. Diese wurden in einer Kurve dargestellt. Abszisse: 1 mm = 1 Tag (Monate zu 30 Tagen angenommen). Ordinate: 1 mm = 0,05 mm Schwerpunktsverschiebung. Die entsprechenden Kurven sind in Fig. 5 zusammengestellt. Die die Stabilität angegebenden Werte wurden ebenfalls in Tabellenform gebracht, jedoch aus Ersparnisgründen nicht gebracht. Sie sind ohnehin in den Kurven der Schwerpunktsverschiebungen enthalten und verarbeitet.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Arbeiten aus der Botanischen Station in Hallstatt](#)

Jahr/Year: 1932

Band/Volume: [036](#)

Autor(en)/Author(s): Morton Friedrich

Artikel/Article: [Thermik und Sauerstoffverteilung im Hallstätter See. A. Die Thermik des Hallstätter Sees. Dritte Mitteilung. Wärmegehalt, Stabilität und Schwerpunktsverschiebungen in den Jahren 1928-1930, \(Aus der Botan. Station in Hallstatt Nr. 36\), Archiv für Hydrobiologie 1932 Bd. XXIV S. 509-517. 1-9](#)