

Bericht Nr. 5

**Die Temperatur-
und Sauerstoffverhältnisse
des Bodensees
(Ober- und Untersee)
in den Jahren 1961 bis 1963**

Gesamtherstellung: Oertel & Spörer, Reutlingen
Klischees: Graphische Kunstanstalt E. Sautter, Reutlingen

Vorwort

Das Wissen um die Veränderungen, die im Bodensee im Laufe der letzten Jahrzehnte vorstatten gegangen sind, hat die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee veranlaßt, in den Jahren 1961 bis 1963 intensive chemische und biologische Untersuchungen der Freiwasserzonen des Obersees und des Untersees durchführen zu lassen, damit der gegenwärtige Zustand des Sees in möglichst vielen Einzelheiten exakt bekannt würde. Außerdem sollte dadurch festgestellt werden, welche weiteren Arbeiten in der Folgezeit erforderlich sind, um die Entwicklung des Sees weiterhin zu überwachen.

Das Untersuchungsprogramm wurde von den Sachverständigen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee aufgestellt. Mit der Durchführung wurden die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der ETH, Zürich, und die Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz beauftragt. Außerdem wurde zur Auswertung der Ergebnisse die Landesstelle für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung Baden-Württemberg herangezogen.

In ihrer Sitzung vom 22. April 1964 in Neuchâtel beauftragte die Kommission die mit der Untersuchung betrauten Institute, einen ersten Teilbericht, der die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des gesamten Bodensees umfaßt, zu erstellen.

Dieser Bericht wurde der Kommission auf der Sitzung vom 20. Mai 1965 in Herrenchiemsee vorgelegt und von dieser gebilligt. Die Kommission beauftragte zugleich die Bearbeiter unter Mitwirkung des Redaktionsausschusses den vorgelegten Text als „Bericht Nr. 5 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee“ zur Veröffentlichung fertigzustellen.

Einleitung

Bei den Untersuchungen im Zeitraum April 1961 bis März 1963 handelte es sich im einzelnen um Messungen und Probenahmen, die an je fünf Untersuchungsorten im Ober- und Untersee in Vertikalprofilen mit einheitlich festgelegten Entnahmetiefen in regelmäßigen monatlichen Abständen durchgeführt wurden. Das Untersuchungsprogramm umfaßte folgende Kriterien:

- Sichttiefe
- Wassertemperatur
- Geruch
- pH-Wert
- Spezifische Leitfähigkeit
- Sauerstoff
- Sauerstoffsättigung
- Biochemischer Sauerstoffbedarf
- Kaliumpermanganatverbrauch
- Nitrat-Stickstoff
- Nitrit-Stickstoff
- Ammonium-Stickstoff
- Kjeldahl-Stickstoff
- Gesamt-Stickstoff
- Phosphat-Phosphor
- Gesamt-Phosphor
- Kieselsäure
- Freie Kohlensäure
- Karbonathärte
- Gesamthärte
- Chloride
- Eisen
- Mangan
- Zooplankton, qualitativ und quantitativ
- Phytoplankton, qualitativ und quantitativ
- Gesamtkeimzahl
- Escherichia coli, quantitativ.

Die Untersuchungen wurden nach den von den Sachverständigen der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee festgelegten einheitlichen Methoden durchgeführt. Für die Probeentnahmen und Messungen standen die Forschungsboote „August Thienemann“ der Anstalt für Bodenseeforschung und „Kormoran“ des Staatlichen Institutes für Seenforschung und Seenbewirtschaftung Langenargen zur Verfügung.

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse erstreckt sich aus folgenden Gründen zunächst auf die Temperatur- und Sauerstoffwerte:

Die Temperaturverhältnisse eines Sees werden im allgemeinen durch seine Morphologie, d. h. durch seine Größe und unterseeische Gestalt, ferner durch das Klima bestimmt. Diese Faktoren legen den Verlauf der jährlichen Wärmedynamik eines Seebeckens in großen Zügen fest. Bei Seen der gemäßigten Klimagebiete haben dabei die in einem regelmäßigen Jahreszyklus verlaufenden Schichtungs- und Zirkulationsverhältnisse einen entscheidenden Einfluß auf Chemismus und Lebensvorgänge. Der generelle Verlauf der Temperaturentwicklung eines Sees während eines Jahreszyklus, die theoretischen Grundlagen hierzu sowie die Temperaturverhältnisse im Obersee ganz allgemein sind im „Bericht Nr. 1“ der Internationalen

Gewässerschutzkommission für den Bodensee zusammengestellt und brauchen hier nicht mehr geschildert zu werden.

Der Temperaturgang und damit auch die Schichtungs- und Zirkulationserscheinungen wechseln jedoch in gewissen Einzelheiten von Jahr zu Jahr entsprechend den besonderen Witterungsverhältnissen. Es ist zur Beurteilung chemischer und biologischer Befunde unerlässlich, die jeweiligen Besonderheiten der Temperaturverhältnisse heranzuziehen. Aus diesem Grunde wurde im Hinblick auf die Diskussion der Sauerstoffverhältnisse sowie weitere beabsichtigte Auswertungen der chemischen und biologischen Befunde auf eingehende Darlegung der Temperaturverhältnisse in den Jahren 1961 bis 1963 Wert gelegt.

Für den Untersee waren auch die allgemeinen Temperaturverhältnisse bisher nicht in dem erforderlichen Ausmaß bekannt. Sie sind deshalb schwieriger zu überblicken, weil lokale Besonderheiten, wie starke Windtätigkeit, Strömungen oder eine rasche Durchflutung usw. sich in einzelnen Becken unterschiedlich auswirken und die Thermik nicht unwesentlich verändern. Daher mußte bei den Untersee-Untersuchungen besonderer Wert auf Erfassung lokaler Unterschiede in den einzelnen Teilen des Sees gelegt werden und dies bei der Darstellung der Verhältnisse in den Vordergrund gerückt werden.

Der Sauerstoffgehalt eines Sees ist eine Größe, welche von einer ganzen Reihe von Faktoren beeinflusst werden kann. Er ist kein Primärfaktor wie die Mineralkomponenten, z. B. die Nährstoffe, sondern das jeweilige Endprodukt mancher einander überlagernder, sich summierender oder subtrahierender chemischen und biologischen Vorgänge und sollte deshalb eigentlich erst dann betrachtet werden, wenn man sich mit der Nährstoffsituation und den biologischen Verhältnissen eines Sees auseinandergesetzt hat. Da aber der Sauerstoffgehalt nicht nur als letztes Glied einer Reaktionskette angesehen werden kann, sondern auch als Indikator für den jeweiligen Trophiezustand des Sees, erscheint es gerechtfertigt, daß er hier unter den chemischen Komponenten zuerst behandelt wird.

Der Sauerstoffgehalt unterliegt folgenden Einflüssen:

- a) Während der Zirkulationszeit stellt sich der natürliche, von der Temperatur abhängige Sättigungsgehalt ein.
- b) Die Pflanzen (Makrophyten und pflanzliches Plankton) produzieren während ihrer Assimilationstätigkeit Sauerstoff.
- c) Sämtliche Organismen verbrauchen zur Atmung Sauerstoff.
- d) Der mikrobielle Abbau der Schmutzstoffe aus den Abwässern benötigt Sauerstoff.
- e) Der Abbau des abgestorbenen Planktons in der Seetiefe beansprucht große Mengen von Sauerstoff.

Diese Faktoren beeinflussen den Sauerstoffgehalt in verschiedenem Maße; ihre Bedeutung wechselt von Jahreszeit zu Jahreszeit und von Seeteil zu Seeteil. Insbesondere nehmen die unter b) bis e) erwähnten Einflüsse mit steigendem Trophiegrad zu und beeinflussen damit den Sauerstoffhaushalt des Sees entscheidend.

Es ist beabsichtigt, mit den hier vorliegenden Berichten eine möglichst vollständige Dokumentation der Untersuchungsdaten der Temperatur- und Sauerstoff-Meßwerte zu geben, auf die bei der weiteren Auswertung der Untersuchungen sowie bei späteren Arbeiten zurückgegriffen werden kann. Neben der tabellarischen Darstellung der Untersuchungsdaten wurden die Ergebnisse vorwiegend in Form von Isoplethen aufgezeichnet. (In einem Zeit-Wasser-

tiefe-Koordinatensystem werden die Punkte gleicher Temperatur bzw. gleichen Sauerstoffgehaltes miteinander zu Kurven verbunden. Die Kurven lassen auf diese Weise den zeitlichen Verlauf der Temperatur- und Sauerstoffverteilung innerhalb des Wasserkörpers erkennen.) Aus den geschilderten Gründen erschien es bei der Auswertung des Materials der Temperatur- und Sauerstoffdaten des Ober- und Untersees zweckmäßig, eine Aufgliederung vorzunehmen in die Abschnitte „die Temperaturverhältnisse des Bodensee—Obersees“, „die Sauerstoffverhältnisse des Bodensee — Obersees“ und „die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse des Bodensee — Untersees“.

**Die Temperaturverhältnisse des Bodensee-Obersees
in den Jahren 1961 bis 1963**

Bearbeiter: Richard Muckle

1. Einleitung, Untersuchungsorte und Methodik

Während der Seejahreszyklen 1961/62 und 1962/63 wurden im Auftrage der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee im Zusammenhang mit umfangreichen limnologischen Arbeiten in der pelagischen Zone des Bodensee-Obersees einschließlich Überlinger See Temperaturmessungen an folgenden Orten durchgeführt:

<i>Ort, Vertikalprofil Nr.:</i>	<i>Tiefe:</i>	<i>Bearbeitung:</i>
Lindau-Rohrspitz, Seemitte (05)	0 — 60 m	Eidgen. Anstalt f. Wasserversorgung, Abwasserreinigung u. Gewässerschutz an der ETH Zürich
Langenargen-Arbon, Seemitte (06)	0 — 200 m	„ „
Fischbach-Uttwil, Seemitte (03)	0 — 250 m	Anstalt f. Bodenseeforschung der Stadt Konstanz
vor Wasserwerk Konstanz (01)	0 — 60 m	„ „
vor Süßenmühle (02)	0 — 60 m	„ „

Die Untersuchungspunkte 06 und 03 lagen in der Freiwasserregion in Seemitte des mittleren Obersees, die Punkte 05, 01 und 02 befanden sich mehr in der Region der Seehalde, 05 am Eingang der Bregenzer Bucht im Osten des Sees, 01 am Beginn des Überlinger Sees vor dessen S-Ufer, 02 im westlichen Drittel dieses Seeteils im Bereich des nördlichen Steiluferes (s. Karte Abbildung 1).

Die Bearbeitung erfolgte in Form von Vertikalprofil-Serien, die im allgemeinen in monatlichen Abständen, in Punkt 01 zweimal monatlich (A und B), ausgeführt wurden. Dabei wurden in den beiden östlichen, von der Eidgen. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz befahrenen Stationen die Temperaturen in 0 bis 150 m Tiefe mit Hilfe des Ambühlschen Oxytesters gemessen, in größerer Tiefe mit dem Quecksilber-Umkippthermometer; die Anstalt für Bodenseeforschung verwendete auf ihren Stationen in den Tiefen bis 50 m Thermistorgeräte der üblichen Bauart, darunter ebenfalls Quecksilber-Umkippthermometer. Für die nachstehende Darstellung (Tabellen Nr. 1—6) wurden folgende Tiefen berücksichtigt: 0, 2,5 (nur in 05 und 06), 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 und 60 m, ferner in 06 und 03 100, 150, 200 und in 03 schließlich noch 250 m.

Die Thermik des Bodensee-Obersees ist durch eingehendere Arbeiten von FOREL [5], KLEINSCHMIDT [6], AUERBACH [2] und [3], WASMUND [9], ELSTER u. EINSELE [4], der ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG [1] u. a. in ihren großen Zügen gut bekannt. Es war nicht zu erwarten, daß weitere Untersuchungen von Jahresgängen der Temperatur im See wesentliche, grundsätzlich neue Erkenntnisse in dieser Hinsicht bringen würden. Inzwischen sind im Rahmen des BODENSEE-PROJEKTES der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT ausführliche Beobachtungen über das Verhalten der Temperaturen im Zusammenhang mit vorwiegend windinduzierten, internen Schichtschwankungen im See vorgenommen worden, die geeignet sind, unsere Kenntnisse über die Wechselwirkung zwischen Wasserbewegung und Thermik wesentlich zu vertiefen (bis jetzt u. a. LEHN [7] u. [8]). Wir beabsichtigten nicht, mit unseren Temperaturuntersuchungen Spezialfragen dieser oder anderer Art aufzugreifen. Wenn trotzdem nachfolgend ausführlicher auf ihre Ergebnisse eingegangen wird, dann im wesentlichen deshalb, weil die vorgesehene Berichterstattung über weitere Kriterien, insbesondere jene, die im Laufe der letzten Jahrzehnte durch menschliche Einwirkung Veränderungen erfahren haben, eine möglichst genaue Kennt-

nis aller Gesichtspunkte voraussetzt, die zur Beurteilung der Situation des Sees herangezogen werden müssen: Dem Temperaturgang in seinen von Jahr zu Jahr wechselnden Einzelheiten kommt entscheidende Bedeutung zu für den zeitlichen Ablauf des Stoffkreislaufs in den verschiedenen Jahren, vor allem im organismischen Bereich.

Wir legen unserer Darstellung der Thermik des Obersees in den beiden Untersuchungsjahren in erster Linie die Mittelwerte aus den Einzelprofilen der Monate zugrunde (Tabelle Nr. 7). Daß es sich dabei nicht um echte Mittelwerte etwa im Sinne der meteorologischen Statistik handeln kann, liegt angesichts der kleinen Zahl von nur 3 bis 6 Einzelstationen pro Monat, die zudem noch über ein Areal mit einer Längenausdehnung von rund 50 km verteilt waren, auf der Hand. Kurzfristige Schichtschwankungen, denen bei der Mittelung ein zu großes Gewicht zukam, ungleichmäßige Verteilung der Serien über den Monatsverlauf und schließlich die Tatsache, daß unsere Messungen stets nur bei Tage durchgeführt wurden und damit in den Oberflächenschichten den diurnalen Rhythmus einseitig betonen, sind nur einige weitere, nicht zu unterschätzende Fehlerquellen für ein solches Vorgehen. Daher verweisen wir, wo es uns notwendig erscheint, auf die Besonderheiten der Einzelprofile.

Die Herausarbeitung der Unterschiede im thermischen Verhalten des Sees während der beiden untersuchten Jahresläufe ließ es wünschenswert erscheinen, auf einen „Normalgang“ der Seetemperaturen als Vergleichsgrundlage zurückgreifen zu können. Leider stehen für den Bodensee noch keine langfristigen Temperaturmittel zur Verfügung. Die ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG verfügt jedoch wenigstens über eine ununterbrochene Serie von Temperaturmessungen im Überlinger See aus den Jahren 1952 bis 1963. Die Mittelwerte aus den Ergebnissen dieser Reihe von April 1952 bis März 1963, die aus etwa 30 Einzelserien aus den Tiefen von 0 bis 60 m pro Monat besteht, werden im Folgenden, als der Norm angenähert, zum Vergleich herangezogen.

Da schließlich der Gang der Wassertemperaturen in seinen Einzelheiten wie im Jahresverlauf bis in die größten Tiefen des Sees ausschlaggebend von der Witterung bestimmt wird, stellen wir seiner Besprechung jeweils einige kurze Hinweise auf die maßgeblichen Komponenten des Wettergeschehens, insbesondere der Insolation, der Lufttemperatur und der Luftbewegung voran. Die diesbezüglichen Werte wurden uns entgegenkommenderweise in Form von Pentaden- bzw. Monatsmitteln von der WETTERSTATION KONSTANZ zur Verfügung gestellt*, wir sind hierfür Herrn Regierungsrat K. WAIBEL und seinen Mitarbeitern zu besonderem Dank verpflichtet. Auch hier verfügen wir über ein elfjähriges Vergleichsmaterial aus den Jahren 1952—63, die Daten für Windstärke und -richtung ausgenommen, die uns als stündliche Anemographenauswertungen nur aus der Zeit von Juli 1959 bis Dezember 1964 vorlagen.

2. Jahrgang der Wassertemperatur im Obersee (Abbildung 2)

April

Im Bodensee-Obersee fällt der Übergang der winterlichen Temperaturverhältnisse in die sommerliche Phase der direkten Schichtung im allgemeinen in die Zeit von Mitte März bis Mitte April. Die zunehmende Einstrahlung im ausgehenden Seewinter bewirkt in der zweiten Märzhälfte tagsüber bereits öfters Anstiege der Oberflächentemperatur. Darauf folgende nächtliche Abkühlung, meist im Zusammenwirken mit der noch stärkeren Windtätigkeit in dieser

*) Diese Angaben können allerdings keinen Anspruch auf Gültigkeit für das gesamte Seegebiet erheben, besonders der östliche Teil des Obersees steht vielmehr häufiger unter abweichenden Witterungsbedingungen.

Zeit, verhindert jedoch zunächst noch die Manifestation einer wärmeren Oberschicht. Die ersten Wochen des April bringen dann aber längere Sonnenscheindauer und höhere Lufttemperatur, hier genügen gemeinhin einige Tage der Windruhe, um ein vorerst steiles Temperaturgefälle in den oberen Metern herzustellen, das trotz weiterbestehender Turbulenz nicht mehr völlig zerstört wird; in der Mitte des Monats, ganz ausnahmsweise auch einmal etwas später, ist dann die thermische Schichtung stets stabilisiert. Von April bis Juni, d. i. die Zeit der intensivsten Erwärmung der Oberfläche, dauert im Obersee der Seefrühling.

Im April 1961 beträgt zwar die Sonnenscheindauer nur 89% des mehrjährigen Monatsmittels, bei einer beträchtlich zu hohen Bewölkung ist jedoch auch die Ausstrahlung herabgesetzt. Die schon ungewöhnlich hohen mittleren Lufttemperaturen der beiden vorangegangenen Monate im Verein mit kräftigen Warmluftzufuhren ergeben ein aktuelles T_L -Mittel * von 11,1 °. Hierdurch werden im ersten Monat des Jahreszyklus 1961/62 bereits überdurchschnittliche Ausgangstemperaturen des Wassers erreicht: Das Mittelprofil zeigt direkte Schichtung mit einer T_0 von 9,7 ° und einer T_{250} von 4,3 °. Die 8°-Isotherme liegt schon bei 8 m Tiefe. Innerhalb der T_0 der einzelnen Stationen beträgt die größte Differenz 5,1 °, sie tritt naturgemäß zwischen den beiden zeitlich am weitesten auseinander gelegenen Profilen vor Wasserwerk Konstanz A vom 5. 4. mit 7,0 ° und Lindau-Rohrspitz vom 27. 4. mit 12,1 ° auf. Da sich im Verlauf des Monats keine wirksamen Perioden stärkerer Windtätigkeit oder der Windstille ergeben, zeigen die einzelnen Profilerien keine Besonderheiten in dieser Hinsicht. Aus der genannten T_{250} kann zuverlässig geschlossen werden, daß im Winter 1960/61 die Temperatur im tiefsten Hypolimnion des Sees 4,2 ° nicht unterschritten hat.

1962 liegen die Verhältnisse zu Beginn des neuen Seejahres insofern anders, als schon die winterlichen Lufttemperaturen beträchtlich niedriger waren als die des Vorjahres. Daher führt der durch überdurchschnittliche Einstrahlung (118 % Gesamtsonnenschein) bedingte, kräftige Anstieg der T_L von März auf April nur zu einem mittleren Wert von 8,8 °. Die etwas zu starke Windtätigkeit des April mit einem Mittel von 2,18 m/s läßt in der ersten Monatshälfte eine deutliche Wirkung auf den Temperaturgang im See erkennen. — Die Wassertemperaturen liegen fast durchweg erheblich unter denjenigen des April 1961 und auch nicht unbedeutend unter den mehrjährigen Mitteln für unseren Monat. Bei ebenfalls unverkennbar direkter Schichtung beträgt T_0 des Mittelprofils 6,1 °, in 250 m bleibt der im März erreichte Tiefstwert von 4,1 ° bestehen. Dieses Mittelwertprofil läßt die Möglichkeit offen, daß mindestens bis zur Monatsmitte noch eine gründliche Durchmischung der oberflächlichen und mittleren Wasserzonen eingetreten ist. Die Einzelprofile bestätigen dies: Wasserwerk Konstanz A vom 4. 4. zeigt bei 4,4 ° noch Homothermie bis in 40 m Tiefe; in Fischbach-Uttwil sind am 11. 4. die Schichtungsverhältnisse, von der Tageserwärmung in 0 bis 2 m abgesehen, noch sehr ähnlich; in 3 bis 20 m beträgt hier die Temperatur 4,5 °, in 30 bis 60 m 4,4 °; vor Süßenmühle schließlich wird am selben Tag, wiederum ohne Berücksichtigung der diurnalen Erwärmung in 0—4 m, im ganzen Profil von 5 bis 60 m bei Werten von 4,2 bis 4,0 ° nur ein Gefälle von 0,2 ° festgestellt. Bemerkenswert sind zwei weitere Serien des Monats: Am 17. 4. ergibt Lindau-Rohrspitz ein geringes Profilverfälle bei relativ hohen Temperaturen von 5,8 ° an der Oberfläche bis 5,3 ° in 60 m Tiefe. Das letzte Profil, Wasserwerk Konstanz B vom 30. 4., zeigt nach einer länger anhaltenden windschwachen Periode, aber im unmittelbaren Anschluß an drei Tage mit stärkerer Windtätigkeit, als einziges erheblich angestiegene Oberflächenwerte mit einem 5 m mächtigen homothermen Epilimnion (11,7 °), eine Situation, die allerdings nur kurz andauert. Den größten T_0 -Unterschied weisen mit 7,3 ° wieder die beiden zeitlich voneinander entferntesten Profile 01 A und 01 B auf.

*) T_L = Lufttemperatur;
 T_W = Wassertemperatur;
 T_0 = Oberflächentemperatur des Wassers;
 T_{1-250} = Wassertemperatur der einzelnen Profiltiefen;
Temperaturen stets in C °.

Mai

1961: Ein kühler Monat mit einer unterdurchschnittlichen Lufttemperatur von im Mittel $11,3^{\circ}$, ebensolcher Sonnenscheindauer (79 % des mehrjährigen Maimittels) und einer über der Norm liegenden Windgeschwindigkeit von 2,39 m/s sollte sich deutlich auf den Gang der Wassertemperaturen in den oberen Schichten auswirken. Unser Mittelprofil des Monats zeigt jedoch zunächst in 0 bis 5 m mit $13,5$ bis $11,6^{\circ}$ recht hohe Werte, die allerdings teilweise durch den bereits erwähnten Umstand mitbedingt sind, daß unsere Messungen nur bei Tag durchgeführt werden und damit fast stets in den obersten Zonen etwas überdurchschnittliche Werte liefern müssen. Die nicht unbeträchtlichen Anstiege der T_w in den mittleren Schichten von 10 bis 60 m dagegen gehen auf windbedingte Turbulenz zurück, wobei sich insbesondere die zwischen der ersten Serie vom 3. 5. und den übrigen liegenden Zeiten stärkerer Windbewegung auswirken: Vom 7. bis 14. 5. herrscht Westlage mit Tagesmitteln von 2,0 bis 6,85 m/s; spätere, mehr umlaufende Winde setzen zum Teil kräftig aus Südost an. Die Temperaturzunahmen führen zu Werten, die um $2,3$ bis $0,7^{\circ}$ über den mehrjährigen Maimitteln der in Rede stehenden Tiefen liegen, und die normalerweise dort erst in den folgenden Monaten bis in den September hinein erreicht werden. — Die 10° -Isotherme des Mittelprofils — der 12° -Wert interessiert in diesem Zusammenhang noch nicht — verläuft in etwas mehr als 11 m Tiefe, die Ganglinie für 8° ist auf 17 m abgesunken.

