Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1935)

Artikel: Der Gerzensee
Autor: Büren, G. v.
Kapitel: IV: Physikalische Eigenschaften des Gerzensee-Wassers
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319377

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: 10.12.2025

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

Wassernutzung durch das Elektrizitätswerk sollen die Spiegelschwankungen des Gerzensees wesentlich grösser gewesen sein, sie erreichten 1,4 m.

Die Wasserstandsschwankungen scheinen also seit der Betriebseinstellung des Elektrizitätswerkes wesentlich ausgeglichenere zu sein, und sich hierdurch wieder mehr den ursprünglichen Verhältnissen zu nähern, in denen der See durch eine einfache Schleuse, die im Mühlebach eingebaut war, reguliert wurde.

In wie weit sich die veränderten Verhältnisse auf den gesamten Wasserhaushalt ausgewirkt haben, namentlich im Hinblick auf eine weniger intensive Wassererneuerung, lässt sich jetzt nicht mehr feststellen. Vermutlich aber waren diese Veränderungen, sowohl physiographisch als auch biologisch nicht ohne Einfluss.

IV. Physikalische Eigenschaften des Gerzensee-Wassers

1. Die Farbe des Sees

Bekanntlich ist es in der Limnologie üblich, anhand einer Farbenskala die Seefarbe zu bestimmen. Auf diese Weise gelingt es bis zu einem gewissen Grad ein subjektives und einigermassen vergleichbares Resultat festzulegen. Für blaue Seen bedient man sich der Forel'schen Skala, für grüne und gelbe Gewässer hat ULE die FOREL'SCHE Skala entsprechend modifiziert. Die Farbe des Gerzensees nähert sich am meisten der Nr. XIII dieser Skala, sie ist als grün-gelb zu bezeichnen. Vorübergehend gab es jedoch Farbabweichungen, die auf keinen Ton in der Farbenskala passten. Die Grundfarbe des reinen Wassers ist blau, alle Umschläge nach grün, gelb, braun, rot sind entweder durch physikalisch-chemische oder biologische Faktoren bedingt. Diese Verhältnisse sind besonders von AUFSESS, BOURCART, KOLKWITZ und SPRING untersucht worden. Ebenso hat L. W. COLLET (8, S. 169—183) hierüber eine zusammenfassende, sehr übersichtliche Darstellung gegeben.

Besonders die im Wasser gelösten organischen Substanzen (Humusstoffe) haben die Eigenschaft, je nach der Menge ihres Vorhandenseins, dem Wasser eine grüne, gelbe oder braune Färbung zu verleihen. Zwischen Wasserfarbe und Oxydabilität der im Wasser gelösten organischen Substanzen bestehen Beziehungen. Es ist

üblich, die Menge Permanganat anzugeben, die nötig ist, um in 1 Liter Wasser die organischen Substanzen zu oxydieren. Nach KOLKWITZ braucht das Wasser blauer Seen höchstens 3 mgr Permanganat, braungelbe dagegen bis 30 mgr, Trinkwasser soll 6 mgr/l nicht überschreiten.

Ich habe nach dem von DUPARC und BASADONNA (12, p. 133 und 134) gegebenen Verfahren zu verschiedenen Zeiten die „organischen Substanzen" bestimmt, und dabei 18,66 bis 26,25 mgr Permanganat pro Liter gefunden. Demnach ist die Annahme durchaus berechtigt, dass die im Wasser gelösten organischen Substanzen die Farbe des Gerzensees ganz wesentlich beeinflussen. Die oben genannten Permanganatwerte würden unseren See bereits in die Gruppe der gelb-braunen Gewässer weisen, da KOLKWITZ für die grünen den Höchstwert von 14 angibt. Meines Erachtens spielen aber für die Färbung des Gerzensees die biologischen Faktoren sehr wesentlich mit, indem vorherrschende Plankter, wie z. B. *Uroglena volvox, Ceratium* u. a., die durch chemische Eigenschaften bedingten gelben Töne stark nach grün hin verschieben. Die Wasserfarbe deutet bereits darauf hin, dass wir es hier mit einem eutrophen (nährstoffreichen) Gewässer zu tun haben.

Auf dem Gerzensee habe ich auch Färbungen der Seeoberfläche durch massenhaft windverwehten Pollen („Schwefelregen") zur Zeit der Coniferenblüte, Ende Mai und Anfang Juni, beobachtet. Es handelt sich um eine allochton pleustische[7]) Erscheinung, die man als Seeblüte[8]) zu bezeichnen pflegt. Die Schwimmfähigkeit des Pollens bleibt tagelang erhalten, und so bildet er dann, angedriftet am Ufer, eine dicke, rahmartige Masse. Am Gerzensee war diese aus Pollen von *Picea* und *Pinus* zusammengesetzt, wobei der Fichtenpollen etwas vorherrschend war. Ausserdem fand sich aber in dieser, bereits etwas in Zersetzung übergegangenen Pollenmasse eine Menge von Infusorien, dies zeigt, dass die allochtone Seeblüte auch in biologischer Hinsicht eine gewisse Rolle spielen kann, indem sie zu einer Art Nährboden wird.

Auf die paläobotanische Bedeutung der Pollensedimentation werde ich bei der Untersuchung des Seebodens zurückkommen.

---

[7]) Pleuston = passiv an der Wasseroberfläche treibend.

[8]) Im Gegensatz zur echten Wasserblüte, die von Mikroorganismen gebildet wird, die zeitweise aus dem Plankton in die Oberflächenhaut treten, dem sog. Neuston.