Auch der Mai 1962 ist ausgesprochen sonnenscheinarm und kühl, die Sonnenscheindauer erreicht nur 67 % des Vergleichswertes aus den Jahren 1952/62, die Lufttemperatur liegt mit $10,7^{\circ}$ um $1,7^{\circ}$ zu tief. Während die Niederschlagsmenge erheblich geringer ist als die des Mai 1961 (81 % des mehrjährigen Mittels), bleibt die Windgeschwindigkeit mit einem Monatsmittel von 2,26 m/s weiterhin über dem Durchschnitt. Unser Monat gleicht somit in seinen meteorologischen Voraussetzungen, von der Niederschlagstätigkeit abgesehen, recht weitgehend dem Mai 1961. Infolge der wesentlich anderen Ausgangssituation im April unterscheiden sich jedoch die Wassertemperaturen des Mittelprofils sehr beträchtlich von denjenigen des Mai 1961: Im Oberflächenwasser von 0—10 m Tiefe werden die Temperaturen des mehrjährigen Mittels schon nicht erreicht, geschweige denn die des vorjährigen Mai; in 10 m beträgt z. B. der Unterschied zwischen den Werten der beiden Berichtsjahre $2,6^{\circ}$. Im weiteren mittleren Bereich bis in 60 m weichen dann allerdings die aktuellen Temperaturen nur noch geringfügig von der Norm ab, sie bleiben aber immer noch erheblich unter denen des Vorjahres. Im Hypolimnion finden sich naturgemäß keine größeren Differenzen mehr, lediglich in 250 m bleibt es noch einmal beim Minimum von $4,1^{\circ}$. — Im Verlauf des Monats zeigt zunächst die Serie vom Wasserwerk Konstanz am 2. 5. als Auswirkung der zunehmenden Windtätigkeit der beiden vorangegangenen Tage noch einmal einen augenfälligen Rückgang der Werte von 0 bis 10 m gegenüber der letzten Aprilserie. Aber auch um die Monatsmitte und nachher werden im mittleren Obersee und im westlichen Überlinger See niedere Oberflächentemperaturen gemessen, besonders die Serie Fischbach-Uttwil bringt am 16. 5. bis in 20 m Tiefe ein nahezu homothermes Epilimnion mit nur $5,6$ bis $5,5^{\circ}$. Das in den oberen 30 m wärmste Profil des Monats ist wiederum das vom 21. 5. im Eingang zur Bregenzer Bucht gelegene von Lindau-Rohrspitz. Die Differenz zwischen niederstem und höchstem Oberflächenwert beträgt $6,9^{\circ}$ (Fischbach-Uttwil/Lindau-Rohrspitz, in unmittelbarer zeitlicher Nachbarschaft gelegen); die 8° -Isotherme verläuft im Mittelprofil noch in 9 m Tiefe.

Juni

Der Juni 1961 ist nach Sonnenscheindauer und Bewölkung, Mitteltemperatur und Niederschlagsmenge ein weitgehend durchschnittlicher Juni; die Windtätigkeit liegt etwas unter der Norm, jedoch fehlen längere Zeiten ausgesprochener Windruhe. Im einzelnen zeigt die erste Monathälfte bei starker Bewölkung und entsprechend geringer Sonnenscheindauer noch kräf-

tigere Windbewegungen und relativ niedere Lufttemperaturen, von der Monatsmitte ab herrscht dann jedoch sommerliche Witterung mit Pentadenmittelwerten für Sonnenscheindauer bis zu 12,9 h/Tag und Lufttemperaturen bis 19,5 °. — Das Mittelwertsprofil der Wassertemperatur bringt in der Oberfläche bis 5 m Tiefe Zunahmen gegenüber Mai von 3,6 bis 2,4 °, damit liegen die Werte hier weiterhin um mehr als 1 ° über den mehrjährigen Vergleichszahlen für den Monat, dasselbe gilt für 10 und 15 m. Da die Wärme hauptsächlich erst in der zweiten Monatshälfte bei geringerer Windtätigkeit zugeführt wird, ändern sich die Temperaturen in den anschließenden Schichten nur wenig, aber auch sie verbleiben nicht unwesentlich über den Maimitteln 1952/62. Die Profilkurve des Monats zeigt als typische Vorsommerkurve einen gleichmäßig starken Abfall von 0 bis 20 m Tiefe. Die 16°-Isotherme verläuft im obersten Epilimnion (1,6 m), der 14°-Wert liegt in 5 m, 12 ° werden in der 10 m-Linie erreicht, 10 ° knapp über der 15 m-Linie, die 8°-Isotherme liegt nur zwei Meter unter dem Stand vom Mai. — Die größte Differenz in den Oberflächentemperaturen findet sich zwischen Station 03 ($T_0 = 12,8^\circ$ am 14. 6.) und Station 06 ($20,2^\circ$ am 20. 6.). Ursache für diesen hohen Wert innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums ist einerseits die anfangs noch herrschende Turbulenz, es ist in Fischbach-Uttwil ein nahezu homothermes Epilimnion bis in 13 m Tiefe ausgebildet, andererseits machen sich in Langenargen-Arbon eine vorausgehende windschwache Phase und die Tageswärme geltend, in den oberen 2,5 m ist hier ein Gefälle von 5,3 ° entwickelt.

Im Gang der Lufttemperatur zeigt auch der Juni 1962 wieder eine gewisse Übereinstimmung mit dem gleichen Monat des Vorjahres: Nach anfänglich stark unterdurchschnittlichen Werten setzt von der zweiten Pentade ab — bei z. T. sehr hoher Einstrahlung — zunächst zögernd eine Erwärmung ein, durch die in der Zeit vom 20. bis 24. 6. mit 21,1 ° das höchste Pentadenmittel der T_L des Jahreszyklus 1962/63 erreicht wird. Dann aber erfolgt ein Kälteeinbruch, der noch über das erste Drittel des Juli andauert, und der zunächst bewirkt, daß das aktuelle Mittel der Juni- T_L mit 15,7 ° den mehrjährigen Durchschnitt um 0,6 ° unterschreitet. Die mittlere Windgeschwindigkeit stimmt mit 1,89 m/s nahezu mit dem mehrjährigen Juniwert überein; auch hier fehlen — von wenigen, über den Monat verstreuten, einzelnen Tagen abgesehen — Zeiten andauernder Windruhe, so daß eine nachhaltigere Wirkung etwa hoher Tageserwärmungen auf den Verlauf der obersten Oberflächentemperatur kaum erwartet werden kann. Trotzdem steigen die Werte des Mittelprofils der Wassertemperatur in den Oberflächenschichten bis in 20 m Tiefe von Mai auf Juni erheblich an und nähern sich damit den 11jährigen Juniwerten 1952/62 oder überschreiten sie sogar geringfügig. Auch in fast allen weiteren Tiefen beobachten wir leichtere Temperaturzunahmen, so in 250 m noch um 0,1 °, wodurch der winterliche Wert in der größten Tiefe des Hypolimnions endgültig verlassen wird. Die Temperaturen des Junimittels 1961 werden jedoch im gesamten Profil nicht erreicht: Der 16°-Wert liegt in 0,6 m Tiefe, 14 ° werden in etwas über 4 m gemessen, 12 ° in nahezu 8 m, 10 ° in 11,3 m, und die Ganglinie für 8 ° ist in 16 m Tiefe abgesunken. — Von den einzelnen Serien des Monats zeigen diejenigen aus der ersten Monatshälfte erwartungsgemäß relativ niedere T_0 -Werte, dafür weichen aber in den Tiefen von 10 bis 30 m die Werte kaum mehr von den später gemessenen ab. In Lindau-Rohrspitz und noch mehr in Langenargen-Arbon werden wider Erwarten doch fast extrem steile Temperaturabfälle in den oberen 20 m festgestellt. Als größte Differenz zwischen der T_0 der Stationen des Monats ergeben sich 7,6 °.

Juli

Der Juli ist im Bodenseegebiet der wärmste Monat des Jahres; im Mittel der uns zur Verfügung stehenden Vergleichszeit 1952/62 beträgt die Lufttemperatur 17,9 °, die mittlere Bewölkung 6,2 Zehntel und die Gesamtsonnenscheindauer 231,2 h. Für den See beginnt der Seesommer, auch er erreicht nach unseren Ergebnissen aus der genannten Zeit im Juli bereits

sein höchstes Oberflächenmittel. Andererseits fällt in unseren Monat mit $109,0 \text{ l/m}^2$ die größte Niederschlagsmenge; diese und die immer noch erheblichen Schmelzwassermengen, die der Alpenrhein dem See zubringt, führen im allgemeinen zum maximalen Monatsmittel des Pegelstandes im Juli.

1961 schließt zwar die Witterung der ersten Julipentade noch an die sommerliche Lage der zweiten Junihälfte an, dann aber folgen — jeweils mit Unterbrechung durch eingeschaltete wärmere Perioden — einige Kaltlufteinbrüche über den Rest des Monats und den anschließenden August hinweg, so daß es in diesem Jahr nicht zeitgerecht zur Ausbildung echter Hochsommertemperaturen kommt. Bei relativ hoher Gesamtsonnenscheindauer von 253 h erreicht die Juli- T_L nur ein Mittel von $16,9^\circ$, sie liegt damit lediglich um $0,2^\circ$ über dem Junidurchschnitt. Die Windstärke nimmt gegenüber dem Vormonat nicht unbeträchtlich zu, das Monatsmittel übersteigt mit $2,18 \text{ m/s}$ auch etwas den mehrjährigen Wert. Eine Periode kräftiger Windtätigkeit fällt dabei in die Zeit vom 12. bis 18. 7. mit Tagesmitteln von $2,03$ bis $5,29 \text{ m/s}$, die darauffolgenden Tage bis zum 25. 7. dagegen sind verhältnismäßig windschwach. — Unser Mittelprofil der Wassertemperatur des Juli zeigt trotz der Unregelmäßigkeiten im Gang der Lufttemperatur als Folge der starken Einstrahlung hochsommerlichen Charakter. $19,6^\circ$ sind als T_0 -Mittel ein überdurchschnittlicher Wert, er übertrifft das mehrjährige Maximum um $0,7^\circ$. Infolge einer erheblichen Erwärmung der folgenden Schichten bis in 30 m Tiefe als Auswirkung der gesteigerten Windtätigkeit verläuft die Profilkurve in diesem Bereich doch nicht übermäßig steil. In 250 m Tiefe wird letztmals der seit April bestehende Wert von $4,3^\circ$ gemessen, somit beläuft sich das Gesamtgefälle der Temperatur in der 250 m-Wassersäule auf $15,3^\circ$. Die 18° -Isotherme liegt wenig unterhalb der 3 m-Linie, bei 7 m Tiefe werden 16° erreicht, bei 11 m 14° , die 12° -Isotherme ist auf über 14 m abgesunken, 10° auf 18 m, der 8° -Wert schließlich findet sich in 24 m rund 5 m tiefer als im Vormonat. Die Differenz zwischen den Extremen der T_0 in Station 01 A vom 5. 7. ($18,2^\circ$) und in Station 06 vom 25. 7. ($20,9^\circ$) beträgt nur noch $2,7^\circ$. Im einzelnen verhalten sich die Temperaturen der Oberflächenschichten in den Profilen gerade im Hinblick auf die Windverhältnisse etwas widersprüchlich: Wasserwerk Konstanz zeigt in beiden Serien, obwohl diese von stärkeren Westlagen beeinflusst werden, kräftig abfallende Temperaturen in den oberen 10 Metern. Fischbach-Uttwil und Lindau-Rohrspitz dagegen weisen bei mäßigem Windeinfluß bzw. sogar nach verhältnismäßig windschwachen Tagen ein nur geringes Gefälle auf, während die beiden diesen koordinierten Stationen Süßenmühle und Langenargen-Arbon wiederum ungleich stärkere Differenzen erbringen. Man wird annehmen dürfen, daß diese Ergebnisse vorwiegend den momentanen Stand von Schichtschwankungen wiedergeben.

Im Juli 1962 wird mit einem Mittel von $17,0^\circ$ der mehrjährige Vergleichswert der Lufttemperatur ebenfalls nicht erreicht. Die schon im Vormonat einsetzende Kälteperiode erstreckt sich noch über die beiden ersten Pentaden, im folgenden steigen die Werte dann zwar wieder an, gelangen aber nicht mehr auf die Höhe der maximalen Junitemperatur. 218 h Sonnenscheindauer sind ebenfalls nur 94 % des 11jährigen Vergleichswertes, die mittlere Bewölkung entspricht mit 6,1 Zehnteln etwa der Norm. Ungewöhnlich gering ist die Niederschlagsmenge ($60,7 \text{ l/m}^2 = 55 \%$). Die mittlere Windgeschwindigkeit weist gegenüber Juni erneut einen leichten Rückgang auf, sie bleibt mit $1,79 \text{ m/s}$ auch etwas unter dem mehrjährigen Vergleichswert. Länger anhaltende Zeiten ausgesprochener Windstille werden zwar vermißt, immerhin verbleiben jedoch 10 Tagesmittel unter 1 m/s , 13 weitere liegen zwischen 1 und 2 m/s , und nur 8 überschreiten die 2 m/s -Grenze. — Auch die mittlere T_0 bringt von Juni auf Juli nur eine mäßige Zunahme von $1,9^\circ$ gegenüber $3,1^\circ$ im mehrjährigen Mittel, sie liegt mit $18,2^\circ$ um $0,6^\circ$ unter der Norm und um $1,6^\circ$ unter dem von uns ermittelten Juliwert des vergangenen Jahreszyklus. Demgegenüber steigen die Temperaturen in 5 bis 40 m Tiefe erneut zum Teil kräftig an, so daß sie, ohne allerdings auf die Höhe der Juliwerte 1961 zu gelangen, hier teilweise das mehrjährige Mittel übertreffen. In 250 m wird mit $4,3^\circ$ bereits das diesjährige Maximum erreicht, das bis Januar 1963 unverändert anhält. Die Differenz zwischen der 0 m- und der 250 m-Temperatur beträgt zur Zeit $13,9^\circ$, das sind $1,4^\circ$ weniger als im Vorjahr. Die

18 °-Isotherme verläuft 1 m unter der Oberfläche, der 16 °-Wert liegt in fast 7 m Tiefe, der 14 °-Wert in 10 m, die Ganglinie für 12 ° ist auf nahezu 13 m abgesunken, die für 10 ° auf 15 m und die für 8 ° auf 20 m. Von den Einzelserien folgen die beiden beim Wasserwerk Konstanz vom 9. und 27. 7. klar dem Gang der Witterung. Die vier übrigen sind alle am 19. 7. durchgeführt worden, sie zeigen den höchsten Oberflächenwert im östlichen Obersee, den niedersten im westlichen Teil des Überlinger Sees. Auch in 5 m Tiefe erweist sich diese letztgenannte Station noch als die kühlsste, im weiteren Verlauf des Profils liegen dann aber die Verhältnisse entgegengesetzt, Lindau-Rohrspitz ist hier absolut kälter als Süßenmühle. In Langenargen-Arbon ist ein mäßig schwaches Epilimnion von 2,5 m Mächtigkeit entwickelt, in Fischbach-Uttwil ein solches von doppelter Ausdehnung. Die Differenz zwischen höchstem und niederstem gemessenen Oberflächenwert in diesem Juli beträgt 3,9 ° (Stationen O2 und O1 B).

August

Wie schon angedeutet, wird der Gang der Witterung im August 1961 zunächst durch einen leichteren Kaltlufteinbruch um den Monatsbeginn, dann in der Zeit vom 14. bis 23. 8. durch einen starken Temperaturfall bestimmt: Das Monatsmittel der T_L liegt mit 16,7 um 0,5 ° unter dem mehrjährigen Augustwert. Dabei gleichen Sonnenscheindauer und Bewölkung mit 235 h bzw. 5,9 Zehnteln weitgehend den entsprechenden Mitteln 1952/62. Die Niederschläge übersteigen etwas den Vergleichswert (110 %), dagegen bleibt die Windtätigkeit im ganzen geringfügig unter dem Durchschnitt (1,65 m/s gegenüber 1,79 m/s). — Das Mittelprofil der T_W zeigt deutliche Abkühlung in den oberen 5 Metern und kräftige Zunahme der anschließenden Werte bis in 50 m Tiefe. In 20 und 30 m werden mit 11,6 bzw. 7,5 ° die maximalen Monatsmittel des Jahres erreicht, ebenso in der größten Seetiefe mit 4,4 °, einem Wert, der nunmehr bis November erhalten bleibt. Die Differenz zwischen T_0 und T_{250} ist auf 12,9 ° zurückgegangen. Im Mittelprofil ist die 18 °-Ganglinie vorübergehend nicht mehr enthalten, der 16 °-Wert findet sich, wie im Vormonat, in 7 m Tiefe; die folgenden Isothermen sind zum Teil beträchtlich tiefer gesunken: 14 ° in 13 m, 12 ° in 19 m, 10 ° in 24 m und 8 ° in 29 m. Bemerkenswert ist die thermische Situation im See nach der Monatsmitte. Am 16. 8. vormittags werden in der Serie Fischbach-Uttwil eine T_0 von 18,5 und eine T_{10} von immerhin noch 16,1 ° beobachtet; am Nachmittag beträgt der 0 m-Wert vor Süßenmühle, das heißt etwa 26 km weiter westlich und nahe dem Ende des Überlinger Sees, nur 14,1 °, in 10 m liegt die Temperatur hier mit 8,0 ° sogar nur noch schwach bei der Hälfte des Wertes von Station O3, eine bereits sehr augenfällige Auswirkung einer beginnenden kräftigen Westlage, die sich bis zum 23. 8. erstreckt. An diesem Tag wird im Ostteil des Sees am Eingang zur Bregenzer Bucht ein 20 m mächtiges Epilimnion mit einer T-Differenz von weniger als 1 ° beobachtet, in den darunter folgenden 10 m ist ein Temperatursprung von 7,7 ° enthalten. In Langenargen-Arbon liegen am selben Tag die Verhältnisse ähnlich, T_0 beträgt 18,1 °, T_{15} 17,3 °, dann verläuft in den anschließenden 15 m der Hauptteil der Thermokline mit einem Rückgang um 8,4 °. Weitere 24 km westlich erbringt Serie O1 A einen Tag später ein Epilimnion von 11 m Mächtigkeit bei verhältnismäßig tiefen Temperaturen von 15,6 bis 15,0 ° und darunter eine bis in etwa 30 m reichende Sprungschicht mit einem Gefälle von 8,5 °. Aus dieser Situation möchten wir schließen, daß in der Zeit vom 16. bis 23. 8. ein beträchtlicher Teil des Oberflächenwassers aus dem ganzen Überlinger See nach Osten abgedrängt und durch hochgesaugtes Wasser aus darunterliegenden Schichten ersetzt worden ist. Der Vorgang führt auch zu der erheblichen T_0 -Differenz von 5,3 ° zwischen Serie O1 A und Serie O2.

Eine Sonnenscheindauer von durchschnittlich 10,0 h/Tag ergibt für August 1962 den ungewöhnlich hohen Gesamtwert von 309,5 h, das sind 133 % des 11jährigen Mittels für den Monat. Die Lufttemperatur erreicht hierdurch erst jetzt mit einem Mittel von 18,1 ° den Jahreshöchstwert. Sie schwankt im Verlauf des Monats nur geringfügig, dasselbe gilt für die extrem schwache Bewölkung, und da auch die Niederschläge mit 77,3 l/m² und die mittlere Windgeschwindig-

keit mit 1,53 m/s nicht unbeträchtlich unter der Norm bleiben, ist dieser August ein sehr ausgeglichener Hochsommermonat. — Die Wassertemperatur reagiert auf die starke Einstrahlung in der Oberfläche des Mittelprofils mit einem Anstieg um $2,2^{\circ}$ zum diesjährigen Maximum von $20,4^{\circ}$. Auch in 5 m Tiefe wird mit $19,3^{\circ}$ das höchste Monatsmittel erreicht. Eigenartigerweise — und vorläufig auch nicht voll befriedigend erklärbar — beobachten wir dann in den nachfolgenden Tiefen bis in 200 m ausnahmslos einen deutlichen Rückgang der Temperaturen, nur in 250 m bleibt in Fischbach-Uttwil der Wert unverändert. Dieses Verhalten zeigen außer Profil 01 B bezeichnenderweise alle Einzelserien nahezu übereinstimmend. Das Gesamtgefälle im Mittelprofil beträgt $16,1^{\circ}$, es ist dies naturgemäß ebenfalls der maximale Monatswert. Die angedeutete Entwicklung unserer Temperaturen führt auch zu widersprüchlichem Verlauf der Isothermen: Die 20° -Ganglinie wird in etwa 2 m Tiefe angetroffen, der 18° -Wert ist noch auf über 6 m abgesunken, alle anderen Linien dagegen steigen mehr oder weniger stark an. Wie angesichts der relativ geringen Windtätigkeit nicht anders zu erwarten war, ist der Unterschied zwischen höchster und tiefster Oberflächentemperatur nicht übermäßig groß, in Süßenmühle werden am 16. 8. als höchster Einzelwert des Jahres $22,3^{\circ}$ gemessen, den minimalen Wert des Monats bringt die Serie vor dem Wasserwerk Konstanz am 22. 8. mit $18,3^{\circ}$.

September

Im September 1961 führt die verhältnismäßig hohe Sonnenscheindauer von insgesamt 198,4 h bei unterdurchschnittlicher Bewölkung (89 %) und fast extrem geringen Luftbewegungen mit im Mittel 0,87 m/s zu einem Anstieg der mittleren Lufttemperatur um $0,5^{\circ}$ gegenüber August. Damit wird erst in diesem Monat mit $17,2^{\circ}$, einem Wert, der um $3,0^{\circ}$ über dem mehrjährigen liegt, das maximale Mittel der T_L des Jahres 1961 erreicht. — Der Lufttemperatur entsprechend steigt die Oberflächentemperatur des Wassers ebenfalls kräftig an. Diese Zunahme führt in den Tiefen von 0 bis 15 m mit Werten von $20,3$ bis $14,1^{\circ}$ zu den höchsten Monatsmitteln. In der Zone von 20 bis 50 m zeigt auch das Mittelprofil dieses Monats ähnlich dem des August 1962 mehr oder weniger große Unregelmäßigkeiten, die zunächst nur darauf zurückgeführt werden können, daß durch die verhältnismäßig geringe Anzahl der monatlichen Serien und ihre zeitliche Lage „zufällige“ Schichtschwankungen gelegentlich ein zu großes Gewicht erhalten und in den T-Isoplethen zu stark zum Ausdruck kommen. Grundsätzlich ist dies — das sei nur nebenbei bemerkt — natürlich in den größeren Tiefen mit ihren geringen T-Differenzen der Fall, aus denen nur ein oder zwei Werte im Monat vorliegen. Im allgemeinen zeigen Mittelwertsprofile der Temperatur aus dem Bodensee-Obersee im September noch keine oder nur angedeutete Schichtung mit schwach ausgebildetem Epilimnion. Bei den aktuellen Windverhältnissen, die allein in der zweiten Monatshälfte keine Tageswerte mit über 1 m/s bringen, kann das noch weniger erwartet werden. Tatsächlich sind auch in den Einzelprofilen mit Ausnahme der Serie 05 vom 19. 9. keine deutlicheren Ansätze zur Herbstformation zu erkennen. Der September erweist sich, was die thermische Schichtung anbelangt, als durchaus zum Sommer gehörig. Das Gefälle im 250 m-Mittelprofil beträgt $15,9^{\circ}$, im Isothermenbild erscheint neben dem 20° -Wert in etwa 1 m Tiefe noch einmal eine 18° -Kurve mit dem Tiefstpunkt in 6 m, 16° werden in 11 m Tiefe festgestellt, und auch die 14° -Linie sinkt gegenüber August noch um rund 2 m ab. In den weiteren mittleren Tiefen führen die erwähnten Unstimmigkeiten zu mehr oder weniger hervortretenden, unrealen (?) Anstiegen. Die einzelnen Stationen zeigen keine wesentlichen Besonderheiten; als Differenz der extremen T_0 -Werte ergeben sich zwischen Wasserwerk Konstanz A vom 6. 9. und Fischbach-Uttwil vom 13. 9. nur $3,1^{\circ}$. Mit 5,5 Zehnteln ist das Bewölkungsmittel für September 1962 um 0,5 Zehntel niedriger als das mehrjährige Mittel. Die Sonnenscheindauer übersteigt zwar den 11jährigen Vergleichswert um 12 %, aber die T_L bleibt trotzdem mit $13,2^{\circ}$ um $1,0^{\circ}$ unter dem Septembermittel 1952/62 bzw. um $4,0^{\circ}$ unter dem Wert des Vorjahres. Ebenso erreicht die Niederschlagsmenge nicht

die Norm, die mittlere Windgeschwindigkeit dagegen liegt mit 1,59 m/s etwas über dem mehrjährigen Monatswert. — Das Mittelprofil der Wassertemperatur weist im oberen Oberflächenbereich eine überdurchschnittliche Wärmeabgabe auf: T_{0-5} geht gegenüber August um 3,3 bis 2,3 ° auf rund 17 ° zurück, es besteht Homothermie in den oberen 5 Metern. Dabei liegen allerdings die Temperaturen infolge der hohen Ausgangswerte im August bis in 10 m Tiefe noch immer etwas über den mehrjährigen Mitteln. 14,5 ° stellen das Jahresmaximum in 10 m dar, ebenso werden in 50 und 60 m mit 5,0 bzw. 4,8 ° schon die höchsten Werte des Jahres ermittelt. Das Intervall zwischen T_0 und T_{250} läßt mit 12,8 ° eine deutliche Einengung erkennen; oberste Isotherme ist die 16 °-Ganglinie in 7 m Tiefe, der 14 °-Wert kommt zwischen 10 und 11 m zu liegen, 12 ° werden in 13 m erreicht, der 10 °-Wert ist knapp auf 16 m, der 8 °-Wert auf 21 m abgesunken. Von den einzelnen Serien erbringt schon die erste vom 5. 9. vor dem Wasserwerk Konstanz ein 5 m mächtiges Epilimnion, ein ebensolches ist am 26. 9. in Langenargen-Arbon entwickelt, in Fischbach-Uttwil reicht am 17. 9. die Homothermie bereits in 10 m Tiefe, ebenso am 26. 9. in Wasserwerk Konstanz B. Maximale und minimale T_0 liegen nunmehr zeitlich wieder weiter auseinander, die Differenz zwischen den Serien Wasserwerk Konstanz A und B beträgt 4,4 °.

Oktober

Mit dem Oktober setzt für den Bodensee-Obersee der Seherbst ein, der normalerweise bis Ende Dezember andauert.

Nach den Mittelwerten für den Witterungsablauf ist der Oktober 1961 ein relativ milder, windruhiger Herbstmonat. Die T_L geht bei annähernd durchschnittlicher Insolation (Sonnenscheindauer = 108,0 h) und etwas zu starker Bewölkung zwar kräftig zurück, sie bleibt jedoch mit 10,4 ° weiterhin erheblich über der Norm von 9,0 °. Bei nur 1,19 m/s mittlerer Windgeschwindigkeit beobachten wir einen öfteren Wechsel zwischen mehrtägiger Windschwäche und Perioden etwas lebhafterer Windtätigkeit. — Parallel dem Gang der T_L verläuft — naturgemäß abgeschwächt — der Rückgang der T_W in den oberflächlichen Schichten. In 0 m beträgt er im Monatsmittel 4,8 °, in 20 m noch 1,3 °. In mittleren und größeren Tiefen sind geringe Anstiege zu verzeichnen, dabei wird in 150 m mit 4,6 ° der Jahreshöchstwert erreicht, der über die nächsten Monate mehr oder weniger gehalten wird. Das Mittelprofil zeigt beginnende dreistöckige Schichtung mit annähernd homothermer Oberschicht in 0 bis 5 m bei etwas über 15 °. Insgesamt liegen auch die Temperaturen des Sees nach wie vor höher als die mehrjährigen Mittel. Die Abkühlung der letzten Wochen brachte einen steilen Aufstieg der 18- und 16 °-Isothermen, die nun im Mittel nicht mehr erfaßt werden. Die 14 °-Linie verläuft in 9,5 m, die 12 °-Linie in etwas über 13 m und die 10 °-Linie in annähernd 18 m, 8 ° werden in 25 m erreicht. — Im einzelnen erbringt Untersuchungsort Wasserwerk Konstanz A am 2. 10. noch ein „Septemberprofil“ mit der maximalen T_0 des Monats von 20,5 ° und einem geringen Gefälle in den oberen 5 m. Bis kurz nach der Monatsmitte (Station 01 B vom 18. 10.) sind hier die Temperaturen im Oberflächenwasser erheblich zurückgegangen, es herrscht bei 15,3 ° Homothermie bis in 10 m Tiefe. In Fischbach-Uttwil treffen wir am 23. 10. ein Epilimnion von annähernd 15 m Mächtigkeit bei etwa 14 °. Der niederste Oberflächenwert des Monats wird mit 14,1 ° am 25. 10. in Lindau-Rohrspitz gemessen, hier liegt die Epilimnion-Untergrenze bei 10 m; in Langenargen-Arbon verlaufen am selben Tag die Temperaturen schon von der Oberfläche ab noch einmal mit deutlichem Gefälle (0 bis 10 m = 2,2 °).

Bei weiterhin überdurchschnittlicher Sonnenscheindauer (118 ‰), aber auch stärkerer nächtlicher Ausstrahlung und nunmehr ebenfalls zu geringer mittlerer Windstärke von 1,21 m/s gegenüber einem mehrjährigen Wert von 1,75 m/s liegt die Lufttemperatur im Oktober 1962 mit 9,2 ° schwach über dem Vergleichsmittel 1952/62. Bemerkenswert ist im Witterungsablauf die Ähnlichkeit der Windverhältnisse mit denen des Oktober 1961, wobei der Wechsel zwischen ausgesprochen windschwachen und etwas bewegteren Zeiten, was Dauer und Intensität

anbelangt, noch augenfälliger ist als 1961. — Die Differenz zwischen dem September- und Oktobermittel der T_0 entspricht mit $3,9^\circ$ nahezu der Bewegung im Temperaturgang der Luft; es zeigt sich hier einmal mehr das deutliche Nachhinken der Wassertemperatur im Spätjahr. Im übrigen verbleiben auch in diesem Monat die Werte der 0—10 m-Schicht etwas über, die der Wassersäule von 20 m abwärts — soweit Vergleichsmöglichkeiten gegeben — etwas unter dem mehrjährigen Mittel. Die Homothermie, die etwa in den oberen 10 Metern zum Ausdruck kommen sollte, zeigt sich zwar mehr oder weniger deutlich in 5 von 6 Einzelstationen, im Mittelprofil ist sie aus ersichtlichen Gründen dagegen noch einmal gestört. Immerhin liegt zwischen 10 und 30 m Tiefe eine deutliche Hauptsprungschicht. Die 16- und die 14° -Isotherme sind inzwischen verschwunden, der 12° -Wert kommt mit knapp 11 m etwas zu hoch zu liegen, 10° finden sich inzwischen in 17 m, und die 8° -Ganglinie ist in fast 23 m Tiefe gerückt. Im einzelnen zeigt die Station 01 A vom 3. 10. mit $15,8^\circ$ den höchsten T_0 -Wert des Monats, Profil 06 vom 24. 10. mit $11,1^\circ$ den niedersten. Interessanterweise hat diese letzte Serie entgegen der Erwartung bei so niedriger T_0 überhaupt kein homothermes Epilimnion; dem Untersuchungszeitpunkt gingen zweieinhalb windschwache Tage voraus, die offenbar zur Ausbildung eines nochmaligen Gefälles von $1,0^\circ$ in den oberen 5 m genügten. Die eigentliche Sprungschicht liegt am 3. 10. auf Station 01 in 10 bis 30 m Tiefe, am 18. 10. im Anschluß an die windstärkste Periode des Monats im mittleren Obersee (03) sehr ausgeprägt zwischen 20 und 30 m, am gleichen Tag im westlichen Überlinger See (02) in 10 bis 30 m. Am 24. 10. zeigen die beiden Serien im östlichen Teil des Obersees das Metalimnion zwischen 20 und 30 m (05) und zwischen 5 und 20 m (06). Als letztes Profil bringt 01 B am 24. 10. ein 15 m mächtiges Epilimnion und daran anschließend bis in 30 m Tiefe das Metalimnion.

November

Auch im November 1961 geht die T_L durch Kaltluftzufuhr noch einmal überdurchschnittlich stark auf ein Mittel von $4,3^\circ$ zurück; der Wert liegt jedoch immer noch um $0,4^\circ$ über der Norm. Die Sonnenscheindauer erreicht dabei mit 54,2 h 118 % des mehrjährigen Mittels; 21,0 l/m² Niederschlag sind nur 58 % des Vergleichswertes, und auch die Windgeschwindigkeit bleibt mit 1,56 m/s nicht unbeträchtlich unter dem mehrjährigen Wert von 2,03 m/s. — Inzwischen sind bei einer T_0 von $9,7^\circ$ und einer T_{15} von $9,4^\circ$ die Monatsmittel der Wassertemperatur bis in etwa 15 m nahe zusammengerückt, die Untergrenze des Epilimnions liegt schon beträchtlich tiefer als im Vormonat. Trotz starken Rückgangs der Werte in dieser Schicht bleibt gegenüber dem mehrjährigen Mittelprofil für November bis in größere Tiefen ein Wärmeüberschuß bestehen. In 40 m wird mit $6,2^\circ$, in 60 m mit $5,2^\circ$ und in 200 m mit $4,6^\circ$ jeweils das Jahresmaximum erreicht. Kurz vor der Monatsmitte ist T_0 unter 10° abgesunken, die 8° -Ganglinie wird im Mittelprofil letztmals in 26 m Tiefe erfaßt. In der Serie vor Wasserwerk Konstanz A ist am 9. 11. ein 10 m mächtiges Epilimnion ausgebildet ($T = 10,8^\circ$), das größte Gefälle in der Sprungschicht liegt in 15 bis 30 m. Am 15. des Monats herrscht in Fischbach-Uttwil, Seemitte, bei $9,8^\circ$ Homothermie bis in 20 m Tiefe, im westlichen Überlinger See ist die Situation ähnlich. Die beiden Stationen 05 und 06 lassen in 0 m noch einmal eine kurzfristige Erwärmung erkennen. Im übrigen besteht vor der Bregenzer Bucht Homothermie bis in 20 m und ein anschließendes Metalimnion von 30 m Dicke, im östlichen mittleren Obersee reicht der Haupttemperatursprung von 15 bis 30 m. Station 01 B am Eingang des Überlinger Sees zeigt am selben Tag ein 20 m starkes Epilimnion und den stärksten T-Rückgang zwischen 30 und 40 m.

1962 bringt der November als Auswirkung eines ungewöhnlich kräftigen Kaltlufteinbruchs in der zweiten Monatshälfte einen noch stärkeren Rückgang der Lufttemperatur als im Vorjahr. Mit $2,5^\circ$ wird das niederste Novembermittel der Jahre 1952/62 erreicht. Als bemerkenswerte Begleitumstände wurden registriert: eine Sonnenscheindauer von 39,9 h = 87 % des mehr-

jährigen Mittels; Bewölkung und vor allem Niederschläge bleiben ebenfalls mit 8,4 Zehnteln bzw. 19,0 l/m² unter der Norm. Schließlich ist auch die Windstärke mit 1,61 m/s gegenüber 2,03 m/s deutlich unterdurchschnittlich. Die Witterungsverhältnisse nach dem 15. 11. lassen bereits die Entwicklung zu einem strengen Winter erkennen. — Mit 8,7 ° wird ein aktuelles T₀-Mittel errechnet, das nunmehr ebenfalls unter dem 11jährigen Wert 1952/62 liegt; es ist hierbei jedoch zu vermerken, daß in der genannten Vergleichsperiode immerhin dreimal noch niedrigere T₀-Mittelwerte im November beobachtet worden sind, darunter als niederster 8,1 ° im Jahre 1952. Auch die weiteren Tiefen bis 60 m sind im gegenwärtigen November kälter als im mehrjährigen Mittel. Ein homothermes Epilimnion ist im Mittelwertsprofil nunmehr bis in 15 m ausgebildet, das Metalimnion reicht von 20 bis 40 m, wobei der Haupttemperatursprung sich zwischen 20 und 30 m findet. Die 8 °-Isotherme liegt in annähernd 22 m Tiefe. Der höchste 0 m-Wert des Monats wird in Station Wasserwerk Konstanz A vom 7. 11. mit noch 10,6 ° festgestellt, die niederste Oberflächentemperatur verzeichnet wieder Station 01 am 28. 11. mit 7,0 °; dabei reicht das Epilimnion am ersten Tag nur in knapp 15 m und die anschließende Sprungschicht in 40 m Tiefe, gegen Monatsende herrscht hier Homothermie bis in 20 m, ein relativ wenig hervortretendes Metalimnion ist noch zwischen 20 und 50 m ausgebildet. Die dazwischen liegenden Serien im mittleren Obersee sowie an seinem Ost- und Westende zeigen keine bemerkenswerten Besonderheiten, ihre Epilimnien haben durchweg 20 m Mächtigkeit, die Sprungschicht reicht mit Ausnahme der Station 05 bis in 40 m; Lindau-Rohrspitz hat auch hier wieder eine Unterschicht mit verhältnismäßig hohen Temperaturen bis in 60 m Tiefe.

Dezember

In seiner ersten Hälfte zeigt der Dezember 1961 infolge beträchtlicher Warmluftzufuhr wieder durchaus spätherbstliche Witterungszüge. Bei überdurchschnittlicher Einstrahlung und mäßiger Bewölkung bewegen sich die Lufttemperaturen in den Pentadenmitteln zwischen 4,0 und 8,0 °. Dabei herrscht Westlage mit verhältnismäßig kräftiger Windbewegung. Nach der Monatsmitte führt dann ein Kaltlufteinbruch zu ausgesprochenem Winterwetter, die T_L sinkt auf ein niedrigstes Pentadenmittel von — 6,0 ° ab, zugleich geht die Windtätigkeit merklich zurück. Das Monatsmittel entspricht mit einer T_L von + 1,6 ° dem 11jährigen Dezemberrmittel, die Windgeschwindigkeit liegt mit 2,37 m/s geringfügig über der Norm. — In diesem Monat stehen uns Temperaturwerte nur aus dem westlichen Obersee zur Verfügung. Da drei der hier durchgeführten Untersuchungsreihen in die erste Monatshälfte fallen, wirkt sich in den Ergebnismitteln mehr oder weniger deutlich das Übergewicht der Witterungsverhältnisse in dieser Zeit aus: T_w geht in den Oberflächenbereichen und auch in fast allen anderen Tiefen mäßig zurück, sie liegt jedoch, da ja schon die Novembertemperaturen den Vergleichswert überschritten hatten, wieder nicht unbeträchtlich zu hoch. Ein klares Epilimnion ist mit 7,4 ° nur bis in 10 m Tiefe ausgebildet, die Sprungschicht erstreckt sich über die folgenden 35 m. In der größten Tiefe wird der sommerliche Höchstwert bereits um 0,1 ° unterschritten, das Temperaturgefälle im 250 m-Mittelprofil beträgt noch 3,1 °. Die ersten drei Serien des Monats unterscheiden sich in ihren Temperaturen nicht nennenswert voneinander, dagegen haben sich die Verhältnisse bis zur Station Wasserwerk Konstanz B vom 28. 12. erheblich verändert: hier herrscht bei nur noch 5,9 ° Homothermie bis in 40 m Tiefe, in 60 m wird mit 5,7 ° der absolut höchste Wert des Jahreszyklus in dieser Tiefe gemessen.

1962: Der Wert von — 2,8 ° ist mit großem Abstand das niedrigste Dezemberrmittel der T_L während unserer 11jährigen Vergleichsperiode 1952/62 und zugleich das bisher einzige, das unter die 0°-Grenze absinkt. Von den sieben Pentaden des Monats erbringen vier Mittelwerte unter dem Gefrierpunkt, dabei liegt der niedrigste bei — 9,8 °. Unter den übrigen Witterungsdaten weichen nur die Windverhältnisse bemerkenswert von der Norm ab: Mit 2,78 m/s im Mittel ist die Windgeschwindigkeit unseres Monats nicht nur die höchste des Jahreszyklus

1962/63, sondern auch die höchste, uns bekannt gewordene Dezembergeschwindigkeit aus dem unmittelbaren Bodenseegebiet überhaupt. Ins Gewicht fallende windschwache Zeiten fehlen völlig. — Es ist selbstverständlich, daß der See auf diese extremen Verhältnisse deutlich reagiert. Aus seinem östlichen Teil liegen für den Rest des Jahreszyklus nur noch aus dem Januar 1963 Werte vor, die für den Winter 1962/63 gegebenen Mittel der Wassertemperatur sind demzufolge vorwiegend Ergebnisse der Untersuchungen westlich der Linie Friedrichshafen-Romanshorn. Schon im ersten Dezemberdrittel bildet sich — besonders am Südufer — im Brandungsgürtel bzw. in der Spritzzone des Strandes ein Eiswall. Das Mittel der T_0 sinkt von dem an sich schon niederen Novemberwert um $3,6^\circ$ (11jähriges Mittel = $2,8^\circ$) auf $5,1^\circ$ ab, es ist dies ebenfalls das niederste Dezembermittel der T_0 im gesamten Vergleichszeitraum. Bis in 100 m ist eine mehr oder weniger kräftige Temperaturabnahme festzustellen, dabei herrscht in den oberen 40 m des Mittelprofils Homothermie, eine letzte schwache Sprungschicht findet sich noch zwischen 40 und 60 m. Von 150 m bis in die größte Tiefe ändern sich die Werte vorläufig noch nicht, der Abfall von 0 auf 250 m beträgt $0,8^\circ$. Folgende Einzelheiten über den Monatsverlauf sind erwähnenswert: Der höchste T_0 -Wert wird in Untersuchungspunkt 01 A am 4. 12. mit noch $5,8^\circ$ gemessen; immerhin sind schon hier, das heißt zu Anfang des Monats, die Werte in 0 bis 30 m niedriger als im 11jährigen Monatsmittel für Dezember. Es besteht Temperaturgleichheit bis in 40 m. Am 13. 12. liegen im mittleren Obersee die 0 bis 60 m-Werte um $0,4$ bis $0,2^\circ$ unter denen der erstgenannten Serie; in Süßenmühle werden an diesem Tag an der Oberfläche nur noch $4,9^\circ$ beobachtet. Wasserwerk Konstanz B vom 21. 12. schließlich bringt im Anschluß an eine besonders kräftige Windperiode bei ausgesprochener Westlage mit einer T_w von $4,2$ bis $4,3^\circ$ praktisch Homothermie bis in 60 m Tiefe, das heißt, wir dürfen annehmen, daß gegen Ende des Monats bereits in der gesamten Wassersäule des Obersees von 0 bis 250 m Tiefe Temperaturgleichheit bestanden hat.

Januar

Der Januar ist der erste Wintermonat des Seejahreszyklus im Bodensee-Obersee; in seiner zweiten Hälfte gleichen sich im allgemeinen die Temperaturen im größten Tiefenprofil einander weitgehend an. Je nach Lage der Witterung verbringt der See dann nach unseren Beobachtungen die folgenden 6 bis 8 Wochen vorwiegend in inverser, weniger häufig in direkter Schichtung oder in andauernder Homothermie.

Im Gegensatz zum mehrjährigen Verlauf der T_L -Kurve, nach dem der Januar der kälteste Monat des Jahres ist, erreicht der Januar 1962 mit $+1,3^\circ$ nur ein geringfügig niedrigeres T_L -Mittel als der vorausgegangene Dezember, dabei sinkt lediglich in der ersten Pentade das Mittel unter 0° ab. Nahezu normale Bewölkung, eine Sonnenscheindauer von 118 % und Niederschläge, die 180 % des mehrjährigen Vergleichswertes erreichen, sowie eine leicht über dem Mittel liegende Windgeschwindigkeit von 2,23 m/s sind die weiteren Kennzeichen der Witterung des Monats. — Die mittlere Wassertemperatur des gesamten Profils bis in 60 m Tiefe zeigt nach annähernd durchschnittlichem Rückgang Werte, die mit $5,2$ bis $5,0^\circ$ um $0,8$ bis $0,6^\circ$ über dem mehrjährigen Mittel verbleiben. In 100 m werden nach einem Anstieg um $0,3^\circ$ gegenüber Dezember $4,0^\circ$ erreicht, es ist dies das Jahresmaximum in dieser Stufe. Das Gefälle im Mittelprofil beläuft sich von 0 bis 250 m auf $0,9^\circ$, es besteht somit noch klar direkte Schichtung. Die einzelnen Serien fügen sich ohne Zwang bis gegen das Monatsende in dieses Bild ein. Auf den ungewöhnlich kalten Dezember 1962 folgt ein ebenso extrem kalter Januar 1963. Nach den beiden ersten, noch verhältnismäßig milden Pentaden mit T_L -Mittelwerten über der 0° -Grenze setzt eine Kälteperiode ein, die ohne Unterbrechung bis in das erste Drittel des März anhält. Dabei beträgt in der Zeit vom 11. bis 30. 1. das höchste Pentadenmittel — $6,4^\circ$, das niederste — $11,1^\circ$. Diese Entwicklung führt zu einem Monatsmittel, das mit $-5,6^\circ$ um $5,0^\circ$ unter dem Januarmittel 1953/63 liegt. Die mittlere Bewölkung bleibt um 0,2 Zehntel unter dem 11jährigen Wert, die Gesamtsonnenscheindauer des Monats macht 111 % der Norm

aus. Nach einem merklichen Rückgang gegenüber Dezember 1962 befindet sich die mittlere Windstärke nunmehr mit 2,17 m/s sehr nahe beim Vergleichswert von 2,10 m/s. Eine längere Periode reger Windtätigkeit mit überwiegend Stärkemitteln von mehr als 3 m/s kommt dabei ins zweite Monatsdrittel zu liegen, ausgesprochen windschwache Zeiten sind nicht zu verzeichnen. — Im mehrjährigen Mittel des Jahresverlaufs der T_0 ergibt sich ein Rückgang von einem Dezemberwert von $6,3^\circ$ auf $4,4^\circ$ im Januar. 1962/63 sinkt die Oberflächentemperatur stärker von einem erheblich niedrigeren Ausgangswert von $5,1^\circ$ auf $2,9^\circ$ ab. Auch in den übrigen Tiefen bis in 150 m fallen die Temperaturen, lediglich in 200 bis 250 m bleiben sie zunächst noch unverändert. Damit erreichen die Werte in den oberen 60 m des Wasserkörpers bereits jetzt einen Tiefstand, der in den 11jährigen Monatsmitteln 1952/63 zu keinem Zeitpunkt erreicht, und der in den 11 Einzeljahren nur zweimal, im Februar und zum Teil im März 1954 und im Februar und zum Teil im März 1956, unterschritten wird. Bei ausgeprägt inverser Schichtung beträgt die Temperaturdifferenz im Mittelprofil $1,4^\circ$. Im einzelnen zeigt der Monat folgenden Verlauf: Am 3. 1. sind vor dem Wasserwerk Konstanz die Temperaturen des gesamten Profils schon unter 4° abgesunken, es herrscht schwach inverse Schichtung mit einer T_0 von $3,7^\circ$. Knapp 14 Tage später, am 16. 1., werden in Fischbach-Uttwil in 0 m noch $3,6^\circ$ gemessen, in Süßenmühle $3,4^\circ$. Die beiden letzten Serien, Langenargen-Arbon und Wasserwerk Konstanz B, werden gleichzeitig am 24. 1. durchgeführt. Dabei bringt die Station in der östlichen Seemitte noch eine Oberflächentemperatur von $2,6^\circ$, am Eingang des Überlinger Sees werden in 0 m nur mehr $1,4^\circ$ erreicht. Dieser letzte Wert ist schon durch einen leichten Treibeisgürtel von etwa 1,5 km Breite beeinflusst, der das Südufer des Seeteils bedeckt. Im westlichen Überlinger See besteht um diese Zeit bereits eine feste Eisdecke, deren östlicher Rand etwa auf der Höhe Bodman-Ludwigshafen verläuft, und der ebenfalls noch ein Treibeisgürtel vorgelagert ist. Ähnliche Verhältnisse finden sich in der Konstanzer Bucht und im Südostende des Sees bei Lindau und in der Bregenzer und Fussacher Bucht. In den letzten Januartagen schiebt sich das Eis aus diesen Buchten rund um den See in die Freiwasserzone vor, der Obersee steht damit im Beginn der „Gefrörne“.