2. Durchsichtigkeits-Bestimmungen

Die Durchsichtigkeitsbestimmungen, genauer die Bestimmung der Sichtbarkeitsgrenze, sind mit der Seccischeibe (Durchmesser 30 cm) gemacht. Um möglichst objektive und vergleichbare Resultate zu erzielen, wurde das Verschwinden der Scheibe stets im Schatten des Bootes beobachtet. Wir machten zu zwei Personen je drei Beobachtungen, von diesen sechs Ergebnissen nahm ich den Mittelwert als Beobachtungsresultat. Von grosser Bedeutung für die Durchsichtigkeitsbestimmungen sind die äusseren Umstände, unter denen die Beobachtungen gemacht werden, insbesondere die Windstärke, der Sonnenstand, sowie der Grad der Bewölkung. Ausserdem kommen noch Faktoren hinzu, die von der

Zusammenstellung über die Beobachtungen der Sichttiefe auf dem Gerzensee

Datum	Sichttiefe in Metern	Bewölkung
21. Oktober 1933	1,35	hell
23. November	1,00	bedeckt
22. Dezember	—	hell
— Januar 1934	—	—
12. Februar	1,95 unter Eis	hell
31. März	1,50	hell
16. April	1,35	hell
12. Mai	3,25	leicht bewölkt
16. Juni	0,43	hell
14. Juli	0,43	bedeckt
13. August	0,72	bedeckt
13. September	0,73	leicht bewölkt
19. Oktober	1,45	leicht bewölkt
17. November	1,00	bewölkt
10. Dezember	1,60	bewölkt
4. Januar 1935	2,35 unter Eis	bedeckt
12. Februar	2,70 unter Eis	hell
15. März	1,42	hell
— April	—	—
18. Mai	2,21	bedeckt
22. Juni	1,50	hell
20. Juli	0,96	bedeckt
— August	—	—
16. September	1,70	hell
23. Oktober	1,35	trüb, Regen

Natur des Sees selbst abhängen, wie Farbe, Planktongehalt und eingeschwemmte Schwebestoffe mineralischer oder organischer Art. Es ist natürlich schwer, die Wirkung dieser einzelnen Faktoren, die meist zusammenwirken, auseinander zu halten.

Die beigegebene Tabelle zeigt, dass die Sichttiefe im Zeitraum der Beobachtungen zwischen 0,43 und 3,25 m schwankte. Sie ist im allgemeinen also recht gering, im Mittel 1,47 m, und bleibt gegenüber den meisten Seen gleicher Grössenordnung des schweizerischen Mittellandes etwas zurück. Lützelsee 3—6 m, Lac de Bret (Kt. Waadt) 2—2,50 m, Katzensee (Kt. Zürich) 2,10—4,60 m. Dagegen hat der Lago di Muzzano im Tessin mit 0,70—1,00 m eine noch geringere Sichttiefe als der Gerzensee. Es gibt jedoch kleine Seen mit ganz bedeutender Sichttiefe, so z. B. der Blausee bei Kandersteg, dessen Wasser so klar ist, dass auf seinem 10 m tiefen Grund alle Einzelheiten zu erkennen sind. Die maximale Transparenz im Genfersee wurde von FOREL bei 21,50 m gefunden.

Beim Gerzensee tritt im Juni eine intensive Trübung ein, Ende August und im Laufe des September wird dann das Wasser wieder klarer.[9]) Im Winter, zur Zeit der minimalen Phytoplankton-Entwicklung, ist die Durchsichtigkeit im allgemeinen grösser als im Sommer. Anderseits darf nicht übersehen werden, dass Planktonmenge und Durchsichtigkeit keineswegs immer in direktem Zusammenhang stehen. Diese Tatsache, auf welche übrigens schon wiederholt hingewiesen worden ist, trifft auch für den Gerzensee zu. Dazu ist die Transparenzkurve Oktober 1934/35 auf der Kurventabelle II und die Planktonkurve 1934/35 auf Seite 70 zu vergleichen.

Die Durchsichtigkeit wird nicht allein von den Planktonorganismen, sondern auch von anderen Suspensionen, wie Pflanzendetritus und anorganischen Partikeln beeinflusst. FOREL (13, p. 429/30) hat darauf hingewiesen, dass für das Schweben oder Absinken der Suspensionen die Dichteverhältnisse der einzelnen Wasserschichten von wesentlicher Bedeutung sind. Im Sommer sind die Gewässer thermisch geschichtet. Die verschieden temperierten Wasserschichten zeigen dementsprechende Dichteunterschiede. Unter sol-

[9]) Das Eintreten und Abklingen der Trübung erfolgt regelmässig jedes Jahr ungefähr zur selben Zeit, wie mir ein Anwohner des Gerzensees, Herr ALFR. von MEURON, bestätigt hat.

chen Verhältnissen sind die Suspensionen im Wasser gleichmässig verteilt, da sie in der Schicht, die ihrem eigenen Gewicht am nächsten kommt, festgehalten werden. Im Winter ist die thermische, und damit auch die Stratifikation der Dichte, aufgehoben, oder nur sehr undeutlich, und die Suspensionen können absinken, das Gewässer klärt sich also.

Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, ist es durchaus verständlich, wenn Ende August und weiterhin im September, das Wasser des Gerzensees nach der maximalen sommerlichen Trübung, sich zu klären beginnt, ohne dass das Plankton quantitativ eine entsprechende Abnahme zeigt. In dieser Zeit hat bereits die Sommerzirkulation eingesetzt, was eine Umlagerung der obern Wasserschichten zur Folge hat.