Februar

Angesichts der milden Januarwitterung bedurfte es nur eines mäßigen Kälteeinbruchs über den Monatswechsel hinweg und zweier relativ kalter Pentaden gegen Ausgang Februar 1962, um diesen Monat zum kältesten des Winters 1962/63 werden zu lassen. Das T_L -Mittel beträgt $0,6^\circ$, es liegt immerhin noch um $0,6^\circ$ über der Norm. Sonnenscheindauer und mittlere Bewölkung weichen kaum vom mehrjährigen Vergleichswert ab, ebenso die Niederschlagsmenge. Ungewöhnlich stark sind dagegen die Luftbewegungen unseres Monats mit einem Windstärkemittel von 2,98 m/s, dem absolut höchsten aller Monatsmittel aus der Vergleichszeit. — Nach bisheriger Erfahrung ist der Februar der kälteste Seewintermonat im Obersee. Im 11jährigen Mittelprofil herrscht inverse Schichtung, die Oberflächentemperatur beträgt dabei $3,5^\circ$. Wie schon in den vorhergehenden Monaten seit September 1961 liegt das aktuelle T_0 -Mittel mit $4,5^\circ$ wieder deutlich über dem Vergleichswert. Der kräftige Wind führt zu Homothermie bis in etwa 60 m, da jedoch in den großen Tiefen die ursprünglichen Temperaturen noch erhalten bleiben, besteht weiterhin leicht direkte Schichtung mit einem Gefälle von $0,2^\circ$ in 0 bis 250 m. Die einzelnen Serien zeigen bezeichnenderweise fast völlige Übereinstimmung mit dem Mittelprofil, lediglich in Station 01 A liegen die Werte in 0 bis 60 m noch um $0,1^\circ$ über denjenigen der noch folgenden Profile.

Mit einem Lufttemperaturmittel von $-4,7^\circ$ ist auch der Februar 1963 wesentlich kälter als im Durchschnitt der Jahre 1953/63. Wie schon angedeutet, überschreitet in keiner der fünf Pentaden des Monats das Mittel der T_L den Gefrierpunkt, $-10,3^\circ$ sind der niederste, $-0,5^\circ$ der höchste Pentadenwert. (Der absolut kälteste Februar des Vergleichszeitraums war der des Jahres 1956, er erbrachte ein T_L -Mittel von $-7,8^\circ$.) Während die übrigen Witterungsdaten

keine gewichtigen Besonderheiten zeigen, ist für die weitere Entwicklung der Seegefrörne der Rückgang des Windstärkemittels auf 1,68 m/s gegenüber einer Norm von 2,30 m/s wichtig, vor allem die windschwachen Tage vom 4. bis 7. 2. wirken sich auf den raschen Fortgang der Vereisung aus. — Als erste Untersuchungsserie des Februar 1963 kann die Station A vor dem Wasserwerk Konstanz am 4. 2. noch einmal vom Boot aus durchgeführt werden, während der Arbeiten ist dieses von 1 cm dickem Platteneis umgeben. T_0 und T_5 sind mit $0,5^\circ$ schon außerordentlich niedrig, der T_5 -Wert ist bezeichnenderweise bei noch nicht geschlossener Eisdecke der niedrigste des Monats in dieser Tiefe. In 60 m werden noch $3,1^\circ$ gemessen. Während der dieser Serie vorausgegangenen Tage hat sich die Eisdecke des Überlinger Sees weiter ausgebreitet, ihr Ostrand verläuft inzwischen hart westlich der Route der Fährschiffe Konstanz-Staad — Meersburg. Am 7. 2. muß der Fährebetrieb eingestellt werden, zu diesem Zeitpunkt ist auch der übrige Obersee bereits völlig eisbedeckt, eine Rinne von unterschiedlicher Breite etwa auf der Höhe Friedrichshafen-Romanshorn ausgenommen, die sich auch im weiteren Verlauf der Gefrörne nie ganz schließt. Als zweite Serie wird im Überlinger See anstelle von Station 02 am 15. 2. ein Profil zwischen Dingelsdorf und Überlingen vom Eis aus gemessen, die Eisdicke beträgt hier 22,5 cm. T_0 ergibt $0,2^\circ$, T_{60} $3,1^\circ$. Am 26. 2. liegt die letzte Februarserie noch einmal vor dem Wasserwerk Konstanz, das Eis ist 20,0 cm dick; T_0 beträgt $0,8^\circ$, in 60 m werden $3,0^\circ$ festgestellt. Da die Serien über großer Tiefe nicht ausgeführt werden können, reicht das Mittelprofil für Februar 1963 nur bis 60 m Tiefe. Es ergibt einen Oberflächenwert von $0,5^\circ$ und eine 60 m-Temperatur von $3,1^\circ$ gegenüber entsprechenden mehrjährigen Werten von $3,5$ bzw. $3,9^\circ$. Die Differenz in diesem Profil, das in seinem Tiefenbereich das bisher kälteste des Bodensee-Obersees ist, macht somit $2,6^\circ$ aus. — Da die hochwinterliche Witterung über die Monatswende bis in den März hinein bestehen bleibt, halten die Eisverhältnisse auf dem Obersee ohne wesentliche Veränderung an.

März

Die Lufttemperatur steigt von Februar auf März 1962 nur geringfügig an, das aktuelle Märzmittel beträgt $1,8^\circ$ gegenüber einem mehrjährigen Wert von $4,4^\circ$. Die mittlere Bewölkung liegt nicht unbedeutend über, die Insolation bei einer Gesamtsonnenscheindauer von 141,0 h gegenüber 153,5 h etwas unter dem mehrjährigen Durchschnitt. Mit 2,12 m/s übersteigt die mittlere Windstärke die Norm geringfügig, etwas mehr als die Hälfte der Tagesmittel liegt bei über 2 m/s; längere Perioden der Windruhe fehlen noch. Die niederen Lufttemperaturen des März führen zu einem nochmaligen Rückgang der Wassertemperaturen; wir beobachten als Folge kräftiger, windbedingter Durchmischungsvorgänge und Schichtschwankungen im gesamten Mittelprofil Abnahmen um $0,3$ bis $0,2^\circ$ gegenüber Februar. Damit ist erst jetzt volle Homothermie erreicht, $4,2^\circ$ stellen außerdem in sämtlichen Tiefen die minimale Monatsmitteltemperatur des Zyklus 1961/62 dar. (Im mehrjährigen Jahresgang steigt im März T_0 schon ganz geringfügig an, in 10 bis 60 m wird nach der inversen Februarschichtung jetzt erneut Homothermie bei $3,9^\circ$ erreicht.) Zu einer leicht inversen Schichtung kommt es in der ersten Monatshälfte tatsächlich doch noch in zwei Einzelserien: Am 7. 3. zeigt Station 01 A in den oberen 50 m Homothermie bei $4,0^\circ$, in 60 m dagegen beträgt die Temperatur noch $4,2^\circ$; tags darauf wird in Langenargen-Arbon im 200 m-Profil ein Anstieg von $3,9^\circ$ an der Oberfläche auf $4,2^\circ$ in 200 m Tiefe festgestellt. Serie 03 bringt am 14. 3. wieder ein schwach direkt geschichtetes Profil mit $T_{1-50} = 4,4^\circ$ und einen Abfall auf $4,2^\circ$ in 60 bis 200 m. In den übrigen Untersuchungspunkten des westlichen Obersees und den gegen Monatsende noch einmal wiederholten Serien im östlichen Bereich beobachten wir gelegentlich einen etwas unregelmäßigen Verlauf der Temperaturen, wie er in der Zirkulationsphase naturgemäß nicht selten auftritt; bei Station 05 kann sich hierbei zusätzlich noch die Rheinströmung störend ausgewirkt haben. 1963 steigt die Lufttemperatur von im Mittel — $4,7^\circ$ im Februar auf + $2,1^\circ$ im März an, sie liegt immer noch um $2,3^\circ$ unter der Norm. Für die beiden ersten Pentaden werden mit — $5,3^\circ$

bzw. — $4,9^{\circ}$ erneut sehr niedere Temperaturmittel verzeichnet; ab 7. 3. unterschreiten dann aber die Pentadenmittel nach einem Warmlufteinbruch die 0° -Grenze nicht mehr. Bewölkung und Gesamtsonnenscheindauer liegen jeweils in der Nähe der mehrjährigen Vergleichswerte, die Niederschlagsmenge steigt auf 188 % an. Ebenfalls beträchtlich nimmt die Windtätigkeit des Monats zu, sie beträgt im Mittel 2,07 m/s; dabei sind besonders die höheren Windstärken während der Tage vom 9. bis 13. und vom 17. bis 23. 3. bei ausgesprochener Westlage für den Eisaufbruch von Bedeutung. — Die erneute Kältezufuhr um den Monatsbeginn festigt wieder die in den letzten Februartagen stellenweise schon brüchig gewordene Eisbedeckung des Sees. Als erste Serie im März kann daher das Profil beim Wasserwerk Konstanz am 6. 3. noch einmal vom Eis aus gemessen werden. In dem Eis-Wassergemisch des geschlagenen Loches ergeben sich als T_0 $0,0^{\circ}$, das übrige Profil unterscheidet sich nur geringfügig von der letzten Serie des Vormonats am gleichen Ort. Schon am folgenden Tag brechen mit Einsetzen der Westlage im Obersee einzelne Stellen im Eis auf, in denen nun — zusätzlich zu dem stets offen gebliebenen Bereich im mittleren Obersee — der Wind an der Oberfläche des Wassers angreifen und dieses in Bewegung bringen kann. Nachdem am 12. 3. das Gebiet beim Wasserwerk Konstanz durch Abdrift eines großen Eisfeldes nach Osten frei geworden ist, wird am 14. 3. hier eine Untersuchungsserie eingelegt, die erstmals nach der Gefrörne wieder vom Boot aus durchgeführt wird: T_0 beträgt $1,5^{\circ}$, T_{60} $3,3^{\circ}$, in allen Tiefenstufen liegt somit die Temperatur — wahrscheinlich infolge windbedingter Austauschvorgänge — schon mehr oder weniger über den Werten des 6. 3. Am 20. 3. ist auch Station Fischbach-Uttwil wieder mit dem Boot erreichbar. Die Oberflächentemperatur ist inzwischen bereits auf $2,5^{\circ}$ angestiegen, ab 30 m nehmen die Werte weiterhin zu, jedoch zeigt das ganze Profil bis in größte Tiefe einen deutlichen Rückgang gegenüber den Werten der letzten Serie vor der Gefrörne. So beträgt T_{250} nurmehr noch $3,9^{\circ}$. Anstelle des Profils vor Süßenmühle wird am 20. 3. noch einmal eine Untersuchungsserie beim Wasserwerk Konstanz durchgeführt. Die hier gemessenen Werte unterscheiden sich nur unwesentlich von den Temperaturen am 20. 3. aus dem mittleren Obersee. Das Mittelprofil des Monats zeigt erneut klar inverse Schichtung mit einer T_0 von $1,6^{\circ}$ und einer T_{250} von $3,9^{\circ}$. — Im letzten Drittel des März geht die Vereisung des Obersees weiter rasch zurück, am 1. April 1963 ist der gesamte Bodensee-Obersee wieder eisfrei.

3. Zusammenfassende Übersicht

Im Zyklus 1961/62 ist der See *in den oberen 60 m seiner Wassersäule zu allen Zeiten ganz allgemein zu warm*. Die Differenzen zwischen den aktuellen Monatsmitteln und den mehrjährigen Vergleichswerten sind natürlich in den oberen Schichten besonders augenfällig, sie betragen in 10 m Tiefe z. B. zeitweise mehr als 2° , aber auch in 30 m und selbst in 60 m werden die überdurchschnittlichen Werte im Jahresverlauf durch keine Ausnahme unterbrochen. Für die Verhältnisse im tiefen Hypolimnion fehlen uns vorläufig noch ausreichende eigene Vergleichsmöglichkeiten, jedoch weisen die bisher in der Literatur bekannt gewordenen Temperaturen aus größter Seetiefe darauf hin, daß auch unsere Werte aus 250 m sich annähernd das ganze Jahr über in der Nähe der Obergrenze bewegen. — Die Thermik des Oberflächenwassers zeigt gegenüber dem normalen Jahresverlauf im Sommer eine vor allem ökologisch nicht belanglose Abweichung, die auf Unregelmäßigkeiten im Witterungsablauf zurückgeht: *Die höchste Oberflächentemperatur* wird — als Folge einer ungewöhnlich starken Einstrahlung in diesem Monat — *erst im September* anstatt im Juli erreicht. Zwischen Juli und September brechen die Temperaturen in der 0—5 m-Schicht infolge kräftiger Kaltluftzufuhren im August merklich ein. Diese Entwicklung führt dazu, daß im September neben dem T_0 -Wert die gesamte 0—15 m-Schicht ins Maximum gerät, während in 20 und 30 m Tiefe entgegen

aller Regel die Höchstwerte bereits im August beobachtet worden sind. Als weitere Ausnahmeerscheinung der letzten 11 Jahre ist festzuhalten, daß im Seewinter 1961/62 erst sehr spät im März Homothermie eintritt und daß dabei offenbar auch *nur ganz kurzfristig* in einigen Profilen eine Andeutung von *inverser Schichtung* beobachtet werden kann, während der See in den beiden vorausgegangenen Wintermonaten *stets direkt* geschichtet war.

Auch das Jahr 1962/63 weicht — von anderen, mehr oder weniger belanglosen Unterschieden abgesehen — im Sommer dadurch vom Normalgang der Temperatur im Bodensee ab, daß das Maximum der Oberflächentemperatur wiederum nicht in den Juli, sondern, wie auch das höchste T_L -Mittel, in den August fällt. Wie im Vorjahr übersteigen die Höchstwerte in der 0—10 m-Schicht die mehrjährigen maximalen Vergleichswerte ebenfalls z. T. erheblich, in den weiteren Tiefen des Meta- und des oberen Hypolimnions dagegen werden die mehrjährigen Höchstwerte nicht erreicht. Auf jeden Fall liegen die Temperaturen des Sees während der ersten 7 Monate des Zyklus 1962/63 im ganzen näher bei der Norm als im Vorjahr. Das heißt, daß der See schon im ersten Teil des Jahres 1962/63 durchweg beträchtlich kälter ist als zur gleichen Zeit des Jahres 1961/62. Die Frage, ob diese Situation schon die weitere Entwicklung im Spätherbst und Winter 1962/63 beeinflusst hat, kann allerdings wohl verneint werden: Noch im September/Oktobre liegen die Wassertemperaturen im 0—60 m-Profil zum größeren Teil schwach über oder wenigstens nahe bei den 11jährigen Mitteln. Erst in der zweiten Hälfte des November markiert der erwähnte starke Kaltlufteinbruch den Beginn eines *außergewöhnlich kalten Winters*, wobei dann schon gegen Ende dieses Monats die Wassertemperaturen bis in größere Tiefen auf die Witterung reagieren. Im weiteren Verlauf des Winters 1962/63 kommt es dann zur *ersten Seegefrörne des 20. Jahrhunderts*, nachdem der Bodensee-Obersee zum letztenmal im Jahre 1880 zugefroren war. Die Vereisung beginnt in den Uferbereichen bereits in der ersten Januarhälfte; die *Hochgefrörne*, während der der Obersee bis auf ein Areal von etwas wechselndem Umfang in seinem mittleren Teil vollständig von einer über 20 cm dicken Eisschicht bedeckt ist, *dauert bis gegen das Ende der zweiten Märzwoche*. Dann löst sich die Eisbedeckung in relativ kurzer Zeit auf, so daß der See zu Anfang des neuen Seejahres 1963/64 wieder völlig eisfrei ist. Während sich die Temperaturen in den Oberflächenschichten im folgenden Frühjahr ziemlich rasch normalisieren, wirkt die Gefrörne auf die Temperaturverhältnisse in den großen Tiefen des Sees offenbar über mehr als zwei Jahre nach.

*

Zwei Erscheinungen, die im Verlauf der zweijährigen Untersuchungsperiode im Bodensee-Obersee beobachtet werden konnten, seien noch erwähnt, ohne daß darüber hier schon Abschließendes gesagt werden soll. Wie einleitend hervorgehoben, läßt sich ein genereller Vergleich des thermischen Verhaltens einzelner größerer geographischer Bereiche des freien Obersees anhand unseres Untersuchungsmaterials nicht durchführen, da die geringe Zahl unserer Serien, vor allem aber ihre verschiedene zeitliche Lage, dies nicht zulassen. Immerhin waren aus rein praktischen Gründen zweimal zwei der monatlichen Profile einander wenigstens insofern koordiniert, als sie fast ausnahmslos an ein und demselben Tag durchgeführt worden sind. Es sind dies die Stationen Lindau-Rohrspitz (05) und Langenargen-Arbon (06) im östlichen Obersee und die Profile Fischbach-Uttwil (03) im mittleren Obersee und vor Süßenmühle (02) im westlichen Überlinger See. Mit den entsprechenden Vorbehalten — besonders im Hinblick auf die fast stets gegebenen Schichtschwankungen — erscheint es möglich, die in den Einzelprofilen dieser beiden Stationspaare angetroffenen Temperaturverhältnisse einmal einander gegenüberzustellen (Abb. 3 und 4).

Dabei ergibt sich für die beiden östlichen Profilvereihe folgendes: In den Frühjahrsmonaten April und Mai 1961 und Mai und Juni 1962 sowie — erheblich klarer — in den Spätsommer-/Herbstmonaten September bis November beider Jahre erscheint der Bereich vor dem Eingang zur Bregenzer Bucht *wärmer* als das Gebiet in Seemitte zwischen Langenargen und Arbon. Besonders deutlich zeichnet sich diese Tatsache in den Isothermenlagen zwischen 8, zum Teil

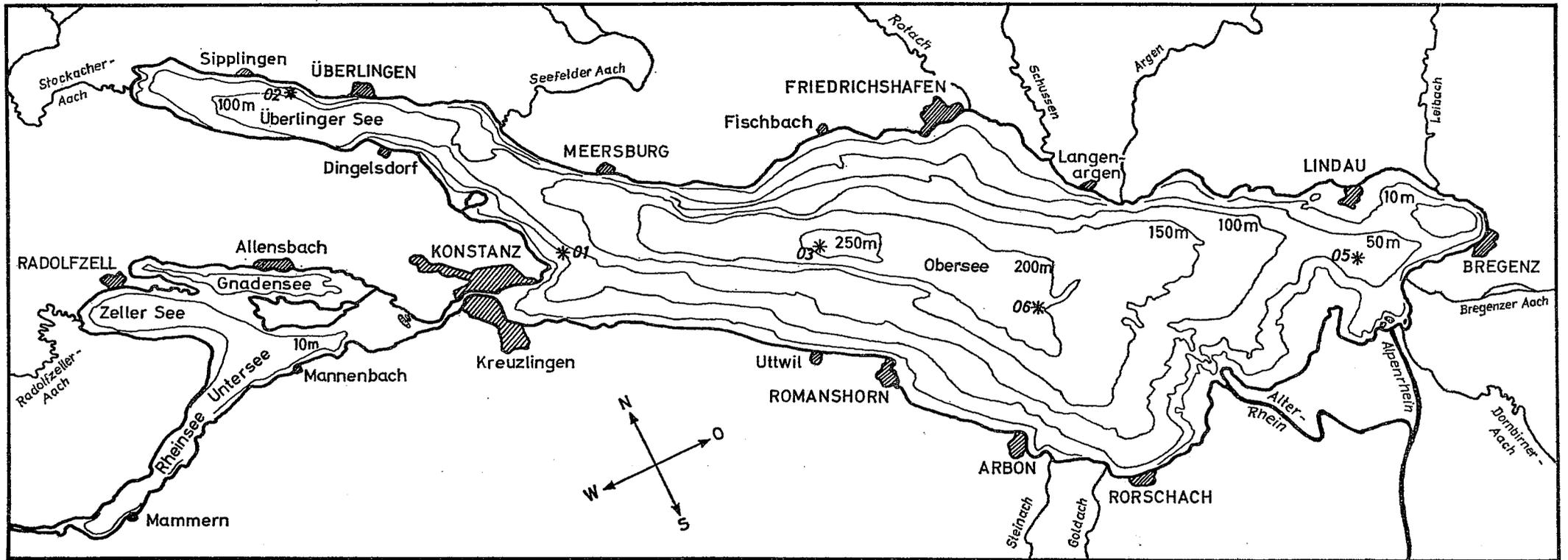
auch 10, und 5 bis 6 ° ab. Während der Sommermonate sind die Verhältnisse unklar, gelegentlich in den einzelnen Profilpaaren einander widersprechend oder von Paar zu Paar entgegengesetzten Ganglinienverlauf zeigend. Der Befund kann unter Umständen die Darstellungen jener Autoren stützen bzw. ergänzen, die sich mit den Strömungssystemen im östlichen Seeteil befaßt haben, seien diese in erster Linie durch den Rheinschub bestimmt oder auch durch die in den genannten Zeiten vorherrschenden Windverhältnisse, wie sie sich vor allem in der Längsachse des Sees auswirken.

Das zweite Profilpaar aus dem westlichen Obersee weist mit wenigen Ausnahmen (April 1961, Juni 1962) darauf hin, daß offenbar der Überlinger See in seinem westlichen Teil während der Zeit von April/Mai bis November/Dezember nicht unbeträchtlich *kälter* ist als der ihm vorgelagerte eigentliche Obersee. Beckenmorphologisch kann diese Erscheinung dadurch erklärt werden, daß das Verhältnis von Einstrahlung empfangender Oberfläche zu darunter liegender Wassermasse im breiten Obersee wesentlich günstiger für eine Wärmeaufnahme ist als im schmalen, langen und trotzdem relativ tiefen Überlinger See. Aber auch hier dürfte das Übergewicht der Westwinde auf die Entwicklung der Temperaturen von Einfluß sein.

ZITIERTE LITERATUR :

- [1] ANSTALT FÜR BODENSEEFORSCHUNG DER STADT KONSTANZ: Limnologischer Monatsbericht – Überlinger See (Obersee), Jahrg. 1–6, 1957/63.
- [2] AUERBACH, M., MAERKER, W. und SCHMALZ, J.: Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen I. Arch. f. Hydrobiol., Suppl. III, 1924.
- [3] AUERBACH, M., MAERKER, W. und SCHMALZ, J.: Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen II. Verh. natw. Ver. Karlsruhe, 30, 1926.
- [4] ELSTER, H.-J. und EINSELE, W.: Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee). Int. Revue ges. Hydrob. u. Hydrogr., 35, 1937.
- [5] FOREL, F. A.: Die Temperaturverhältnisse des Bodensees. Schr. Ver. f. Gesch. d. Bodensees, 22, 1893.
- [6] KLEINSCHMIDT, E.: Beiträge zur Limnologie des Bodensees. Schr. Ver. f. Gesch. d. Bodensees, 49, 1921.
- [7] LEHN, H.: Jahresverlauf der Temperaturschichtung im Bodensee. Das Gas- und Wasserfach, 103, 1962.
- [8] LEHN, H.: Einige Frühjahrsbefunde über die Isothermen – Phytoplankton – Relation im Bodensee. Arch. f. Hydrobiol., 59, 1963.
- [9] WASMUND, E.: Temperaturschichtungen im Bodensee. Gerl. Beitr. z. Geophysik, 40, 1933.

Karte des Bodensees



* Untersuchungsort

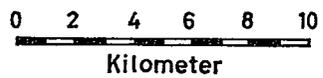


Abb. 1

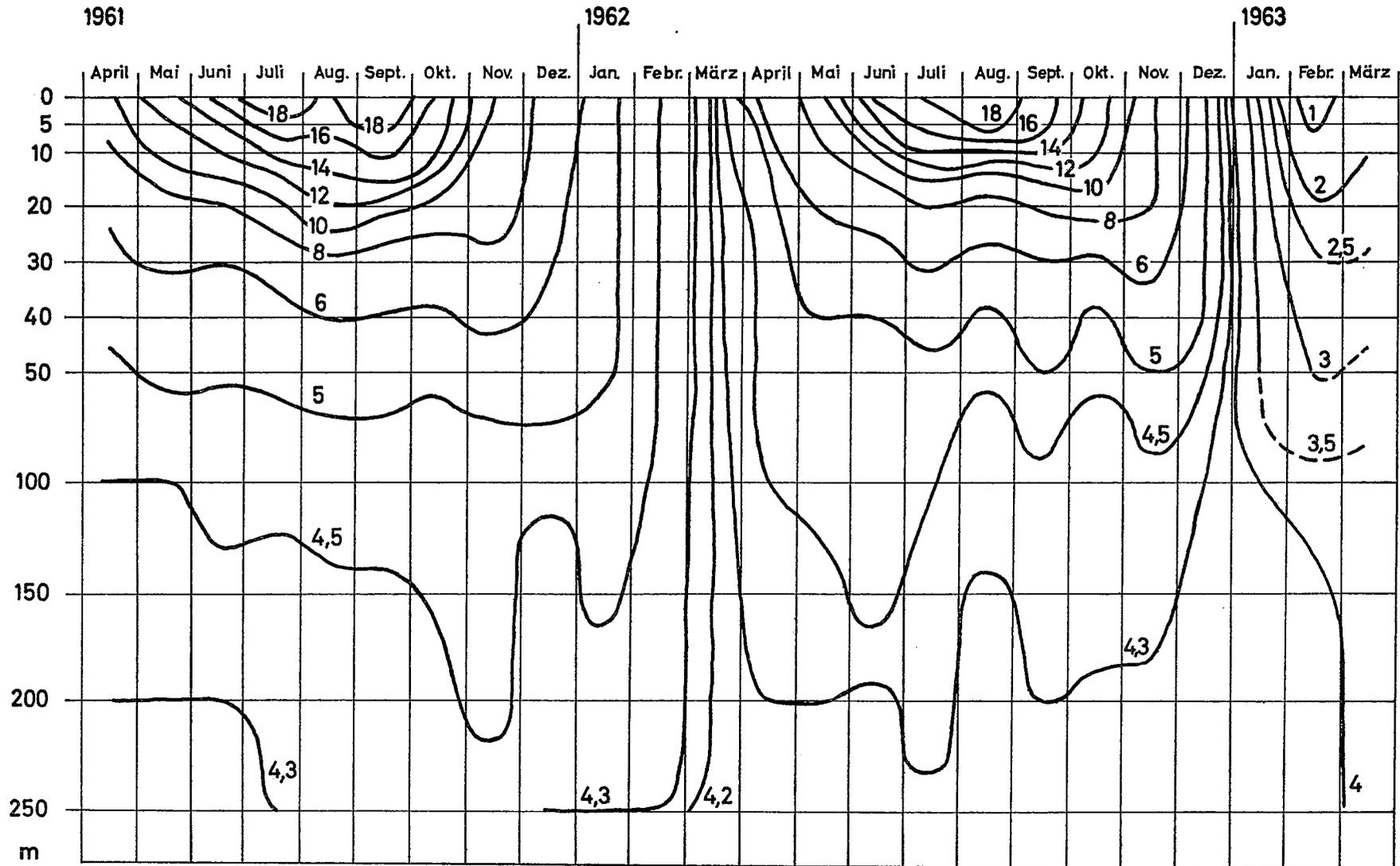


Abb. 2

Bodensee - Obersee 1961 u. 1962 Isothermenlage zwischen den Stationen

Lindau - Rohrspitz (E) und Langenargen - Arbon (W)

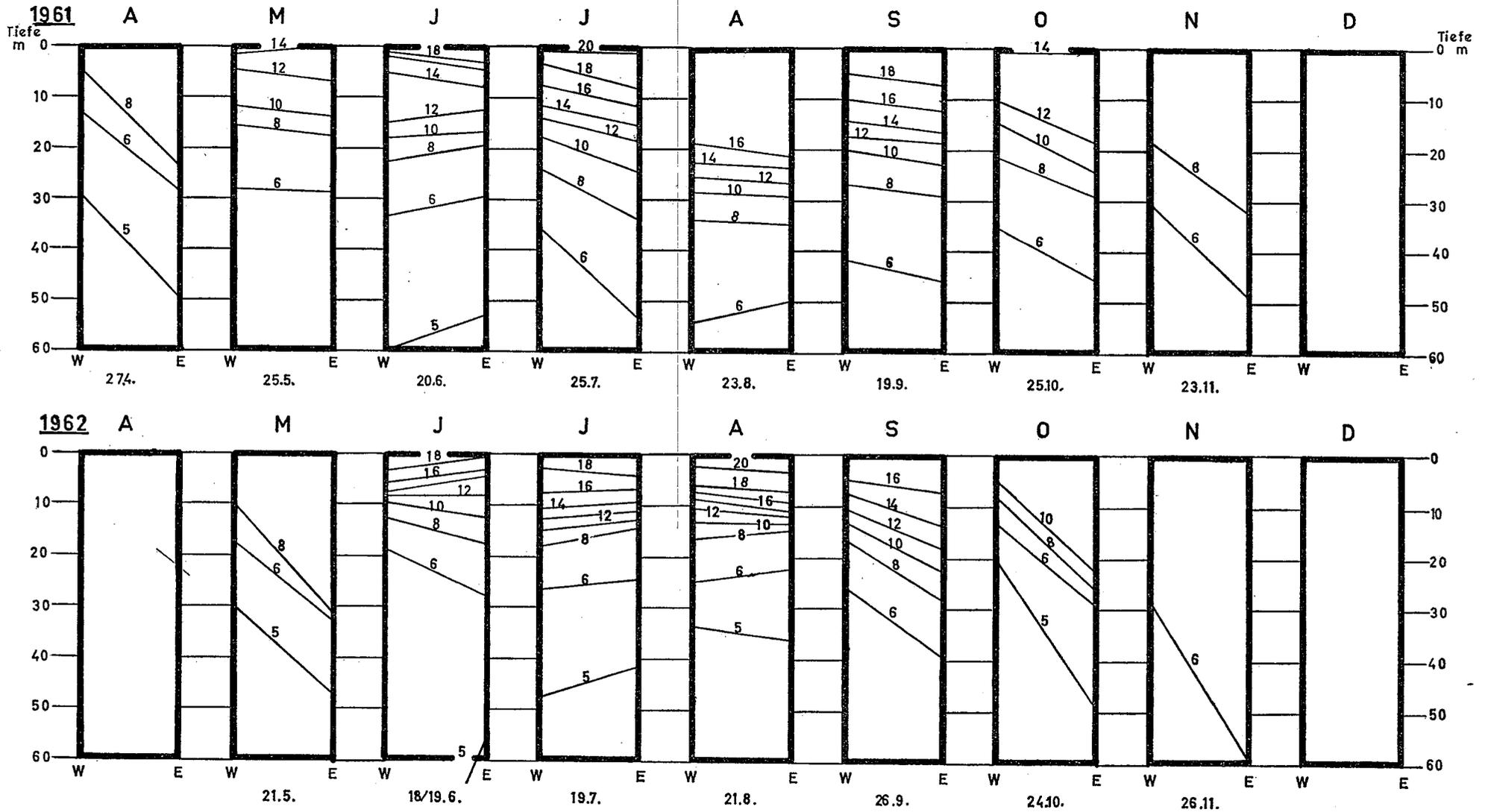


Abb.3

Bodensee – Obersee 1961 u. 1962

Isothermenlage zwischen den Stationen
Fischbach – Uttwil (E) und vor Süßenmühle (W)

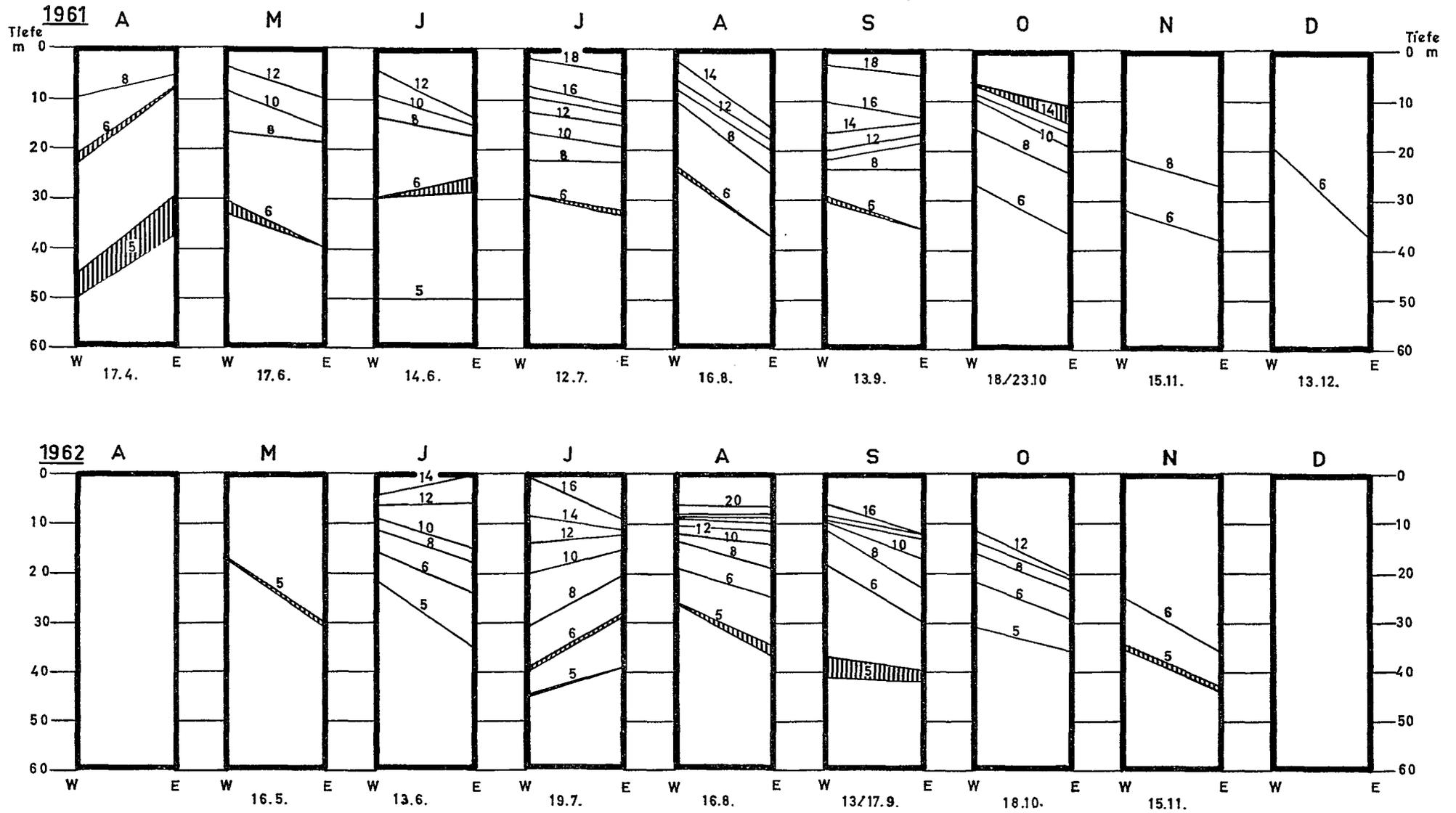


Abb.4

BODENSEE-OBERSEE
 Untersuchungsort Lindau-Rohrspitz (Seemitte) (05)
 Wassertemperaturen in °C

Tabelle Nr. 1

Tiefe	Datum 1961								1962	
	27. 4.	25. 5.	20. 6.	25. 7.	23. 8.	19. 9.	25.10.	23. 11.	18. 1.	8. u. 29. 3
0 m	12.1	14.0	19.1	20.3	17.8	19.8	14.1	9.4	5.1	4.1
2,5 m	11.1	13.2	18.3	19.6	17.6	19.4	13.9	8.6	5.1	4.2
5 m	11.0	12.4	15.4	19.3	17.7	18.9	13.9	8.6	5.0	4.1
10 m	10.9	11.2	13.0	17.2	17.3	16.8	13.8	8.7	5.0	4.2
15 m	10.1	9.6	10.9	14.1	17.1	15.0	12.7	8.7	5.0	4.0
20 m	9.5	7.3	7.5	11.0	16.9	10.7	11.6	8.7	5.0	4.1
30 m	5.5	5.8	5.9	8.6	9.2	7.7	7.6	8.3	5.0	4.0
40 m	5.2	5.4	5.4	7.1	6.6	6.3	6.4	7.0	4.9	4.0
50 m	5.0	5.2	5.2	6.3	6.0	5.8	5.7	5.9	4.9	4.1
60 m	4.4	5.0	4.5	5.5	5.5	5.2	5.2	5.4	4.6	4.3

Tiefe	Datum 1962								
	17. 4.	21. 5.	19. 6.	19. 7.	21. 8.	26. 9.	24. 10.	26. 11.	
0 m	5.8	12.5	18.2	19.4	20.1	17.1	12.4	9.1	
2,5 m	5.8	10.5	17.3	19.0	20.1	17.1	12.2	9.1	
5 m	5.6	10.5	13.7	17.7	19.9	16.6	12.0	9.0	
10 m	5.6	10.5	11.0	13.5	15.7	15.5	12.0	9.0	
15 m	5.6	9.2	9.1	7.7	8.0	13.6	11.9	9.0	
20 m	5.6	8.3	7.1	6.3	6.2	11.0	11.4	9.0	
30 m	5.6	6.3	5.7	5.6	5.4	7.4	5.8	8.8	
40 m	5.6	5.3	5.2	5.1	4.8	6.0	5.2	7.9	
50 m	5.5	4.9	5.2	4.6	4.6	5.9	5.0	6.7	
60 m	5.3	4.6	4.9	4.5	4.3	5.6	4.6	6.0	

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Langenargen-Arbon (Seemitte) (06)
 Wassertemperaturen in ° C

Tabelle Nr. 2

Tiefe	Datum	1961								1962	
		27. 4.	25. 5.	20. 6.	25. 7.	23. 8.	19. 9.	25. 10.	23. 11.	18. 1.	8. u. 29. 3.
0 m		8.6	16.3	20.2	20.9	18.1	21.4	14.2	9.4	5.1	4.1
2,5 m		8.6	12.7	14.9	18.3	17.6	19.9	13.8	8.7	5.0	4.1
5 m		7.6	11.9	14.0	17.0	17.6	18.0	13.7	8.8	5.0	4.1
10 m		6.3	11.2	13.5	15.1	17.4	16.0	12.0	8.8	5.0	4.1
15 m		5.7	8.1	12.0	11.1	17.3	13.6	9.8	8.8	5.0	4.1
20 m		5.4	6.9	8.6	8.8	15.6	10.0	8.2	7.4	5.0	4.2
30 m		4.9	5.8	6.3	6.5	8.9	7.1	6.4	6.0	5.0	4.2
40 m		4.7	5.3	5.4	5.5	6.6	6.1	5.6	5.6	5.0	4.2
50 m		4.6	5.3	5.1	5.1	6.1	5.5	5.2	5.2	5.0	4.1
100 m		—	—	4.6	—	4.9	4.8	4.7	4.6	4.7	4.2
150 m		—	—	4.5	—	4.4	4.5	4.6	4.8	—	4.2
200 m		—	—	—	4.5	4.4	4.4	4.5	4.8	4.3	4.2

Tiefe	Datum	1962								1963
		17. 4.	21. 5.	18. 6.	19. 7.	21. 8.	26. 9.	24. 10.	26. 11.	24. 1.
0 m		4.9	9.3	20.4	18.2	20.2	15.9	11.1	7.2	2.6
2,5 m		4.9	8.6	18.9	18.1	20.0	15.9	10.9	7.2	3.0
5 m		4.9	8.4	16.1	17.4	19.5	16.0	10.1	7.2	3.0
10 m		4.8	7.9	9.6	14.8	12.4	12.3	6.7	7.2	3.2
15 m		4.8	6.2	6.6	10.0	8.5	8.5	5.6	7.2	3.3
20 m		4.7	5.7	5.7	6.8	6.8	6.6	5.0	7.2	3.3
30 m		4.7	5.0	5.3	5.6	5.2	5.5	4.7	5.7	3.4
40 m		4.7	4.9	5.2	5.3	4.7	4.7	4.5	4.6	3.5
50 m		4.6	4.9	5.2	4.9	4.6	4.6	4.4	4.5	3.6
100 m		4.6	4.8	5.0	4.6	4.4	4.3	4.3	4.3	4.0
150 m		4.5	4.4	5.0	4.5	4.2	4.3	4.3	4.3	4.4
200 m		4.4	4.4	4.2	4.5	4.2	4.4	4.3	4.3	4.4

BODENSEE-OBERSEE
 Untersuchungsort Fischbach-Uttwil (Seemitte) (03)
 Wassertemperaturen in °C

Tabelle Nr. 3

		Datum 1961									Datum 1962		
Tiefe		17. 4.	17. 5.	14. 6.	12. 7.	16. 8.	13. 9.	23. 10.	15. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	14. 3.
0	m	9.0	12.5	12.8	19.4	18.5	18.5	14.2	9.8	7.5	5.3	4.5	4.2
5	m	8.1	12.4	12.6	17.9	16.6	18.0	14.1	9.8	7.5	5.3	4.5	4.4
10	m	5.7	11.9	12.5	16.7	16.1	16.6	14.1	9.8	7.5	5.3	4.5	4.4
15	m	5.5	10.5	11.2	12.3	14.3	13.8	14.0	9.8	7.4	5.3	4.5	4.4
20	m	5.4	7.6	6.9	9.8	10.1	9.2	9.7	9.8	6.9	5.3	4.5	4.4
30	m	5.0	6.7	5.8	6.2	6.8	6.7	7.2	7.4	6.4	5.3	4.5	4.4
40	m	4.9	5.9	5.4	5.5	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.3	4.5	4.4
50	m	4.7	5.4	5.0	5.2	5.5	5.2	5.3	5.2	5.2	5.3	4.5	4.4
60	m	4.5	4.9	4.9	5.0	5.1	4.9	5.0	5.0	4.9	5.2	4.6	4.2
100	m	4.5	4.5	4.5	4.6	4.5	4.6	4.6	4.5	4.6	5.0	4.4	4.2
150	m	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.4	4.5	4.4	4.4	4.6	4.4	4.2
200	m	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.4	4.4	4.2
250	m	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.1

		Datum 1962								Datum 1963		
Tiefe		11. 4.	16. 5.	13. 6.	19. 7.	16. 8.	17. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	16. 1.	20. 3.
0	m	4.9	5.6	14.1	18.2	21.9	17.6	13.2	9.7	5.4	3.6	2.5
5	m	4.5	5.6	12.8	18.1	21.8	17.6	13.1	9.7	5.4	3.6	2.4
10	m	4.5	5.5	11.3	15.4	14.1	17.6	13.0	9.7	5.4	3.6	2.4
15	m	4.5	5.5	10.1	10.2	8.9	11.0	13.0	9.7	5.3	3.6	2.4
20	m	4.5	5.5	7.2	8.1	7.6	8.7	13.0	9.6	5.3	3.6	2.5
30	m	4.4	5.0	5.3	5.7	5.4	6.0	5.9	7.0	5.3	3.6	2.7
40	m	4.4	4.8	4.8	4.9	4.8	5.0	4.5	5.3	5.2	3.6	2.9
50	m	4.4	4.8	4.4	4.7	4.5	4.7	—	4.8	5.0	3.6	3.1
60	m	4.4	4.5	4.4	4.7	4.4	4.6	—	4.7	4.6	3.6	3.3
100	m	4.3	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	—	4.4	4.3	3.9	3.7
150	m	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.3	4.3	4.0	3.9
200	m	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	3.9
250	m	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	3.9

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort vor Wasserwerk Konstanz I (01 A)
 Wassertemperaturen in ° C

Tabelle Nr. 4

Tiefe	Datum 1961									Datum 1962		
	5. 4.	3. 5.	7. 6.	5. 7.	3. 8.	6. 9.	2. 10.	9. 11.	7. 12.	4. 1.	7. 2.	7. 3.
0 m	7.0	9.9	14.1	18.2	19.4	21.6	20.5	10.8	8.2	5.2	4.6	4.0
5 m	6.7	9.9	13.0	14.7	18.5	19.3	20.0	10.8	8.2	5.3	4.6	4.0
10 m	6.1	7.5	11.5	10.6	15.3	15.3	17.7	10.8	8.2	5.3	4.6	4.0
15 m	5.8	7.0	9.4	7.5	13.6	12.6	12.6	10.6	8.2	5.3	4.6	4.0
20 m	5.5	6.6	8.7	6.1	11.4	9.0	10.4	9.2	8.2	5.3	4.6	4.0
30 m	5.3	6.0	7.5	5.0	7.6	6.5	7.2	8.1	7.0	5.3	4.6	4.0
40 m	4.8	5.6	6.6	4.6	6.0	5.7	6.1	7.7	5.8	5.3	4.6	4.0
50 m	4.7	5.2	5.4	4.5	5.5	5.2	5.5	6.6	5.2	5.3	4.6	4.0
60 m	4.5	4.8	5.1	—	5.2	5.0	5.3	5.4	5.1	5.5	4.6	4.2

Tiefe	Datum 1962									Datum 1963		
	4. 4.	2. 5.	6. 6.	9. 7.	8. 8.	5. 9.	3. 10.	7. 11.	4. 12.	3. 1.	4. 2.	6. 3.
0 m	4.4	9.4	12.8	17.5	19.3	19.9	15.8	10.6	5.8	3.7	0.5	0.0
5 m	4.4	8.8	12.1	15.7	15.8	19.8	15.8	10.6	5.8	3.7	0.5	1.1
10 m	4.4	6.3	11.0	11.7	11.3	16.7	15.4	10.6	5.8	3.7	0.9	1.3
15 m	4.4	5.2	9.7	9.2	8.3	8.7	13.4	10.2	5.8	3.7	1.8	1.4
20 m	4.4	5.0	7.7	8.1	6.4	6.2	10.0	8.2	5.8	3.7	2.3	1.4
30 m	4.4	4.9	6.4	5.9	5.4	5.2	6.5	5.9	5.8	3.7	2.9	2.1
40 m	4.4	4.8	5.5	5.3	5.0	5.0	5.6	5.0	5.8	3.8	3.0	2.7
50 m	4.2	4.7	5.1	4.9	4.7	4.8	5.0	4.8	5.2	3.8	3.1	3.0
60 m	4.1	4.7	4.9	4.7	4.6	4.6	4.7	4.6	4.8	3.9	3.3	3.1

BODENSEE-OBERSEE
 Untersuchungsort vor Wasserwerk Konstanz II (01 B)
 Wassertemperaturen in °C

Tabelle Nr. 5

Tiefe	Datum 1961									Datum 1962		
	25. 4.	24. 5.	28. 6.	28. 7.	24. 8.	27. 9.	18. 10.	23. 11.	28. 12.	25. 1.	14. 2.	28. 3.
0 m	10.4	15.7	19.6	19.9	15.6	21.1	15.3	8.9	5.9	5.6	4.5	4.4
5 m	9.7	12.3	18.8	17.4	15.4	19.1	15.3	8.9	5.9	5.6	4.5	4.4
10 m	8.9	11.5	12.4	14.4	15.2	16.6	15.3	8.9	5.9	5.6	4.5	4.4
15 m	7.3	8.5	8.3	12.9	11.1	14.6	8.3	8.9	5.9	5.5	4.5	4.4
20 m	6.6	7.6	6.6	9.2	9.0	11.2	7.1	8.9	5.9	5.5	4.5	4.4
30 m	5.8	6.3	5.1	6.3	6.5	7.1	5.8	8.5	5.9	5.5	4.5	4.4
40 m	5.5	5.4	4.7	5.6	5.2	5.9	5.2	5.8	5.9	5.5	4.5	4.4
50 m	5.1	5.1	4.5	5.2	4.8	5.2	4.8	5.2	5.8	5.5	4.5	4.4
60 m	4.8	4.8	—	4.9	4.8	5.1	4.7	5.1	5.7	4.8	4.5	4.1