Zu Beginn der intensiven Trübung im Juni beobachtete ich, dass die Farbe gelb-grün deutlich gegen milchig-weisslich hin verschoben war. Im Juni 1934 war dies besonders auffallend, im Juni 1935 etwas weniger. Diese milchig-weissliche Trübung dürfte auf die sogenannte biogene Entkalkung zurückzuführen sein. Es handelt sich dabei um die Auskristallisation von Kalziumkarbonat, bedingt durch den Entzug von Kohlensäure durch assimilierende Pflanzen, im speziellen Fall das Phytoplankton (vergl. Seite 63).

Die stark ins Gelbe spielende Farbe des Sees, sowie die Suspensionen toter organischer Substanzen, mögen auch noch bis zu einem gewissen Grad zu der geringen Durchsichtigkeit des Gerzensees beitragen. Dagegen scheint mir den mineralischen Suspensionen hier keine wesentliche Bedeutung beizukommen. Im Gerzensee aber ist das Plankton, namentlich das Phytoplankton,*) der die Durchsichtigkeit und Farbe am meisten beeinflussende Faktor.

3. Die thermischen Verhältnisse

Die Temperatur des Seewassers ist ein sehr wichtiger Faktor, nicht nur vom physikalischen, sondern auch vom chemisch-biologischen Gesichtspunkt aus betrachtet, weil sie sowohl die Löslichkeit der Nährstoffe, als auch der Gase wesentlich beeinflusst. Ausserdem auch eine Schichtung derselben herbeiführt. Im ersten Beobachtungsjahr, Oktober 1933 bis Oktober 1934, habe ich in der Regel monatlich je sieben Temperaturlotungen gemacht, und

*) Wobei mitunter das Nannoplankton eine ausschlaggebende Rolle spielen dürfte.

zwar in 0, 1, 2, 4, 6, 8 und 10 m. Diese Arbeit dauerte mindestens eine Stunde oder länger, da je nach Bedarf noch Zwischenlotungen eingeschaltet wurden. Im zweiten Beobachtungsjahr, Oktober 1934 bis Oktober 1935, erfassten die Temperaturlotungen im Hinblick auf die Entnahme von Wasserproben für die Sauerstoffbestimmung, die Tiefen 0, 1, 2, 5, 8, und 10 m, ebenfalls mit zahlreichen Zwischenlotungen. Die Temperaturmessungen sind mit dem Friedinger'schen Tiefenthermometer[10]) ausgeführt worden. FOREL hat die Seen nach ihren thermischen Verhältnissen in tropische, gemässigte und polare eingeteilt. In ersteren sinkt die Temperatur niemals unter 4° C, hierher gehören unsere grossen Alpenrandseen, wie z. B. Thuner- und Brienzersee. Die Temperatur der polaren Seen steigt nie über 4°. In den gemässigten Seen, zu denen auch der Gerzensee gehört, bleiben die Wassertemperaturen zu gewissen Jahreszeiten unter 4°, um in anderen über diese Grenze zu steigen. Im gemässigten Seetypus liegt im Sommer wärmeres Wasser über kälterem, im Winter dagegen kälteres über wärmerem, die sogenannte „direkte Schichtung" weicht dann der „verkehrten Schichtung". Dieser Schichtwechsel, der auf der Tatsache beruht, dass bei 4° C das Wasser seine grösste Dichte hat, ist mit einer Wasserbewegung verbunden, die biologisch von grösster Bedeutung ist.

Im Temperaturgang lassen sich nun im Verlauf eines Jahres verschiedene Perioden unterscheiden. Die Erwärmung von 4° C bis zum Jahresmaximum dauert im Gerzensee durchschnittlich von Januar oder Februar bis Juli, es ist die Periode der sogenannten Sommerstagnation, in diesem Zeitraum ist immer das leichteste Wasser oben, eine Zirkulation kann deshalb nicht stattfinden. Ende Juli kommt die Erwärmung des Sees zum Stillstand. Es folgt nun die Periode der Abkühlung — die Sommerteilzirkulation, während welcher das an der Oberfläche abgekühlte Wasser bis zu Schichten gleicher Dichte absinkt. Sie findet ihren Abschluss mit der herbstlichen Temperaturgleiche, die im November erreicht wird. Zum Verlauf der Sommerteilzirkulation im Gerzensee sind noch folgende Einzelheiten zu erwähnen.

Der August hat vorübergehend noch hohe Oberflächen-Tempera-

[10]) Der FRIEDINGER'SCHE Tiefenthermometer Nr. 1411, aus Normalglas, in $^1/_5$ Grad C geteilt, vom Eidg. Amt für Mass und Gewicht im Mai 1933 geprüft, hat während der ganzen Beobachtungsdauer tadellos funktioniert.

turen. Die oberen Schichten bis zu 5 und 6 m Tiefe hin, weisen dagegen sowohl im August wie im September und Oktober bereits eine merkliche Abkühlung auf, während die tieferen Schichten sich noch weiter etwas erwärmen. Die Höchsttemperatur auf dem Seegrund wird im Oktober erreicht, und im November erscheint die Temperaturschichtung fast vollständig aufgehoben. Damit hat die ganze Wassermasse im See die gleiche Temperatur erreicht, und jetzt muss weiter sich abkühlendes Oberflächenwasser alle Schichten durchsinken, da es schwerer ist. Nunmehr hat die Herbst-Vollzirkulation eingesetzt, sie dauert bis das ganze Seewasser die Temperatur von 4° C erreicht hat.