Tiefe	Datum 1962									Datum 1963		
	30. 4.	23. 5.	28. 6.	25. 7.	22. 8.	26. 9.	24. 10.	28. 11.	21. 12.	24. 1.	26. 2.	20. 3.
0 m	11.7	10.5	16.8	20.0	18.3	15.5	12.6	7.0	4.2	1.4	0.8	2.3
5 m	11.7	10.1	14.6	19.0	17.6	15.6	12.6	7.0	4.2	1.7	1.1	2.2
10 m	7.3	10.0	11.0	15.7	16.2	15.5	12.6	7.0	4.3	2.3	1.1	2.2
15 m	4.9	8.6	8.1	11.6	12.9	13.6	12.5	7.0	4.3	2.5	1.4	2.2
20 m	4.8	7.4	6.7	9.0	10.0	10.6	7.6	7.0	4.3	2.6	2.0	2.3
30 m	4.7	6.0	5.5	6.2	6.3	6.3	5.4	5.7	4.3	2.9	2.5	3.0
40 m	4.7	5.5	5.2	5.3	5.3	5.3	4.8	5.2	4.3	3.1	2.7	3.2
50 m	4.6	5.1	5.0	4.9	4.8	5.0	4.6	4.8	4.3	3.1	2.9	3.3
60 m	4.6	4.9	4.9	4.7	4.7	4.8	4.4	4.7	4.2	3.2	3.0	3.5

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort vor Süßenmühle (02)
 Wassertemperaturen in °C

Tabelle Nr. 6

Tiefe	Datum	1961									1962		
		17. 4.	17. 5.	14. 6.	12. 7.	16. 8.	13. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	17. 1.	14. 2.	14. 3.
0 m		10.9	12.6	15.8	19.1	14.1	19.6	14.6	9.6	7.8	5.0	4.5	4.1
5 m		9.1	10.6	10.4	17.1	13.5	17.2	14.4	9.6	7.8	5.0	4.5	4.1
10 m		7.8	9.5	8.3	13.2	8.0	16.2	10.2	9.5	7.8	5.0	4.5	4.0
15 m		6.5	8.6	7.4	11.3	7.5	15.0	8.8	9.5	6.9	5.0	4.5	3.9
20 m		6.1	6.8	6.5	8.9	6.5	12.4	7.6	9.5	5.9	5.0	4.5	3.9
30 m		5.6	6.0	5.6	5.5	5.8	6.0	6.3	6.3	5.4	4.9	4.5	3.9
40 m		5.2	5.5	5.4	5.0	5.5	5.3	5.7	5.5	5.2	4.9	4.5	3.9
50 m		5.0	5.3	5.1	4.7	5.2	5.0	5.3	5.1	5.0	4.8	4.5	3.9
60 m		4.7	5.1	5.0	4.5	4.9	5.1	5.0	5.0	4.9	4.8	4.5	4.2
Tiefe	Datum	1962									1963		
		11. 4.	16. 5.	13. 6.	19. 7.	16. 8.	13. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	16. 1.	15. 2. *)	
0 m		4.8	7.2	15.2	16.1	22.3	16.8	13.9	8.6	4.9	3.4	0.2	
5 m		4.2	7.1	13.0	15.5	21.0	16.1	13.6	8.6	4.9	3.4	0.8	
10 m		4.2	6.9	9.7	13.6	12.4	9.3	13.6	8.6	4.9	3.4	1.1	
15 m		4.1	5.4	6.3	11.6	7.3	6.5	8.4	8.6	4.9	3.4	1.4	
20 m		4.0	4.9	5.1	9.9	5.6	5.8	6.4	8.6	4.8	3.4	2.0	
30 m		4.0	4.6	4.3	8.2	4.8	5.2	5.1	5.3	4.6	3.4	2.5	
40 m		4.0	4.5	4.3	6.0	4.5	5.0	4.4	4.6	4.5	3.5	2.8	
50 m		4.0	4.4	4.2	4.7	4.4	4.8	4.2	4.4	4.3	3.6	3.0	
60 m		4.0	4.4	4.2	4.5	4.4	4.6	4.1	4.2	4.3	3.7	3.1	

*) Dingelsdorf — Überlingen

BODENSEE-OBERSEE

Tabelle Nr. 7

Monatsmittel aus allen Untersuchungsorten

Wassertemperaturen in °C

Tiefe	Datum											
	1961	1962										
	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
0 m	9.7	13.5	16.9	19.6	17.3	20.3	15.5	9.7	7.4	5.2	4.5	4.2
5 m	8.7	11.6	14.0	17.2	16.6	18.4	15.2	9.4	7.4	5.2	4.5	4.2
10 m	7.6	10.5	11.9	14.5	14.9	16.3	13.9	9.4	7.4	5.2	4.5	4.2
15 m	6.8	8.7	9.9	11.5	13.5	14.1	11.0	9.4	7.1	5.2	4.5	4.1
20 m	6.4	7.1	7.5	9.0	11.6	10.4	9.1	8.9	6.7	5.2	4.5	4.2
30 m	5.4	6.1	6.0	6.4	7.5	6.9	6.8	7.4	6.2	5.2	4.5	4.2
40 m	5.1	5.5	5.5	5.6	6.0	5.9	5.8	6.2	5.7	5.2	4.5	4.2
50 m	4.9	5.3	5.1	5.2	5.5	5.3	5.3	5.5	5.3	5.1	4.5	4.2
60 m	4.6	4.9	4.9	5.0	5.1	5.0	5.0	5.2	5.2	5.0	4.6	4.2
100 m	4.5	4.5	4.6	4.6	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6	4.9	4.4	4.2
150 m	4.4	4.4	4.5	4.4	4.4	4.5	4.5	4.6	4.4	4.6	4.4	4.2
200 m	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.6	4.3	4.4	4.4	4.2
250 m	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.1

Tiefe	Datum											
	1962	1963										
	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
0 m	6.1	9.1	16.3	18.2	20.4	17.1	13.2	8.7	5.1	2.9	0.5	1.6
5 m	5.9	8.4	13.7	17.2	19.3	17.0	12.9	8.7	5.1	3.1	1.0	1.9
10 m	5.1	7.9	10.6	14.1	13.7	14.5	12.2	8.7	5.1	3.2	1.3	2.0
15 m	4.7	6.7	8.3	10.1	9.0	10.3	10.8	8.6	5.1	3.3	1.3	2.0
20 m	4.7	6.1	6.6	8.0	7.1	8.2	8.9	8.3	5.1	3.3	2.1	2.1
30 m	4.6	5.3	5.4	6.2	5.4	5.9	5.6	6.4	5.0	3.4	2.6	2.6
40 m	4.6	5.0	5.0	5.3	4.9	5.2	4.8	5.4	5.0	3.5	2.8	2.9
50 m	4.6	4.8	4.9	4.8	4.6	5.0	4.6	5.0	4.7	3.5	3.0	3.1
60 m	4.5	4.6	4.7	4.6	4.5	4.8	4.5	4.8	4.5	3.6	3.1	3.3
100 m	4.5	4.6	4.7	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.0	—	3.7
150 m	4.4	4.4	4.7	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	—	3.9
200 m	4.3	4.3	4.2	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	—	3.9
250 m	4.1	4.1	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	—	3.9

**Die Sauerstoffverhältnisse des Bodensee-Obersees
in den Jahren 1961 bis 1963**

Bearbeiter: Wolfgang Schmitz

1. Einleitung, Untersuchungsorte und Methodik

Im Rahmen des chemischen Programms der von der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee veranlaßten umfangreichen Freiwasseruntersuchungen im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963 wurde auch der Sauerstoffgehalt des Seewassers in verschiedenen Tiefen untersucht. Die Auswertung dieser Untersuchungen erfolgt wegen der Bedeutung der Sauerstoffverhältnisse als Indikator des Trophienzustandes vorrangig, obwohl die Bearbeitung anderer chemischer und biologischer Untersuchungsdaten, welche zur Interpretation der Sauerstoffwerte wichtig sind, noch nicht abgeschlossen ist. Auf Fragen der gesamten Sauerstoffbilanz des Obersees wird in dieser Veröffentlichung nicht eingegangen, da hierüber ein anderer Bericht unter Einbeziehung weiterer Beobachtungsjahre in Vorbereitung ist. Die Untersuchung des Sauerstoffs erfolgte durch Probenentnahme mit dem NANSEN- oder FRIEDINGER-Wasserschöpfer gleichzeitig mit Temperaturmessungen in Vertikalprofilen an folgenden Orten (vgl. Karte Abb. 1):

Wasserwerk Konstanz	(Vertikalprofil 01)
Süßenmühle	(Vertikalprofil 02)
Fischbach-Uttwil	(Vertikalprofil 03)
Lindau-Rohrspitz	(Vertikalprofil 05)
Langenargen-Rorschach	(Vertikalprofil 06)

Messungen und Probenentnahmen wurden an den Untersuchungsstationen 01—03 von der Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz erledigt, während die Untersuchungsstationen 05—06 durch die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (E.A.W.A.G.) bedient wurden. An den letztgenannten wurde der Verlauf der Sauerstoffschichtungen auf Grund von Bestimmungen in entnommenen Wasserproben sowie zusätzlich auch mit dem Oxytester (Firma ZÜLLIG) festgestellt. Die Entnahmetiefen an den einzelnen Vertikalprofilen sind aus den Tabellen 1 bis 10 zu entnehmen.

Die Proben zur Sauerstoffbestimmung wurden sofort nach der (nicht modifizierten) Methode von WINKLER fixiert und anschließend titriert. Die maßanalytischen Bestimmungen der Proben der Stationen 01—03 wurden im Chemischen Untersuchungsamt der Stadt Konstanz (Dr. H. FAST), diejenigen der Stationen 05—06 von der E.A.W.A.G. durchgeführt.

Die Sauerstoffsättigungswerte wurden mit dem O_2 -Calculator nach BURKARD berechnet, wobei eine Ortshöhe von 400 m ü. M. eingesetzt wurde. Die auf diese Weise erhaltenen Werte der Sauerstoffkonzentrationen und -sättigungen sind in den Tabellen 1 bis 10 zusammengestellt.

2. Thermische Schichtung und Sauerstoffverhältnisse am Untersuchungsort Uttwil, Seemitte

Zur übersichtlichen Darstellung des Sauerstoffregimes des Sees während des zweijährigen Jahreszyklus 1961 bis 1963 wurden die Temperatur- und Sauerstoffwerte am Untersuchungsort Fischbach-Uttwil, Seemitte, die über der maximalen Seetiefe von 252 m MN liegt, in Form von Isoplethen dargestellt (Abbildung 2 * und 3). Da eine genaue Schichtungsstabilitätsberechnung für den Bodensee mangels ausreichender Kenntnis des Einflusses von gelösten und suspendierten Stoffen auf die Dichte des Bodenseewassers noch nicht durchgeführt werden

* Die Temperatur-Isoplethen wurden während der Seegefrörsne 1963 unter Zuhilfenahme von Meßergebnissen der Obersee-Stationen Wasserwerk Konstanz und Langenargen-Arbon konstruiert, an denen die Messungen unter Eis aufrecht erhalten werden konnten.

kann, mag hier die Darstellung der Temperaturisoplethen die Schichtungs- und Zirkulationsvorgänge im Bodenseewasser kennzeichnen.

Danach begann im Seejahr 1961 eine Temperaturschichtung Ende April, sie hatte bis gegen Jahresende hin Bestand und löste sich durch Zirkulationsvorgänge schließlich in den Monaten Dezember 1961 bis Februar 1962 auf. Ein eigentliches homothermes Epilimnion mit Schichtdicken in der Größenordnung von 10 m und mehr kam zunächst nur vorübergehend im Juni und dann erst wieder mit Einsetzen der von der Oberfläche ausgehenden Zirkulationsvorgänge im Oktober zustande. Um die Monatswende Februar/März 1962 fanden die Schichtungserscheinungen bei homothermen Temperaturen von etwa $4,25^{\circ}$ (C) im gesamten Tiefenprofil ein Ende. Im Frühjahr 1962 trat eine Thermostratifikation erst etwas später, nämlich in der zweiten Hälfte des Monats Mai, auf, die sich im Juni stabilisierte, wie üblich den Sommer über anhielt und sich in den Monaten November und Dezember durch allmählich immer tiefer reichende Zirkulationsvorgänge auflöste. Um die Jahreswende 1962/63 war der See bis zur Tiefe von 170 m bei etwa $3,9^{\circ}$ C annähernd homotherm. Infolge der ungewöhnlich kalten Witterung bildete sich von diesem Zeitpunkt an eine thermische Winterschichtung mit Oberflächentemperaturen bis an den Gefrierpunkt aus, die im Zusammenhang mit der inzwischen eingetretenen Seegefrörne bis zum April 1963 stabil blieb. Dabei kam es auch zu einer Abkühlung des gesamten Tiefenwassers auf Temperaturen unter 4° . Nachdem der See gegen Ende April aufgetaut war, näherte sich sein thermischer Zustand für kurze Zeit der Homothermie bei etwa $3,7^{\circ}$.

Bei den sommerlichen metalimnischen Temperaturschichtungen lag der größte Gradient im allgemeinen in Tiefen zwischen 10 bis 20 m. Die Oberflächentemperaturen überschritten im Jahre 1961 10° von Ende April bis Mitte November und im Jahre 1962 von Ende Mai bis zum ersten Drittel des Monats November. Oberflächentemperaturen von 15° wurden jedesmal Ende Juli erreicht und dauerten bis in die erste Oktoberhälfte an. Temperaturen von 20° wurden an der Oberfläche nur im August 1962 bis zu einem Maximum von $21,8^{\circ}$ überschritten.

Aus diesen Darlegungen folgt, daß im See von Mai bis Oktober eine stabile Thermostratifikation besteht und das Hypolimnion vom Austausch mit atmosphärischer Luft abriegelt. Vollzirkulationen, die die gesamte Tiefe des Sees erfassen, sind erst gegen Jahresende oder unter Umständen, wie 1962/63, erst im folgenden Frühjahr zu erwarten. Ob im Bodensee Homothermie in jedem Falle Anzeichen einer Vollzirkulation ist, läßt sich zur Zeit noch nicht mit Sicherheit sagen. Die Situation mag unter Umständen durch gelöste oder suspendierte Substanzen, die z. B. mit dem Alpenrhein in nicht unbeträchtlicher Menge in den See gelangen, kompliziert werden. Aus dem gleichen Grunde bleibt auch noch etwas ungewiß, welche Tiefentemperatur dem Dichtemaximum des Wassers entspricht. Ohne Rücksicht auf die Mineralbestandteile wäre dieses im tiefen Hypolimnion zwischen 250 und 200 m bei etwa $3,65$ bis $3,71^{\circ}$ zu erwarten. Diese Temperaturwerte wurden erst bei der Frühjahrszirkulation 1963 nach Beendigung der Seegefrörne erreicht. Wie MUCKLE an anderer Stelle gezeigt hat [5] ist dies ein Ausnahmefall in den thermischen Verhältnissen des Sees. In der Regel bleibt die Tiefentemperatur über der (druckabhängigen) Temperatur des Dichtemaximums des Seewassers.

Die Sauerstoffverhältnisse im Vertikalprofil Fischbach-Uttwil lassen einen regelmäßigen jahreszeitlichen Wechsel zwischen Ausbildung von Schichtungserscheinungen im Sommerhalbjahr und Vorgängen, die zu einem Konzentrationsausgleich führen, erkennen. Die letzten setzen gegen Jahresende von der Oberfläche ausgehend ein und erreichen das Tiefenwasser in der Regel erst im darauffolgenden Frühjahr. Kurze Zeit darauf oder spätestens im Frühsommer werden Zehrungsvorgänge im Tiefenwasser über Grund erkennbar, die sich bis zum Herbst hin im ganzen Wasserkörper zwischen 150 und 250 m oder noch höher hinauf deutlich bemerkbar machen. Ebenso charakteristisch sind Sauerstoffverarmungszonen, die sich während des Sommers in Tiefen von etwa 10 bis 40 m regelmäßig ausbilden. Es handelt sich hierbei um metalimnische Sauerstoffminima, wie sie auch in typisch eutrophen Seen auftreten. Ande-

rerseits treten, bevor sich diese metalimnischen Sauerstoffminima in stärkerem Maße entwickeln, im Frühjahr bisweilen erhebliche Sauerstoffanreicherungen im Oberflächenwasser oder zum Teil auch bis in erhebliche Tiefen hinab auf. Sie stehen mit der Entfaltung der Frühjahrspopulationen des Phytoplanktons in Verbindung.

Die Ausgangssituation im April 1961 verzeichnete im Vertikalprofil Fischbach-Uttwil im allgemeinen Werte bei 10 bis 11 mg O₂/l. An der Oberfläche wurden sogar 12 mg O₂/l überschritten. Um 200 m lagen die Werte etwas unter 10 mg O₂/l. Erscheinungen der Sauerstoffanreicherung in den oberen Wassermassen blieben im Frühjahr 1961 absolut gesehen auf ein kleines Ausmaß beschränkt. Hingegen kam es im Frühjahr 1962 zwischen den Monaten März und Juni zu erheblichen Sauerstoffanreicherungen bis zu maximal 14,8 mg O₂/l im Mai in 40 m Tiefe. Die Auswirkungen waren bis zu 150 m Tiefe hinab sichtbar.

Während des Sommers 1961 bildete sich ein metalimnisches Sauerstoffminimum im Juli aus, das im Oktober mit 6,7 mg O₂/l in 20 m Tiefe sein größtes Ausmaß erreichte und sich erst gegen Ende November mit den einsetzenden Zirkulationsvorgängen auflöste. Ein solches Minimum fand sich auch in entsprechender Weise in den Monaten Juli bis November im darauffolgenden Jahr 1962 wieder, wobei das Ausmaß der Zehrungsvorgänge jedoch nicht so groß war wie im vorangehenden Jahr. Der tiefste metalimnische Sauerstoffwert von 7,6 mg O₂/l wurde im August in 10 m Tiefe gemessen.

Besondere Beachtung verdienen die Sauerstoffvorgänge im tiefen Hypolimnion. Auf das besorgniserregende Ausmaß dieser Erscheinungen hat bereits MUCKLE [5] hingewiesen. Im Jahre 1961 begannen die Sauerstoffwerte über Grund bis hinauf zu 150 m Tiefe bereits im Mai deutlich abzusinken. Wenngleich die tiefsten Werte über Grund anzutreffen waren (die Meßwerte über Grund lagen dabei nicht etwa in der Sediment-Wasser-Kontaktzone, sondern in 1 bis 1,5 m über Seeboden), so läßt das Ausmaß der Zehrungserscheinungen erkennen, daß diese im gesamten Wasserkörper zwischen etwa 150 und 250 m Tiefe abliefen. Gelegentlich während dieser Zehrungsperiode auftretende höhere Werte lassen sich zur Zeit noch nicht befriedigend deuten. Mutmaßungen über ihr Zustandekommen finden sich bei MUCKLE [5]. Das absolute Minimum in 250 m Tiefe wurde 1961 im November mit 5,4 mg O₂/l gemessen. Zwischen Juni 1961 und Februar 1962 blieben die Über-Grund-Werte zumeist unter 7 mg O₂/l oder gar unter 6 mg O₂/l.

Während die Sauerstoffanreicherungsvorgänge im Gefolge der Vertikalzirkulation Ende Dezember 1961 bis zu einer Tiefe von 60 m bereits zum Überschreiten von Werten über 10 mg O₂/l führten, erreichte diese Isoplethe die Tiefe von 250 m erst Anfang März 1962, kurz nachdem um die Monatswende Februar/März vollständige Homothermie im gesamten Profil eingetreten war. Im Jahre 1962 setzte eine stabile thermische Schichtung erst später als im vorausgehenden Jahr, nämlich Ende Mai, ein. Es ist daher damit zu rechnen, daß Zirkulationsvorgänge bis dahin zu einem stärkeren Wassermassenaustausch zwischen Oberfläche und Tiefenwasser als gewöhnlich geführt haben. Bezeichnenderweise machte sich 1962 auch die Zehrung im Tiefenwasser erst verhältnismäßig spät, nämlich im Juni 1962, mit Werten von unter 10 mg O₂/l bemerkbar. Obwohl von hier an bis zum darauffolgenden Frühjahr die Zehrungsvorgänge im tiefen Hypolimnion im Isoplethenbild deutlich in Erscheinung treten, so erreichten sie doch nicht das Ausmaß des Vorjahres. Die Sauerstoffwerte blieben zumeist über 7 oder gar 8 mg O₂/l über Grund mit Ausnahme des Minimums von 6,8 mg O₂/l im November 1962. Ähnlich wie im vorangegangenen Jahr erreichte die herbstliche Zirkulation offenbar nicht die gesamte Seetiefe. Erst allmählich fällt die 10 mg O₂-Isoplethe nach der Tiefe hin ab. In 250 m Tiefe wurden im April 1963 10 mg O₂/l wieder überschritten.

Die Sauerstoffverhältnisse der Oberseestation Fischbach-Uttwil in den Jahren 1961 bis 1963 lassen erkennen, daß der See bereits nicht mehr dem klassischen Typus des oligotrophen Sees zugeordnet werden kann. Sauerstoffschwund im tieferen Hypolimnion bis zu weniger als 6 mg O₂/l, metalimnische Sauerstoffdefizite sowie Sauerstoffanreicherungen zur Frühjahrszeit in oberen Wasserschichten des Sees deuten darauf hin, daß der See in seiner Produktivität sich bereits in einem Übergangsstadium zum eutrophen Zustand befindet.

3. Die Sauerstoffverhältnisse an weiteren Untersuchungsstationen im Obersee

Von den weiteren vier Vertikalprofilen, die in den Jahren 1961 bis 1963 regelmäßig im Rahmen des Untersuchungsprogrammes beobachtet wurden, lag nur die Station Langenargen-Arbon, Seemitte, im Bereich größerer Tiefen. In der Regel wurden Proben hier bis zu 200 m Tiefe, in einigen Fällen versehentlich an einer weiter östlich gelegenen Meßstelle mit 240 m Tiefe entnommen. Auch hier zeichnen sich im Isoplethenbild (Abb. 4) Zehrungsvorgänge im tiefen Hypolimnion ab, die denen des Vertikalprofils Fischbach-Uttwil vergleichbar sind.

Deutlich zu erkennen sind im Vertikalprofil Langenargen-Arbon ebenfalls die metalimnischen Sauerstoffminima im Sommer 1962 und 1963. Derartige Sauerstoffzehrungszonen sind ebenfalls an anderen Untersuchungsstellen (Wasserwerk Konstanz, Lindau-Rohrspitz, Süßenmühle) anzutreffen (vgl. Abbildung 5). An diesen ufernäheren Stationen im flacheren Wasser beträgt die Tiefe nur 50 oder 60 m. Zum Teil reichen hier die Sauerstoffzehrungszonen vom Metalimnion bis zum Grund. Durchweg liegen dabei allerdings die Sauerstoffwerte an diesen Stationen über Grund noch so hoch, wie sie in einem oligotrophen See zu erwarten sind. Sauerstoffwerte von weniger als 8 mg O₂/l wurden in keinem Falle gemessen. Sauerstoffzehrungsvorgänge, die zu besonders niedrigen Sauerstoffwerten führen, sind somit auf das Tiefenwasser in der Seemitte zwischen 150 und 250 m Tiefe beschränkt.

Dies gilt zunächst für den eigentlichen Obersee. Meßergebnisse zur Beurteilung dieser Verhältnisse in den tieferen Teilen des Überlinger Sees liegen derzeit noch nicht vor.

Zum Vergleich der Vorgänge der Sauerstoffzehrung und -anreicherung im gesamten Obersee wird in Abbildung 6 eine synoptische Darstellung der Sauerstoffverhältnisse aller Obersee-Vertikalprofile gegeben, die aus den Isoplethendarstellungen der einzelnen Meßorte entwickelt wurde. Zur besseren Übersicht ist hierin nur die zeitliche und räumliche Ausdehnung von Sauerstoffzonen mit weniger als 8 mg/l und mit mehr als 12 mg/l in stationsweise verschiedenen Flächenschraffuren verzeichnet. Außerdem sind durch einen Linienzug diejenigen Wassertiefen und Zeitspannen umschlossen, bei denen mindestens an einer der fünf Meßstationen ein Sauerstoffwert von weniger als 9 mg O₂/l festgestellt wurde. Diese Darstellung läßt eine weitgehende Übereinstimmung der Eintrittszeit und Tiefenlage von Sauerstoffzehrungs- und Sauerstoffanreicherungserscheinungen der verschiedenen Untersuchungsstellen erkennen. Danach war während des Seejahres 1961 das Ausmaß der Sauerstoffzehrungserscheinungen im tiefen Hypolimnion sowie im Metalimnion allgemein größer als während des Seejahres 1962. Stärkere Sauerstoffanreicherungen an allen Stationen waren im Frühjahr 1962, nicht jedoch 1961 in dieser Jahreszeit zu verzeichnen. Auffälligerweise fällt ein Sauerstoffmaximum im Vertikalprofil Langenargen-Arbon vom Juli 1962 im Bereich zwischen etwa 50 bis 100 m Tiefe aus dem gemeinsamen Schema der anderen Meßstationen heraus, ohne daß derzeit dafür eine Erklärung gegeben werden kann.

Höhere Sauerstoffgehalte, die in den Monaten November 1962 bis März 1963 an verschiedenen Untersuchungsstellen des Sees zu verzeichnen waren, stehen im Zusammenhang mit der ungewöhnlich starken Abkühlung des Oberflächenwassers. Die der Synopse der Abbildung 6 zugrunde liegenden Meßwerte sind allerdings nicht vollständig, da zum Teil wegen der Seegefrörne keine Proben entnommen werden konnten (vgl. dazu Abbildung 5). Soweit Werte unter Eis gemessen worden sind, lassen sie erkennen, daß trotz der Eisbedeckung keine Abnahme von Sauerstoffgehalten zu verzeichnen war. Dies dürfte seine Ursache im erheblichen Sauerstoffvorrat des Wassers haben, der für die bei der geringen Temperatur nur langsam verlaufenden Abbauvorgänge keine merkliche Zehrung aufkommen ließ.

Der Ausgleich des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser fand bei den ufernahen Untersuchungsstellen, wie der Isoplethenverlauf zeigt, meist bereits etwa gegen Nov./Dez. statt. Das Tiefenwasser der Seemitte wird, wie den Isoplethendarstellungen der Vertikalprofile Fischbach-

Uttwil und Langenargen-Arbon zu entnehmen ist, erst im Frühjahr wieder auf höhere Sauerstoffgehalte gebracht.

4. Sauerstoffsättigungs-Defizite und -Überschüsse

Weiteren Aufschluß über das Sauerstoffregime des Sees erhält man durch die Betrachtung der Sauerstoffmeßwerte, angegeben in Prozent der bei der jeweiligen Temperatur herrschenden Sauerstoffsättigung des Wassers. Wir begnügen uns hierbei mit dem Hinweis auf die Tabellen 2, 4, 6, 8 und 10. Danach liegen die Sauerstoffwerte im oberflächennahen Bereich bis etwa 10 m Tiefe in der Regel zwischen April und Oktober eines jeden Jahres über dem jeweiligen Sättigungswert. Sauerstoffgehalte bis zu 160 Sättigungsprozent wurden verzeichnet. Ausnahmsweise traten an der Station Langenargen-Arbon Übersättigungserscheinungen im Jahre 1962 erst im Juni auf. Die Übersättigungen dürften in erster Linie durch Sauerstoffproduktion der Phytoplankter zustande kommen. Zu einem gewissen Teil mag sie allerdings durch die sommerliche Erwärmung des Oberflächenwassers bedingt sein, die ebenfalls zu Übersättigungen führen kann, weil eine ins Gewicht fallende Gasabgabe an die Atmosphäre meist unterbleibt. Im April, zu einem Zeitpunkt also, wo noch keine stabile Schichtung im See eingetreten ist, besteht die Tendenz, daß sich die Übersättigungszonen bis zu größeren Tiefen herunter erstrecken.

Im Metalimnion machten sich im weiteren Verlauf des Sommers Zehrungserscheinungen bemerkbar, bei denen die Sauerstoffgehalte vielfach bis auf 60 bis 80 Sättigungsprozent herabgesetzt werden. Im tiefen Hypolimnion der Vertikalprofile Langenargen-Arbon und Fischbach-Uttwil lagen in den untersten 100 m die Sauerstoffgehalte über weite Teile der Jahre 1961/62 hinweg unter 80 % Sättigung. Das Minimum betrug dabei im November 1961 in Fischbach-Uttwil 45 %. Beim Ausgleich des Sauerstoffgehaltes zwischen Tiefenwasser und Oberflächenwasser im Frühjahr erreichte der Sauerstoffgehalt im Durchschnitt nur etwa 90 % der Sättigung. Dies ist angesichts des Ausmaßes der Sauerstoffzehrungsvorgänge und der Tiefe des Sees auch zu erwarten. Für einen Zirkulationsweg von 100 m liegt in Seen der temperierten Zone die zur Aufstockung des Sättigungsgehaltes von 90 auf 95 % erforderliche Zirkulationsdauer in der Größenordnung von 25 Tagen. Die im Frühjahr in 250 m Tiefe erzielte Aufstockung des Sauerstoffgehaltes im Bodensee belief sich 1962 und 1963 von ca. 60 auf 90 % des Sättigungswertes. Der See wies also ein sehr gutes Wiederbelüftungsvermögen auf.

An den ufernahen, flacheren Untersuchungsstationen entstanden in Tiefen von etwa 20 m bis zum Seegrund im Spätsommer und Herbst Sauerstoffdefizite von teilweise mehr als 30 %. Hier wurde in der Regel bereits im Winter der Sauerstoff in der Tiefe auf ungefähr 90 % der Sättigung aufgestockt.

5. Vergleich mit früheren Sauerstoffuntersuchungen

Leider liegen über den Obersee aus früheren Zeiten, wenn man von den Untersuchungen von AUERBACH, MAERKER und SCHMALZ in den Jahren 1920—25 absieht [1] [2], nicht so lückenlose Untersuchungsreihen vor, wie sie seit dem Jahre 1961 auf Veranlassung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee fortlaufend regelmäßig erfolgen. Die sehr gründlichen Untersuchungen der 20er Jahre setzen uns jedoch in die Lage, uns ein sicheres Urteil über die Veränderungen im Sauerstoffhaushalt zu bilden. Aufgrund der von

AUERBACH, MAERKER und SCHMALZ [2] angegebenen Monatsmittelwerte des Sauerstoffgehaltes in verschiedenen Tiefen des Bodensees an Untersuchungsorten westlich der Linie Langenargen-Rorschach, etwa in Seemitte, wurde die Isoplethendarstellung der Abbildung 7 entwickelt.

Vergleicht man dieses Bild mit den Isoplethen der nahegelegenen Untersuchungsstationen Langenargen-Arbon und Fischbach-Uttwil aus den Jahren 1961—63, so wird dieser Unterschied sehr deutlich. In den Wintermonaten ist die Situation mit jeweils steil verlaufenden Sauerstoff-Isoplethen von 10 und 11 mg O₂/l noch recht ähnlich. Leichte Anreicherungen der oberen Wasserschichten mit Sauerstoff im Frühjahr sind auch bereits von AUERBACH festgestellt worden, jedoch sind sie viel weniger ausgeprägt als neuerdings und überschreiten keinesfalls Werte von 12 mg O₂/l. In den Jahren 1920—25 verringerte sich im Oberflächenwasser und Metalimnion der Sauerstoff in den Sommermonaten, ohne daß es jedoch zu einer Ausbildung stark ausgeprägter metalimnischer Minima kam, wie wir sie heute beobachten können. Die Sauerstoffwerte sanken damals keinesfalls unter 9 mg O₂/l. Das ganze Jahr über lagen seinerzeit die Sauerstoffwerte im tieferen Wasser bis zu 150 m stets über 10 oder gar 11 mg O₂/l, während heute in dieser Tiefe zuzeiten Werte von 9 mg oder 8 mg O₂/l unterschritten werden. Im Herbst bis gegen Jahresende fand dann ein Ausgleich des Sauerstoffes der oberflächlichen und metalimnischen Wassermassen mit dem tieferen Wasser statt, der im November Werte von über 10 mg O₂/l im gesamten Profil erzielte. Durch fortlaufende Zirkulation und Sauerstoffaufnahme der während des Winters in der Regel nicht thermisch geschichteten Wassermassen kam es zum Jahresanfang zu Sauerstoffkonzentrationen über 11 mg O₂/l im gesamten Profil.

Weiteres Licht auf die in den letzten 40 Jahren erfolgten Veränderungen wirft die Betrachtung der Sauerstoffgehalte in Sättigungsprozent. Aus den von AUERBACH, MAERKER und SCHMALZ für die Jahre 1920—25 angegebenen Mittelwerten der Sauerstoffkonzentration wurden die Sättigungswerte mit dem O₂-Calculator nach BURKARD, bezogen auf 400 m Höhe, neu berechnet (vgl. Tabelle 11). Ähnlich den Sättigungsverhältnissen der Jahre 1961 bis 1963 zeichnet sich auch bei den AUERBACH'schen Untersuchungen eine Tendenz zur Übersättigung des Wassers mit Sauerstoff in oberen Wasserschichten während der Monate März bis Oktober ab. Diese erreichte damals aber bei weitem nicht das Ausmaß der heute feststellbaren Übersättigungen. Der maximale Wert lag bei 111 %. Tiefen unter 15 m wurden offenbar von Übersättigungen nicht erfaßt. Die regelmäßige Zunahme der Sauerstoffüberschüsse gegenüber dem Sättigungswert in den obersten Wasserschichten vom Monat März bis zum Ende des Sommers, der mit steigenden Temperaturen Hand in Hand geht, läßt darauf schließen, daß die Übersättigung weitgehend durch die Temperaturzunahme des Oberflächenwassers zustande kam. Da die Temperatursituation heute noch etwa die gleiche wie vor 40 Jahren ist, zeigt der Vergleich der damaligen und heutigen Übersättigungszahlen, in welchem beträchtlichem Ausmaß die derzeitigen hohen Sauerstoffsättigungsüberschüsse durch die biologische Produktivität des Phytoplanktons bedingt sein müssen. Gleichfalls vermischen wir bei den Untersuchungen in den 20er Jahren jene beachtlichen Untersättigungen, die sich im Spätsommer im Metalimnion einstellen und hier jetzt Werte von unter 70 % des Sättigungswertes regelmäßig erreichen.

Zweifellos sind auch die Sättigungswerte im Tiefenwasser, z. B. in 100 m Tiefe, heute viel geringer als damals. Sie überschreiten neuerdings bei Fischbach-Uttwil nur noch zum Ausgang des Winters bei einsetzender Frühjahrszirkulation 90 % und können sogar zu diesem Zeitpunkt unter 80 % fallen. Die kleinsten Werte von AUERBACH aus den 20er Jahren in 100 oder 150 m Tiefe lagen nur ganz knapp unter 90 % Sauerstoffsättigung.

Lediglich in der Wiederauffüllung des Sauerstoffgehaltes im gesamten Profil zur Zeit der Frühjahrszirkulation weist der See im Vergleich zu damals noch recht ähnliche Verhältnisse auf, wie eine Gegenüberstellung der Sättigungsgehalt-Prozentzahlen in Tabelle 12 zeigt. Vor Einsetzen der Frühjahrsproduktion des Planktons lag der Sauerstoffgehalt der homothermen Wassermassen auch damals schon etwas unter dem Sättigungswert.

Spätere genaue Angaben über Sauerstoffverhältnisse im Obersee aus dem Jahre 1935 liegen von ELSTER und EINSELE [3] für das Jahr 1935 vor. Dabei wurde festgestellt, daß der allgemeine Gang der Konzentrationen 1934/35 gleich dem der Jahre 1920/25 war, wie man auch den Angaben der Tabelle 13 und 14 entnehmen kann.

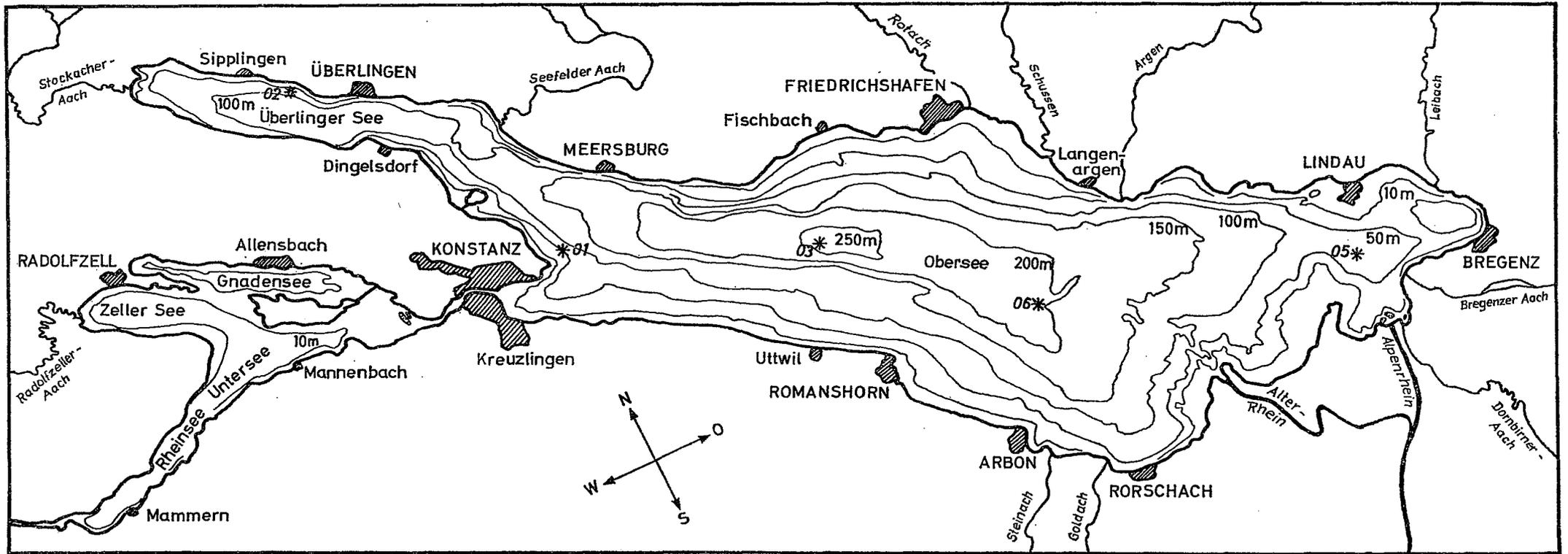
Wenngleich in der Folgezeit bis zum Jahre 1961 nur unregelmäßige Sauerstoffuntersuchungen durchgeführt wurden, so lassen die uns vorliegenden Angaben z. B. von GRIM [4] erkennen, daß die bemerkenswerten Veränderungen im Sauerstoffgehalt des Bodenseewassers in den 50er Jahren zustande gekommen sind.

Wie die Untersuchungen der Jahre 1961/63 sowie auch neuere [5] erkennen ließen, sanken die Sauerstoffgehalte über eine erhebliche Zeitspanne des Jahres besonders im Tiefenwasser zwischen 250 und 150 m Tiefe stark ab. MUCKLE [5] ist bereits der Frage nachgegangen, ob auch diese Veränderungen neueren Datums sind. Zwar liegen von früheren Zeiten nur äußerst spärliche Meßergebnisse über den Sauerstoff im tiefen Hypolimnion vor, jedoch läßt sich feststellen, daß die Sauerstoffsättigungswerte in 250 m Tiefe zwar etwas geringer waren als im höher gelegenen Wasserkörper, bei Untersuchungen von AUERBACH, MAERKER und SCHMALZ z. B. bis 80 %. Doch wurden bis zum Jahre 1954 in keinem Falle Werte unter 70 % Sättigungen gemessen. Im Jahre 1954 stellte FAST erstmalig wiederholt Werte zwischen 60 und 70 % fest, die damit den kontinuierlichen Übergang zu den jetzigen Verhältnissen mit teilweise unter 60 oder 50 % Sättigung, der in den 50er Jahren eingetreten sein muß, dokumentieren.

L I T E R A T U R :

- | | |
|--|---|
| [1] AUERBACH M., MAERKER W.
und SCHMALZ J.: | Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen.
I. Ergebnisse der Jahre 1920–22. Arch. f. Hydrobiologie
Suppl. III, 1924. |
| [2] AUERBACH M., MAERKER W.
und SCHMALZ J.: | II. Ergebnisse der Jahre 1923–24 und Zusammenfassung
1920–24. Verh. Naturw. Ver. Karlsruhe 30, 1
– 128, 1924/26. |
| [3] ELSTER H. J., EINSELE W.: | Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee),
Int. Rev. Hydrobiol. 35, 520–585, 1937. |
| [4] GRIM, J.: | Die chemischen und planktologischen Veränderungen
des Bodensee – Obersees in den letzten 30 Jahren.
Arch. f. Hydrobiologie/Suppl. 22, 1955. |
| [5] MUCKLE R.: | Die Sauerstoffsichtung im tiefen Hypolimnion des
Bodensee-Obersees 1963/64 mit Berücksichtigung einiger
Untersuchungsergebnisse aus früheren Jahren. Int.
Gewässerschutzkommission für den Bodensee Ber. Nr. 3,
1964. |

Karte des Bodensees



* Untersuchungsort

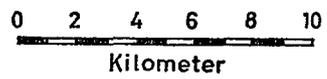
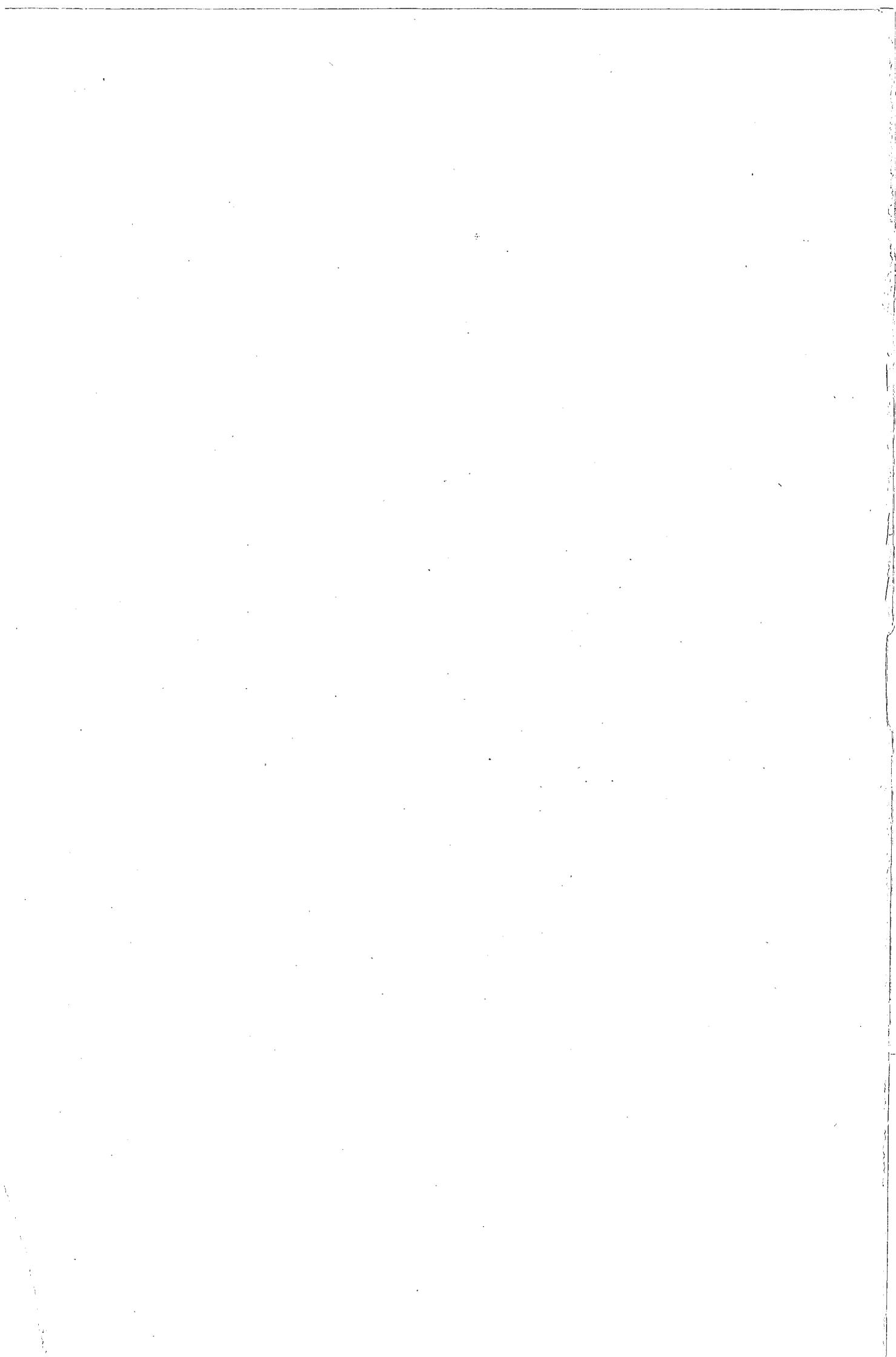


Abb. 1



BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Wasserwerk Konstanz (01)
 Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 1

Tiefe	Datum 1961											
	5. 4.	25. 4.	3. 5.	24. 5.	7. 6.	28. 6.	5. 7.	28. 7.	3. 8.	24. 8.	6. 9.	2. 10.
0 m	123	119	125	98	105	123	104	103	103	96	123	96
10 m	116	113	113	98	92	104	96	95	95	93	91	75
20 m	110	104	107	96	95	102	99	89	83	86	85	69
30 m	110	106	100	101	97	113	105	100	93	95	96	81
40 m	107	101	103	104	102	103	115	100	95	97	101	87
50 m	105	101	107	86	97		104	106	99	95	107	87
60 m	105	99	106	95	98	104	104	97	98	97	102	91

Tiefe	Datum 1961						Datum 1962					
	18. 10.	9. 11.	23. 11.	7. 12.	28. 12.	4. 1.	25. 1.	7. 2.	14. 2.	7. 3.	28. 3.	4. 4.
0 m	93	88	93	98	100	101	104	104	108	99	108	114
10 m	83	91	93	98	101	102	103	104	108	88	105	126
20 m	86	84	91	97	98	103	102	105	108	101	112	129
30 m	97	81	83	89	99	102	101	106	104	99	105	127
40 m	91	79	90	90	99	102	101	105	123	98	105	117
50 m	89	86	93	93	100	20	93	103	108	96	107	111
60 m	89	88	95	93	98	100	91	103	104	96	101	111

Tiefe	Datum 1962											
	30. 4.	2. 5.	23. 5.	6. 6.	28. 6.	9. 7.	25. 7.	8. 8.	22. 8.	5. 9.	26. 9.	3. 10.
0 m	160	137	117	124	115	107	114	93	89	85	94	106
10 m	130	122	99	125	106	106	94	82	89	81	92	95
20 m	106	111	109	116	113	99	94	93	84	81	80	76
30 m	113	109	110	110	108	112	98	97	97	96	91	92
40 m	110	115	105	114	106	108	111	123	100	98	97	98
50 m	111	107	104	118	108	—	101	107	104	100	98	100
60 m	121	108	99	109	117	112	102	93	104	97	99	108

Tiefe	Datum 1962						Datum 1963					
	24. 10.	7. 11.	28. 11.	4. 12.	21. 12.	3. 1.	24. 1.	4. 2.	26. 2.	6. 3.	14. 3.	20. 3.
0 m	106	97	111	114	105	113	122	115	137	143	120	116
10 m	107	96	108	124	102	108	—	—	130	125	120	119
20 m	85	79	105	106	101	131	—	—	126	123	106	117
30 m	101	91	102	132	102	109	117	—	123	113	70	106
40 m	107	104	111	97	101	113	116	—	116	114	105	118
50 m	95	104	106	102	97	108	114	—	116	109	99	100
60 m	112	102	108	115	93	108	113	125	119	108	105	101

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Wasserwerk Konstanz (01)
 Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 2