Je nach den Witterungsverhältnissen dauert die Periode der Herbst-Vollzirkulation im Gerzensee von November bis Mitte Dezember oder Januar. Im Jahre 1933 herrschte schon von Anfang Dezember an Frostwetter mit Nordwind (Bise), so dass um die Monatsmitte die Herbst-Vollzirkulation bereits ihr Ende erreicht haben musste. Die nun beginnende Winterstagnation, während welcher das nunmehr unter 4° C abgekühlte Wasser an der Oberfläche bleibt, hat also im Winter 1933/34 von Mitte Dezember bis gegen Ende Februar gedauert. Hier schliesst sich die Winter-Teilzirkulation an, in der das kalte Oberflächenwasser sich erwärmt, dadurch wieder schwerer wird, und infolgedessen in tiefere Schichten absinken muss, bis der ganze See die Temperatur des Tiefenwassers erreicht hat. Das frühere oder spätere Eintreffen derselben ist von klimatischen Einflüssen stark abhängig. Im Winter 1933/34 müssen sich die beiden letztgenannten Perioden im Gerzensee Ende Februar in rascher Folge ereignet haben.

Im Winter 1934/35 haben die thermischen Verhältnisse einen wesentlich andern Verlauf genommen. Der Dezember 1934 war relativ mild, die mittlere Monatstemperatur war 4,0° C*), gegen — 4,2° C*) im Vorjahre. In diesem Winter ist die Hauptmasse des Wassers nie ganz auf die Temperatur von 4° C gesunken, infolgedessen ist die Herbst-Vollzirkulation, ohne ihr Ende vollständig erreicht zu haben, in die Sommerstagnation übergegangen. Milde Winter können also den Ausfall der Winterstagnation und der Frühlingszirkulation herbeiführen.

*) Diese Zahlen verdanke ich dem Metereologischen Observatorium der Universität Bern.

Zu gleicher Zeit mit den Temperaturlotungen im grossen Seebecken habe ich auch solche im kleinen vorgenommen. Die Messungen umfassten die Monate März, Mai, Juni, Juli, September, Oktober und November. In sämtlichen Messungen waren die Oberflächentemperaturen im untiefen, mehr geschlossenen kleinen Bekken dieselben wie im grossen. Dagegen waren die Grundtemperaturen (in 5 m) im kleinen Becken nicht immer entsprechend den Fünfmeter-Temperaturen im grossen Becken. In der beifolgenden Tabelle sind die gefundenen Temperaturdifferenzen für die einzelnen Monate zusammengestellt.

III	V	VI	VII	IX	X	XI
− 2,6°	+ 1,1°	+ 2,7°	+ 1,3°	+ 0,2°	0°	0°

Im Mai, Juni und Juli ist also die Wasserdurchwärmung nach der Tiefe hin im kleinen Becken etwas grösser. Für die relativ grosse Verzögerung der Erwärmung des Tiefenwassers im März kann ich vorläufig keine Erklärung geben.

Werfen wir jetzt noch einen Blick auf die einzelnen Temperaturkurven,[11]) so fällt zunächst einmal auf, wie ausserordentlich rasch der Temperaturanstieg im Frühjahr zu Anfang der Sommerstagnation in den oberen Schichten des Sees erfolgt. Am 31. März 1934, drei Tage nach Eisbruch, bewegten sich die Oberflächentemperaturen bereits zwischen 8° und 9° C. Dies zeigt deutlich, wie schon unter der Eisdecke eine merkliche Erwärmung stattfinden kann. Die Durchlässigkeit für Wärmestrahlung des Eises beträgt zirka 6 %. Im Frühjahr 1935 betrugen die Oberflächentemperaturen am 15. März 4,4—5,0° C, am 30. des gleichen Monats schon 8,5° C. Auch in den Monaten April, Mai und Juni steigen die Oberflächentemperaturen weiterhin rasch an, wie das allgemein in Seen zu beachten ist. Um so auffallender ist dagegen das sehr langsame Ansteigen der Grundtemperaturen, und zwar um so mehr, als es sich beim Gerzensee um ein sehr wenig tiefes Gewässer handelt (maximale Tiefe 10 m; mittlere Tiefe 1,7 m!).

Wie sich die Erwärmung der obersten Wasserschichten (1 bis 10 m) in einem grossen oligotrophen Alpenrandsee vollzieht, geht

[11]) Die Tagesdaten zu den monatlichen Temperaturkurven entsprechen denen in der Tabelle der Sichttiefe auf Seite 40.

aus der beifolgenden Tabelle hervor. Das Zahlenmaterial betrifft den Vierwaldstättersee, speziell die von AMBERG (1, p. 91) im Gersauerbecken über 190—210 m Tiefe vorgenommenen Messungen aus dem Jahre 1899.

Monat	IV	V	VI	VII	VIII
0 m	8,7	12,5	16,2	19,2	20,2
5 m	7,4	9,6	12,6	14,4	18,4
10 m	7,0	9,1	12,3	13,0	14,4
Temperaturdifferenz zwischen 0 und 10 m					
	1,7	3,4	3,9	6,2	5,8

Gang der Oberflächentemperaturen im Vierwaldstättersee (Gersauerbecken) nach Amberg

Ziehen wir jetzt noch die thermischen Verhältnisse des von CH. LINDER (25) und von E. MEYER (28) untersuchten Lac de Bret bei Chexbres in 673 m ü. M. zum Vergleich heran, so finden wir hier ein Gewässer ungefähr gleicher Grössenordnung, aber mit, sowohl maximaler als namentlich auch mittlerer, grösserer Tiefe (18 m maximale Tiefe und 10 m mittlere Tiefe) als der Gerzensee.

Der Verlauf der Oberflächentemperaturen ist in beiden Seen im grossen und ganzen übereinstimmend, auch ihre Maxima werden im Juli mit 24—25° C erreicht. Im tieferen Lac de Bret steigen aber die Grundtemperaturen rascher und höher an, erreichen auch ihr Maximum mit 18,5° C einen Monat früher als im bedeutend flacheren Gerzensee mit nur 9,8° C (Mittelwert aus drei Beobachtungsjahren). Bemerkenswert ist noch die Tatsache, dass das Grundwasser des tieferen Lac de Bret sich dann auch rascher abkühlt und im November bereits auf 5° C heruntergeht, während dasjenige des Gerzensees noch 7,0° C aufweist. Die Einzelheiten sind aus der beifolgenden Tabelle ersichtlich.

Monat	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.
Gerzensee	4,4°	5,1°	7,1°	8,2°	8,7°	8,4°	9,7°	9,8°
Lac de Bret	6,5°	7,0°	8,0°	10,5°	16,0°	13,7°	18,5°	13,7°
Differenz	2,1°	1,9°	0,9°	2,3°	7,3°	5,3°	8,8°	3,9°

Grund-Temperaturen

Ueber das Temperaturgefälle, welches bei den beiden in Frage stehenden Gewässern herrscht, gibt die nachstehende Tabelle Auskunft.

Monat	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.
Gerzensee Temperaturgefälle zwischen 0 und 10 m	2,4°*	11,1°	8,4°*	13,6°*	15,5°*	12,6°	10,2 *	4,5°*
Lac de Bret Temperaturgefälle zwischen 0 und 18 m	3,5°	2,5°	1°	10°	9°	10°	3°	1°

Temperatur-Gefälle zwischen Oberfläche und Grund

Diese Vergleiche bestätigen die auffallende Langsamkeit, mit welcher sich der Gerzensee, trotz seiner geringen Tiefe, während der Sommerstagnation zum Grunde hin erwärmt.

Als Ursache für die relativ niedrigen Grundtemperaturen in den kleinen, flachen Gewässern kommen namentlich die folgenden Punkte in Frage:

1. Die Zuflüsse.
2. Sublacustre Zuflüsse.
3. Lage und Form des Seebeckens in bezug auf die vorherrschende Windrichtung.

Was den ersten Punkt betrifft, so ist zu sagen, dass im allgemeinen die Zuflüsse auf den Temperaturgang eines Sees nur geringen Einfluss haben. Die Zuflussmenge ist im Verhältnis zur Wassermenge im See meist gering. Ausserdem sind zwischen Seewasser und Zuflüssen die Temperaturunterschiede nicht sehr bedeutend. Ist das Wasser der Zuflüsse kälter als das Oberflächenwasser des Sees, so sinkt es in die Tiefe, um die Wasserschicht gleicher Dichte aufzusuchen. Ein merklicher Einfluss auf die thermischen Verhältnisse des gesamten Sees durch die Zuflüsse könnte sich nur dann geltend machen, wenn die zugeführte Wassermasse so bedeutend ist, dass das Wasser des Seebeckens in kurzer Zeit vollständig erneuert wird.

Bei sublacustren Zuflüssen liegen die Dinge wesentlich anders. Das Wasser solcher Zuflüsse, von einer Quelle oder Grundwasser herrührend mit sehr konstanter Temperatur, wird in eine Seewasserschicht von abweichender Temperatur hineinquellen, was

*) Mittelwert aus zweijährigen Beobachtungen.

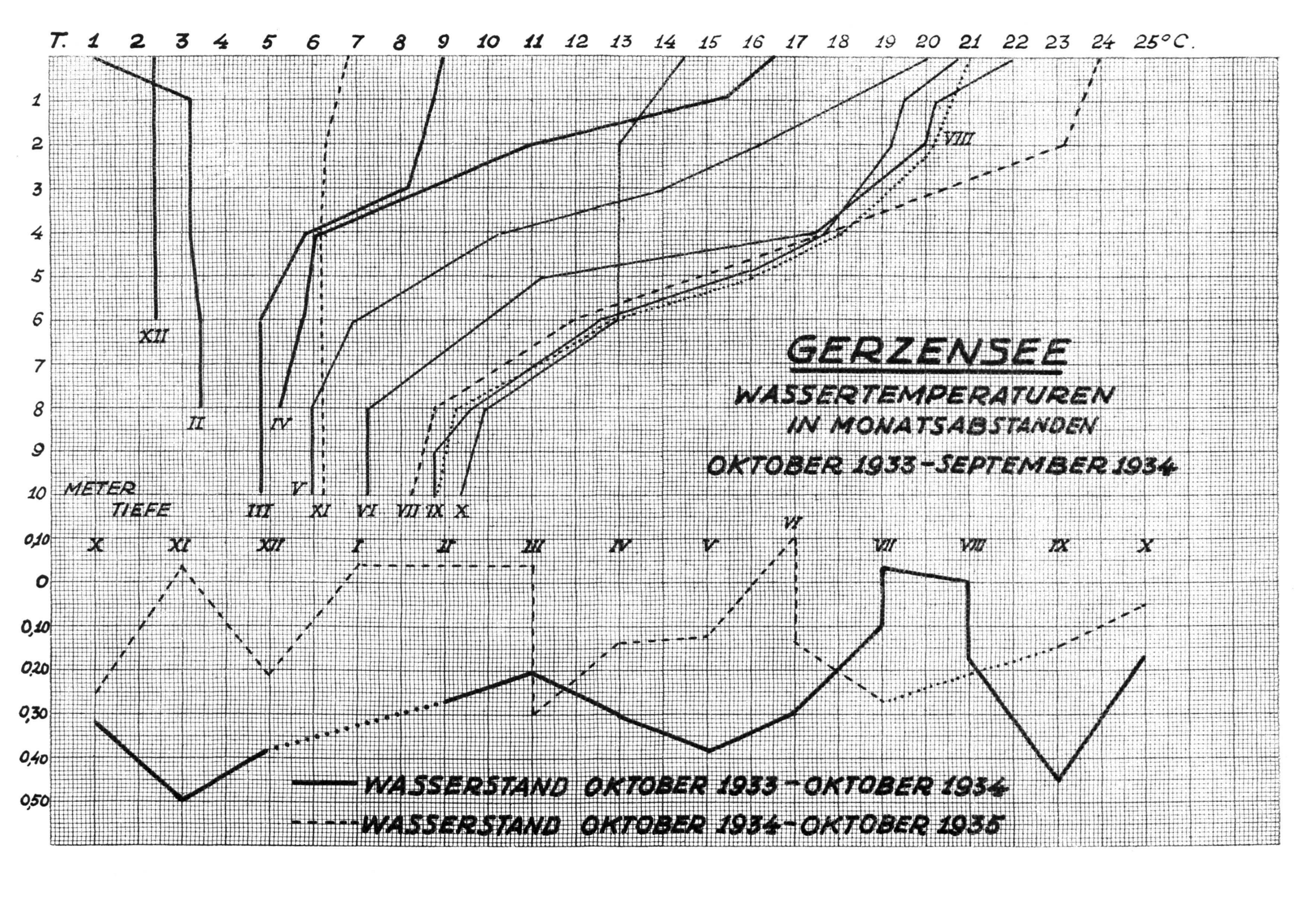
zu einer anormalen Erwärmung oder Abkühlung des Tiefenwassers führen muss.

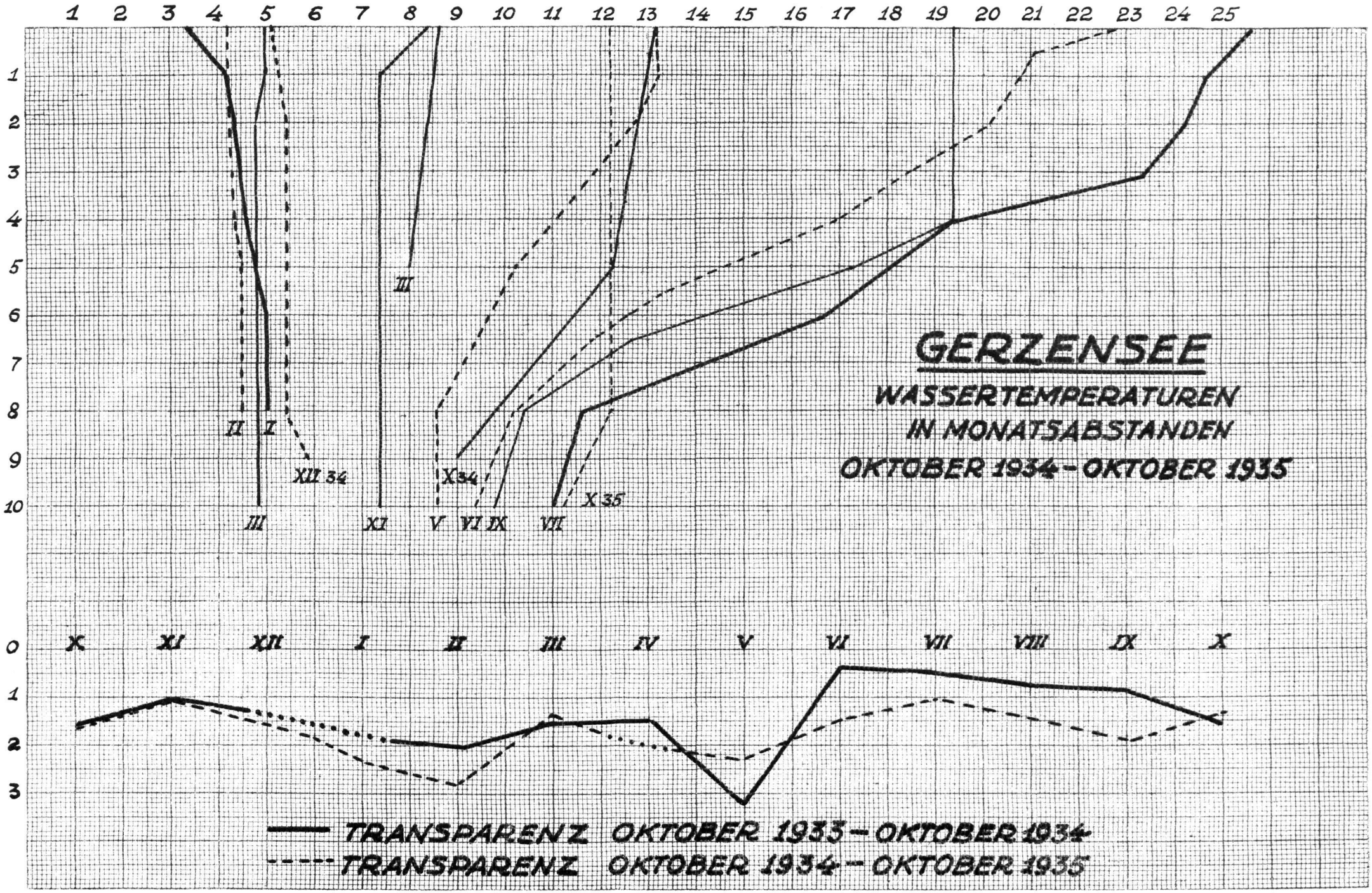
Je nach der Form und Lage eines Seebeckens, können die durch den Wind hervorgerufenen Strömungen (Wasserversetzungen) sich zu grösserer oder geringerer Stärke entfalten. Wind, der über einen See streicht, löst bekanntlich zwei Strömungen aus, die eine an der Oberfläche in der Windrichtung, die andere in der Tiefe in entgegengesetzter Richtung. Am Ufer, auf welches der Wind zuweht, wird Wasser angestaut, während die rückläufige Unterströmung das Gleichgewicht in der Wassermasse wieder herstellt. Diese Strömungen tragen sehr wesentlich zu der Durchmischung des Oberflächen- mit dem Tiefenwasser bei, und zwar ist die Durchmischung um so vollkommener, je kräftiger die Strömungen ausgebildet sind. In grossen, und namentlich in der Richtung der vorherrschenden Winde langgestreckten Seen, können sie sehr intensiv werden, während sie in kleinen Gewässern naturgemäss immer bedeutend schwächer und weniger ausgeprägt bleiben werden. In kleinen Seen in mehr oder weniger windgeschützter Lage, werden überhaupt keine Strömungen mehr ausgelöst, die für die Wasserdurchmischung von Bedeutung sind. Hier bleibt die aufgenommene Wärme zunächst in den oberen Wasserschichten, um infolge des schwachen Wärmeleitungsvermögens des Wassers, nur äusserst langsam auf die unteren Wasserschichten übertragen zu werden. Besonders A. DELEBEQUE (10, p. 150/153) hat, gestützt auf zahlreiche vergleichende Untersuchungen und thermische Messungen auf den Zusammenhang hingewiesen, der zwischen Form und Lage eines Sees und den thermischen Verhältnissen seines Tiefenwassers bestehen kann.

Unter anderem stützt er seine Ansicht auf die Verhältnisse verschiedener kleiner Seen im französischen Jura, deren Thermik von MAGNIN (26, 27, p. 57/58, 67/68, 110/111) untersucht worden war. Ich führe hier die drei folgenden Beispiele an:

	Max. Tiefe	Meter üb. Meer	Grösse	Oberfl. Temp.	Grund Temp.	Datum
Lac de Bar	22 m	238	6 ha 37 a	25,2° C*)	5,3° C	7. IX. 1895
Lac de Chavoley	17 m	330	14 ha 60 a	24,2° C	6,9° C	27. VIII. 1897
Petit Lac de Clairvaux	16 m	535	17 ha	18,0° C	7,3° C	17. VI. 1895

*) Das starke Temperaturgefälle beginnt bei 5 m Tiefe.


T. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25°C.
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
METER
TIEFE
XII
II
IV
V
III
XI
VI
VII
IX
X
VIII
GERZENSEE
WASSERTEMPERATUREN
IN MONATSABSTANDEN
OKTOBER 1933 - SEPTEMBER 1934
0,10
0
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
X
XI
XII
I
II
III
IV
V
VI
VII
VIII
IX
X
WASSERSTAND OKTOBER 1933 - OKTOBER 1934
WASSERSTAND OKTOBER 1934 - OKTOBER 1935


GERZENSEE
WASSERTEMPERATUREN
IN MONATSABSTANDEN
OKTOBER 1934 - OKTOBER 1935
TRANSPARENZ OKTOBER 1933 - OKTOBER 1934
TRANSPARENZ OKTOBER 1934 - OKTOBER 1935
X XI XII I II III IV V VI VII VIII IX X
II I III XII 34 XI V VI IX VII X 34 X 35

Als Ursache für die abnormal tiefen Grundtemperaturen des Gerzensees fallen die Oberflächenzuflüsse nicht in Betracht. Sublacustre Zuflüsse können schon eher in Frage kommen; wenn auch ihr Vorhandensein nicht unbedingt abgestritten werden kann, so ist es mir bis jetzt doch nicht gelungen, solche nachzuweisen. Die ausgeprägte thermische und chemische Schichtung des Sees während der Sommerstagnation scheint mir auch gegen einen starken Wasserzustrom vom Grunde her zu sprechen. Ich bin am ersten geneigt, die relativ niedrige Grundtemperatur im Gerzensee ebenfalls auf eine geringe Wasserdurchmischung zurückzuführen. Der See liegt mit seiner N-S gerichteten Längsachse in einer Mulde eingebettet, welche durch die Höhen des Belpberges geschützt, fast vollständig im Windschatten der vorherrschenden W-Winde liegt.

4. Vereisung

Sobald die Herbst-Vollzirkulation ihrem Abschluss entgegengeht, und damit die ganze Masse des Seewassers auf 4° C abgekühlt ist, kommt der See alsbald in den Zustand der „Gefrierbereitschaft". Es braucht dann nur wenige klare, kalte Nächte, damit die Oberflächentemperatur 0° erreicht, und die Bildung einer zunächst dünnen Eisdecke möglich ist. Ihre Dicke ist in den ersten Tagen einige Millimeter, nimmt aber in der Folge rasch zu, vorausgesetzt natürlich, dass die Frostperiode andauert. Auf dem Gerzensee habe ich Eisdecken von 16—23 cm gemessen. Was die Struktur des Eises anbetrifft, so ist zu sagen, dass es zunächst, von einigen eingeschlossenen Luftblasen abgesehen, glasklar und von muscheligem Bruch ist. Im Verlauf einiger Wochen findet unter dem Einfluss der Luft und des Wassers eine Veränderung statt, die dahin führt, dass es in Bündel feiner Nadeln zerfällt, die dem Eise eine stäbchenförmige Struktur[12]) verleihen, „g'stäblet", wie es im Volksmund treffend bezeichnet wird. Diese innere Auflockerung ist auch der Grund, weshalb das Eis am Ende der Frostperiode bedeutend weniger fest ist. Die äussere Beschaffenheit des Eisfeldes wird von den Witterungsverhältnissen stark beeinflusst. Bei kaltem, klarem Wetter kann sie spiegelglatt und durchsichtig sein, aber schon vorübergehendes Tauwetter, ver-

[12]) Eine sehr eingehende Struktur-Beschreibung des Eises findet sich bei ARNOLD-ALABIEFF (2).

bunden mit Regen- oder Schneefall, geben dem Eisfeld eine rauhe, körnige Oberfläche. Weithin verlaufende Spalten durchsetzen die Eisdecke, welche auf die Kontraktion derselben zurückzuführen sind. Das „Arbeiten" des Eises macht sich auch hier durch ein dumpfes Rollen, das in ein klirrendes Geräusch ausklingt, bemerklich.

Leider liegen für den Gerzensee über die Dauer der Eisbedekkung keine fortlaufenden Aufzeichnungen vor. Im Winter 1933/34 ist der See am 14. Dezember zugefroren und war erst am 28. März wieder eisfrei, die Eisbedeckung hatte somit 77 Tage gedauert. Im Winter 1934/35 erfolgte die Uebereisung est am 3. Januar, am 28. Februar, also nach 57 Tagen, war das Eis verschwunden.

Fortlaufende Aufzeichnungen über den Zeitpunkt des Gefrierens und Auftauens eines Sees geben ein wertvolles Material zur Vergleichung der Witterungsverhältnisse verschiedener Winter, speziell auch zur Beurteilung, ob sie einen strengen oder milden Charakter hatten. Wenn auch bei kleinen Gewässern diesen Verhältnissen nicht die gleiche Bedeutung zukommt wie bei grösseren, so habe ich doch die Absicht, die Dauer der Eisbedeckung weiterhin zu verfolgen. Der Eisverschluss beginnt meist im südöstlichen, kleinen Becken, das eine geringere Tiefe aufweist als das grosse, tiefere, welches 1—2 Tage später vereist.

Endlich sei noch erwähnt, dass der früher regelmässig geübte Brauch, auf dem Gerzensee Eis zu brechen, heute infolge der veränderten wirtschaftlichen Verhältnisse ganz unterbleibt.

In biologischer Hinsicht kann eine lange Eisbedeckung nachteilig werden, wie THIENEMANN (44) für gewisse norddeutsche Seen (Krummensee und Ukleisee) nachgewiesen hat. Die Eisdecke verhindert eine genügende Belichtung, und ausserdem kann in gewissen Fällen (sehr starke Zersetzung) vom Tiefenschlamm aus eine O_2-Zehrung eintreten, die sich bis ins freie Wasser und sogar bis unter das Eis geltend machen kann. Ein solcher Zustand wird unter Umständen für die Fische verhängnisvoll. Im Gerzensee konnte ich leider unter Eis keine O_2-Bestimmungen ausführen (vergleiche Seite 60), jedoch haben weder ich noch andere Beobachtungen gemacht, die auf einen hochgradigen O_2-Rückgang im übereisten See hinweisen. Ausserdem habe ich O_2-Messungen in einem See von gleichem Typus (Amsoldingersee) gemacht, wo unter Eis im gesamten Seewasser kein O_2-Schwund nachzuweisen war.

5. Eislöcher

Beim Zufrieren des Sees beobachtet man zuweilen sogenannte Eislöcher, d. h. Stellen, die eisfrei bleiben, um sich erst später zu schliessen. Diese eisfreien Stellen sollen dem Volksglauben nach, auf das Vorhandensein warmer Quellen zurückzuführen sein. Absolute Thermen sind hier als Ursache der Eislöcher von vornherein ganz abzulehnen, dagegen wären relative Thermen, d. h. Auftrieb von Grundwasser, nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen. Temperaturmessungen schienen mir zur Abklärung dieser Frage am geeignetsten. Im Januar 1935 hatte ich denn auch Gelegenheit, in einem solchen natürlichen Eisloch Temperaturlotungen vorzunehmen. Trotz des ausserordentlich empfindlichen Thermometers ($^1/_5{}^0$-Teilung) gelang es mir aber nicht, Anhaltspunkte für das Vorhandensein von Grundwasser-Auftrieb zu erhalten. Vergleichslotungen in besonders hergestellten Eislöchern ergaben genau die gleichen Temperaturen. Möglicherweise sind diese Löcher ganz einfach als letzter Tummelplatz von Wasservögeln vor der vollständigen Vereisung anzusehen, dort entleerte Faekalien würden dazu beitragen, die Eisbildung etwas zu verzögern.

Der sichere Nachweis von Grundwasserzuflüssen in den Gerzensee ist mir also durch thermometrische Messungen nicht gelungen. Trotzdem bleibt ihr Vorhandensein sehr wahrscheinlich.

Grund- und Quellwasseraustritte könnten möglicherweise noch auf einem ganz anderen Wege festgestellt werden, nämlich durch den Nachweis von sogenannter Quellkreide. Diese entsteht als anorganische Ausflockung beim Austritt kalten Quellwassers in das wärmere Seewasser. LENZ (24), GAMS und NORDHAGEN (16, p. 38/39 und p. 61/62). Dazu wäre allerdings eine systematisch durchgeführte Auslotung des Seebodens vermittelst dem Rohrlot notwendig.

V. Die chemischen Eigenschaften des Gerzenseewassers

A. Allgemeines

Die chemische Zusammensetzung des Seewassers ist abhängig von derjenigen der Zuflüsse. Das Wasser der Zuflüsse hinwiederum ist in seinem Chemismus durch die geologische Natur