Tiefe	Datum 1961											
	5. 4.	25. 4.	3. 5.	24. 5.	7. 6.	28. 6.	5. 7.	28. 7.	3. 8.	24. 8.	6. 9.	2. 10.
0 m	110	116	120	107	111	144	119	122	121	104	150	115
10 m	102	106	100	98	92	106	94	101	103	99	99	85
20 m	95	92	95	87	89	91	87	84	83	81	80	67
30 m	94	92	88	89	89	97	89	88	85	84	85	73
40 m	91	87	89	90	90	87	97	86	87	83	87	76
50 m	88	86	92	73	84	—	88	91	85	80	92	75
60 m	88	83	90	80	84	88	88	83	84	82	87	78

Tiefe	Datum 1961					Datum 1962						
	18. 10.	9. 11.	23. 11.	7. 12.	28. 12.	4. 1.	25. 1.	7. 2.	14. 2.	7. 3.	28. 3.	4. 4.
0 m	100	86	87	91	87	86	90	87	91	82	91	96
10 m	90	89	87	91	88	88	89	87	91	73	88	106
20 m	77	80	85	90	85	89	88	88	91	84	94	109
30 m	85	75	77	80	86	89	87	89	87	82	88	107
40 m	78	72	78	78	86	89	88	88	103	81	88	98
50 m	75	76	80	80	87	89	80	87	91	80	90	93
60 m	75	76	81	79	85	86	77	87	88	80	84	92

Tiefe	Datum 1962											
	30. 4.	2. 5.	23. 5.	6. 6.	28. 6.	9. 7.	25. 7.	8. 8.	22. 8.	5. 9.	26. 9	3. 10.
0 m	160	130	114	127	128	121	135	109	102	100	102	116
10 m	118	108	95	123	104	106	105	82	98	90	100	101
20 m	90	94	99	105	100	91	91	82	81	71	78	73
30 m	95	92	96	97	89	98	86	84	85	82	80	81
40 m	93	94	91	98	91	93	96	105	86	83	83	85
50 m	94	90	89	101	92	—	86	91	88	84	84	85
60 m	102	91	84	92	99	94	86	78	88	81	84	91

Tiefe	Datum 1962						Datum 1963					
	24. 10.	7. 11.	28. 11.	4. 12.	21. 12.	3. 1.	24. 1.	4. 2.	26. 2.	6. 3.	14. 3.	20. 3.
0 m	108	95	99	99	87	93	94	87	104	106	93	92
10 m	109	94	97	108	85	89	—	—	99	97	93	94
20 m	77	73	94	92	84	85	—	—	99	95	84	93
30 m	87	79	88	114	85	89	94	—	98	89	56	86
40 m	90	88	95	84	84	93	94	—	93	91	85	96
50 m	80	88	90	87	81	89	92	—	93	88	81	82
60 m	94	86	91	97	78	89	92	102	96	87	86	83

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Süßenmühle (02)
 Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 3

Tiefe	Datum									1962		
	1961	17. 4.	17. 5.	14. 6.	12. 7.	16. 8.	13. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	17. 1.	14. 2.
0 m	130	111	104	107	86	119	85	90	99	107	86	107
10 m	107	104	98	98	83	105	74	99	97	103	100	110
20 m	114	104	98	95	95	84	83	92	91	104	103	105
30 m	113	102	—	105	100	97	81	88	90	102	100	105
40 m	110	106	99	99	98	99	91	91	90	100	112	100
50 m	112	102	102	98	98	101	91	98	90	95	96	101
60 m	106	101	99	97	98	100	90	80	92	93	93	98

Tiefe	Datum									1963
	1962	11. 4.	16. 5.	13. 6.	19. 7.	16. 8.	13. 9.	18.10.	15. 11.	13. 12.
0 m	131	116	113	103	97	104	106	95	103	108
10 m	139	115	93	97	84	99	105	108	105	105
20 m	134	111	108	97	96	107	102	97	102	105
30 m	122	109	107	101	102	98	99	94	103	105
40 m	119	112	111	104	102	99	104	100	103	103
50 m	115	120	107	107	103	99	104	115	100	102
60 m	111	109	108	105	109	101	102	101	101	99

BODENSEE-OBERSEE
 Untersuchungsort Süßenmühle (02)
 Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 4

Tiefe	Datum											
	1961 17. 4.	17. 5.	14. 6.	12. 7.	16. 8.	13. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	1962 17. 1.	14. 2.	14. 3.
0 m	128	113	114	125	91	140	91	86	90	91	72	89
10 m	98	99	91	101	77	116	71	94	89	88	84	91
20 m	100	92	87	89	84	85	76	88	79	89	87	87
30 m	98	90	—	91	87	85	71	78	75	87	84	87
40 m	94	91	85	84	84	85	79	79	77	85	94	83
50 m	95	88	87	83	84	86	78	84	77	80	81	83
60 m	89	86	84	82	83	86	77	68	78	79	78	82

Tiefe	Datum									
	1962 11. 4.	16. 5.	13. 6.	19. 7.	16. 8.	13. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	1963 16. 1.
0 m	111	105	122	113	120	116	111	88	88	88
10 m	116	103	89	101	85	94	109	100	89	86
20 m	111	94	92	93	83	93	90	90	86	86
30 m	102	92	90	93	86	84	85	81	87	86
40 m	99	94	93	91	86	84	87	84	87	84
50 m	95	94	89	90	86	84	87	97	84	84
60 m	92	91	90	88	91	85	85	84	85	81

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Fischbach-Uttwil (03)
 Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 5

Tiefe	Datum	1961									1962		
		17. 4.	17. 5.	14. 6.	12. 7.	16. 8.	13. 9.	23. 10.	15. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	14. 3.
0 m		122	105	104	107	96	105	89	104	93	109	104	103
10 m		116	103	106	89	93	89	86	113	91	108	110	116
20 m		113	106	101	87	86	76	67	94	90	106	105	104
30 m		114	103	99	101	88	101	83	79	98	107	102	106
40 m		111	109	99	104	102	105	92	95	98	114	109	104
50 m		108	104	110	106	128	107	91	95	95	106	104	106
60 m		109	113	109	109	108	107	92	101	96	105	106	112
100 m		110	100	100	91	106	103	92	85	92	101	109	109
150 m		98	90	93	115	93	92	85	92	90	95	102	101
200 m		88	76	81	77	81	81	76	77	90	89	99	106
250 m		119	71	68	66	82	60	88	54	99	67	68	100

Tiefe	Datum	1962								1963		
		11. 4.	16. 5.	13. 6.	19. 7.	16. 8.	17. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	16. 1.	20. 3.
0 m		134	114	114	108	101	97	108	97	105	111	115
10 m		113	114	111	93	76	88	98	101	106	111	124
20 m		125	112	113	96	86	82	83	95	105	107	114
30 m		114	93	119	107	100	97	94	86	104	108	126
40 m		127	149	106	108	103	101	102	98	104	111	107
50 m		127	112	110	101	110	105	105	104	103	100	110
60 m		131	112	108	110	101	104	104	104	112	107	112
100 m		124	102	109	108	105	105	106	106	100	110	88
150 m		110	108	107	108	103	101	—	94	101	108	95
200 m		104	106	103	99	97	91	—	90	90	93	100
250 m		109	106	100	89	79	76	—	68	100	81	82

BODENSEE-OBERSEE
 Untersuchungsort Fischbach-Uttwil (03)
 Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 6

Tiefe	Datum											
	1961					1962						
	17. 4.	17. 5.	14. 6.	12. 7.	16. 8.	13. 9.	23. 10.	15. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	14. 3.
0 m	115	107	107	125	110	121	94	99	84	94	87	86
10 m	100	103	108	99	102	99	91	108	83	93	93	95
20 m	98	96	91	83	83	72	64	90	80	91	88	87
30 m	97	91	86	89	78	90	75	72	87	92	86	89
40 m	94	95	85	90	80	91	80	83	85	98	92	87
50 m	91	90	94	91	110	92	78	82	82	91	87	89
60 m	92	96	92	93	92	90	79	86	81	90	89	94
100 m	93	84	84	77	89	87	77	71	77	86	92	91
150 m	82	77	78	96	78	77	72	77	76	80	86	84
200 m	74	64	68	65	68	68	64	84	75	75	83	89
250 m	100	59	57	55	69	50	74	45	75	56	57	83

Tiefe	Datum										
	1962					1963					
	11. 4.	16. 5.	13. 6.	19. 7.	16. 8.	17. 9.	18. 10.	15. 11.	13. 12.	16. 1.	20. 3.
0 m	113	99	120	124	124	109	112	93	90	92	92
10 m	95	99	110	101	80	99	101	96	91	92	99
20 m	105	97	102	88	78	76	86	91	90	89	91
30 m	96	79	102	93	86	85	82	77	89	89	100
40 m	104	65	90	92	87	86	86	84	89	92	86
50 m	107	95	92	85	93	88	88	88	88	83	89
60 m	110	86	91	93	85	87	87	88	94	89	91
100 m	104	85	91	91	89	88	87	89	84	91	72
150 m	92	91	90	91	86	85	—	79	84	89	79
200 m	87	89	86	83	81	76	—	75	75	76	83
250 m	91	89	84	74	66	64	—	57	84	66	68

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Lindau-Rohrspitz (05)
 Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 7

Tiefe	Datum									1962		
	1961	25. 5.	20. 6.	25. 7.	23. 8.	19. 9.	25. 10.	23. 11.	18. 1.	8. 3.	29. 3.	
0 m	27. 4.	117	110	112	109	95	106	95	98	109	113	110
2,5 m		115	119	110	117	112	94	107	97	95	106	114
5 m		114	107	115	116	95	104	94	97	106	116	114
10 m		112	114	115	109	93	92	93	96	108	114	118
15 m		113	101	105	93	96	85	99	97	106	118	114
20 m		104	108	98	91	93	73	92	98	106	114	114
30 m		94	99	115	94	90	74	74	92	110	114	114
40 m		90	111	110	92	89	82	82	88	108	112	114
50 m		96	107	102	96	93	86	91	85	108	111	113
60 m		98	114	99	91	98	90	74	82	107	111	114

Tiefe	Datum									1963
	1962	21. 5.	19. 6.	19. 7.	21. 8.	26. 9.	24. 10.	26. 11.	23. 4.	
0 m	17. 4.	122	112	106	114	96	103	105	99	115
2,5 m		114	122	115	109	111	101	102	104	101
5 m		120	111	114	108	101	103	92	100	113
10 m		121	108	108	108	98	96	94	101	113
15 m		120	110	104	107	88	94	95	99	115
20 m		119	108	108	102	91	87	93	99	112
30 m		120	104	104	108	94	88	89	100	99
40 m		118	108	106	108	103	93	84	95	116
50 m		115	106	104	108	109	99	87	94	112
60 m		101	107	103	106	104	93	96	96	112

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Lindau-Rohrspitz (05)
 Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 8

Tiefe	Datum 1961								Datum 1962		
	27. 4.	25. 5.	20. 6.	25. 7.	23. 8.	19. 9.	25. 10.	23. 11.	18. 1.	8. 3.	29. 3.
0 m	118	116	130	130	108	125	100	93	93	94	92
2,5 m	102	118	114	134	132	106	125	102	88	90	95
5 m	112	109	125	136	108	120	98	90	90	96	95
10 m	110	113	118	122	105	102	97	89	92	95	99
15 m	109	96	103	98	108	91	101	90	90	97	95
20 m	99	97	89	89	104	71	92	91	90	94	95
30 m	81	86	100	87	87	67	67	85	94	94	95
40 m	77	95	95	82	79	72	72	79	92	93	95
50 m	82	91	87	84	81	75	79	74	92	92	94
60 m	82	97	83	78	85	77	63	70	90	92	95

Tiefe	Datum 1962									1963
	17. 4.	21. 5.	19. 6.	19. 7.	21. 8.	26. 9.	24. 10.	26. 11.	23. 4.	
0 m	106	114	122	133	114	116	107	93	107	
2,5 m	95	106	112	123	129	120	114	106	95	
5 m	104	108	119	122	119	114	93	94	99	
10 m	104	105	107	112	106	104	95	95	96	
15 m	104	104	98	97	81	98	95	93	96	
20 m	103	100	97	90	80	85	92	93	94	
30 m	104	92	90	93	81	79	77	93	82	
40 m	102	93	90	92	87	81	72	87	96	
50 m	99	90	88	90	94	86	74	83	93	
60 m	87	89	86	88	86	79	80	83	93	

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Langenargen-Arbon (06)
 Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 9

Tiefe	Datum	1961								1962		
		27. 4.	25. 5.	20. 6.	25. 7.	23. 8.	19. 9.	25. 10.	23. 11.	18. 1.	8. 3.	28. 3.
0 m		118	121	105	109	96	115	96	96	103	107	111
2,5 m		114	107	122	108	86	116	96	96	104	108	110
5 m		114	105	112	108	94	100	98	97	104	110	110
10 m		111	104	102	86	95	77	65	97	103	108	110
15 m		108	103	98	98	95	75	71	96	101	111	112
20 m		106	104	100	92	87	68	79	83	105	109	110
30 m		105	110	115	102	88	108	92	92	107	108	111
40 m		104	111	107	109	101	125	102	94	103	109	115
50 m		104	110	105	108	100	99	108	97	96	110	111
100 m		99	101	102	111	88	100	99	104	91	107	109
150 m		88	99	101	111	94	91	89	89	79	108	109
200 m		84	90	92	80	79	75	89	72	69	100	107
Tiefe	Datum	1962								1963		
		17. 4.	21. 5.	18. 6.	19. 7.	21. 8.	26. 9.	24. 10.	26. 11.	24. 1.	23. 4.	
0 m		117	102	102	110	99	104	104	101	111	116	
2,5 m		117	99	105	108	100	106	103	101	109	114	
5 m		116	99	114	104	101	105	101	102	110	115	
10 m		117	101	104	104	84	70	85	99	109	114	
15 m		115	102	114	104	87	83	94	99	110	116	
20 m		115	102	111	107	95	94	101	101	111	116	
30 m		115	92	110	110	108	105	108	99	110	115	
40 m		116	101	111	114	112	107	108	103	—	111	
50 m		114	95	106	121	112	110	109	106	119	110	
100 m		114	96	108	120	104	110	109	107	108	104	
150 m		112	93	108	108	110	105	104	103	104	97	
200 m		114	92	104	108	96	89	84	88	98	95	

BODENSEE - OBERSEE
 Untersuchungsort Langenargen-Arbon (06)
 Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 10

Tiefe	Datum 1961								Datum 1962		
	27. 4.	25. 5.	20. 6.	25. 7.	23. 8.	19. 9.	25. 10.	23. 11.	18. 1.	8. 3.	28. 3.
0 m	110	133	125	131	110	140	101	91	88	89	92
2 m	106	110	130	124	97	137	101	90	88	90	92
5 m	102	106	118	121	106	114	102	91	88	91	92
10 m	98	103	106	92	107	84	65	91	88	90	92
15 m	93	95	99	97	107	78	68	90	86	92	93
20 m	91	93	93	86	94	65	73	75	90	91	92
30 m	89	95	101	90	82	97	81	76	91	90	92
40 m	87	95	92	94	89	110	88	81	88	91	96
50 m	87	95	90	92	87	85	92	83	82	91	92
100 m	—	87	86	—	74	84	83	87	77	89	91
150 m	—	86	85	—	79	76	75	75	66	90	91
200 m	—	79	—	67	75	63	75	61	58	89	89

Tiefe	Datum 1962								Datum 1963	
	17. 4.	21. 5.	18. 6.	19. 7.	21. 8.	26. 9.	24. 10.	26. 11.	24. 1.	23. 4.
0 m	99	96	121	126	118	114	103	91	89	91
2 m	99	92	121	125	118	116	101	91	88	92
5 m	98	92	125	118	119	115	97	91	89	93
10 m	99	92	99	111	85	71	75	89	90	93
15 m	97	89	101	100	81	77	81	89	90	95
20 m	97	90	96	95	84	83	86	91	91	95
30 m	97	78	95	95	93	91	91	85	90	94
40 m	98	86	95	98	94	90	91	87		91
50 m	96	81	91	103	94	92	92	89	98	91
100 m	96	80	91	100	86	91	91	86	89	85
150 m	94	76	90	89	90	86	86	84	86	80
200 m	96	75	85	89	78	77	69	72	79	78

Sauerstoffsättigung in ‰ im Bodensee-Obersee im Frühjahr

Tabelle Nr. 12

Tiefe	März		April	
	1962	1920—25	1962	1920—25
0 m	86	93	113	105
5 m	—	93	—	102
10 m	95	93	95	104
15 m	—	93	—	102
20 m	87	93	105	100
30 m	89	—	96	—
35 m	—	93	—	97
40 m	87	—	104	—
50 m	89	93	107	96
60 m	94	—	110	—
100 m	91	92	104	94
150 m	84	96	92	91
200 m	89	—	87	—
250 m	83	—	91	—

*Sauerstoffgehalt (mg O₂/l) im Bodensee-Obersee, Untersuchungsort Langenargen-Arbon,
im Jahre 1935 nach ELSTER und EINSELE (1937)*

Tabelle Nr. 13

Datum Tiefe	18. 2.	10. 4.	13. 5.	26. 6.	23. 7.	26. 8.	22. 10.	2. 11.	17. 12.
0 m	12,1	11,8	12,2	10,2	9,5	9,5	9,9	10,6	11,3
5 m	12,3	—	12,3	11,7	9,6	9,5	—	10,6	—
10 m	12,4	11,8	12,5	10,9	10,3	9,6	9,9	10,3	—
15 m	—	11,8	12,2	10,9	10,0	9,4	—	10,3	—
20 m	12,7	—	12,2	11,2	10,4	9,9	9,2	10,4	11,0
25 m	—	11,8	—	11,3	10,7	10,2	—	10,2	—
30 m	12,2	—	11,9	11,3	11,6	10,6	9,7	10,4	—
50 m	12,4	11,8	11,9	11,6	11,4	11,2	10,8	10,2	10,8
100 m	12,5	11,8	11,8	11,6	11,5	11,5	11,4	10,7	11,2
150 m	12,4	—	—	11,5	11,3	—	—	11,4	—
ca. 200 m	12,1	11,5	11,4	11,0	10,8	10,6	10,2	10,2	10,5

*Sauerstoffsättigung in ‰ im Bodensee-Obersee, Untersuchungsort Langenargen-Arbon
im Jahre 1935 nach ELSTER und EINSELE (1937)*

Tabelle Nr. 14

Datum Tiefe	18. 2.	10. 4.	13. 5.	26. 6.	23. 7.	26. 8.	22. 10.	2. 11.	17. 12.
0 m	97	96	113	115	111	107	96	98	93
5 m	98	—	112	124	111	107	—	98	—
10 m	99	94	108	108	110	94	96	95	—
15 m	—	94	103	99	94	88	—	95	—
20 m	101	—	99	95	91	89	83	95	91
25 m	—	94	—	94	90	95	—	95	—
30 m	98	—	97	93	95	90	82	82	—
50 m	99	—	96	93	92	91	88	84	87
100 m	100	94	94	93	92	92	91	86	90
150 m	99	—	—	92	90	—	—	90	—
ca. 200 m	97	92	91	88	87	85	82	82	84

**Die Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse
des Bodensee-Untersees
in den Jahren 1961 bis 1963**

Bearbeiter: Heinz Ambühl

I. Die Temperaturverhältnisse des Untersees

1. Einleitung, Untersuchungsorte und Methodik

Für die Probenahmen und Messungen im Untersee waren gemäß Programm folgende Untersuchungsorte vorgesehen:

Rheinsee	Schnitt Reichenau-Mannenbach, Seemitte (im folgenden als „Mannenbach“ bezeichnet).
„	Schnitt Gaienhofen-Schweizerland, tiefster Punkt (im folgenden als „Berlingen“ bezeichnet).
„	Schnitt Mammern-Wangen, tiefster Punkt (im folgenden als „Mammern“ bezeichnet).
Zellersee	Schnitt Radolfzell-Iznang, Seemitte
Gnadensee	Schnitt Reichenau-Allensbach, Seemitte.

Die Arbeiten an den Untersuchungsorten Mannenbach, Zellersee und Gnadensee erfolgten durch die Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz, vor Berlingen und Mammern durch die EAWAG, zeitweise unter der Mithilfe der Anstalt Konstanz, welche jeweils ihr Forschungsboot zur Verfügung stellte.

Während die Probenahmen bzw. Messungen im Gnadensee und vor Berlingen ohne jeden Unterbruch möglich waren, mußte während der Vereisung im Winter 1962/63 an den übrigen Stellen die Arbeit zeitweise eingestellt werden; der Umfang der daraus entstandenen Lücken ist aus den diesbezüglichen Tabellen und graphischen Darstellungen ersichtlich. Die Tiefenstufen entsprechen denjenigen der Probenahmen im Obersee. Allerdings ist anzuführen, daß praktisch sämtliche Messungen mit elektrischen Thermoloten ausgeführt wurden mit Meßabständen von 1 oder 2 m, entsprechend den jeweiligen Veränderungen der Wassertemperatur. In den Zahlentabellen sind nur die Wassertemperaturen der jeweiligen Probenahmetiefen zusammengestellt; die vollständigen Meßreihen sind bei den anfangs genannten Instituten archiviert.

Als Grundlage für die folgende Schilderung der Temperaturverhältnisse dienen die Tabellen 1—5 sowie namentlich die graphischen Darstellungen Abb. 2—6.

2. Der Verlauf der Wassertemperatur im Rheinsee

a) *Berlingen*

Die erste Untersuchung im April 1961 trifft den See bereits in einem fortgeschrittenen Stadium der Stagnation; ein Vergleich mit den beiden folgenden Jahren sowie mit den entsprechenden Werten aus dem Obersee zeigt, daß die Wassertemperaturen (Oberfläche $11,9^{\circ}\text{C}$, 10°C in 7 m Tiefe) ungewöhnlich hoch sind, eine Folge der seit Februar anhaltenden milden Witterung. Der folgende Monat bringt keine wesentliche Temperaturerhöhung des Epilimnions, dagegen arbeitet der starke Wind die aufgenommene Wärme in die Tiefe (10°C am 18. Mai in 18 m Tiefe) und wärmt damit die Tiefenzone beträchtlich auf. Die Monate Juni und Juli lassen keine Besonderheiten erkennen; der See erwärmt sich nun ziemlich rasch (Höchst-

temperatur Mitte Juli $18,2^{\circ}\text{C}$; 10°C in 27,5 m, 15°C in 17,5 m). Damit hat der See schon nahezu das Maximum des diesjährigen Wärmehaltes erreicht. Was sich an weiteren Veränderungen bis zum Eintritt der herbstlichen Zirkulation noch abspielt, ist im wesentlichen auf das Epilimnion beschränkt. Hier setzt im August bereits eine witterungsbedingte Abkühlung ein, welche im September, bei sehr schwachen Winden und starker Einstrahlung, wieder aufgeholt wird. Mitte September beginnt bereits die herbstliche Auskühlung und damit die Zirkulation, welche ungewöhnlich rasch in die Tiefe greift und anfangs Dezember bei einer Temperatur von ungefähr 8°C bereits die gesamte Wassermasse erfaßt. Diese bleibt nun dauernd in Zirkulation und kühlt sich allmählich aus. Die Temperatur des Dichtemaximums, nämlich 4°C , stellt sich in der zweiten Januarhälfte 1962 ein, gefolgt von einer weiteren Auskühlung, welche in der zweiten Februarhälfte zu einer kurzen Winterstagnation mit inverser Schichtung führt (Oberfläche $2,7^{\circ}\text{C}$, 40 m $3,1^{\circ}\text{C}$). Im Laufe des März zerfällt sie und wird durch eine kurze, bis in den April hinein reichende Zirkulationsperiode abgelöst mit dem Ergebnis, daß sich der gesamte Wasserkörper auf 5°C erwärmt. Mitte April ist bereits eine schwache Temperaturschichtung zu erkennen, welche nun rasch und intensiv zunimmt, unterstützt durch die starke Windtätigkeit in diesem Monat. In der Folge erwärmt sich das Epilimnion wesentlich mehr als im Vorjahr; bereits Mitte Juni messen wir eine Oberflächentemperatur von 20°C . Möglicherweise ist die scharfe, durch einen hohen Gradienten ausgezeichnete Schichtung dafür verantwortlich, daß die Tiefentemperaturen erheblich niedriger liegen: Die 10° -Linie befindet sich, wie Abb. 3 zeigt, bis Ende Juli 5 bis 6 m höher als zur selben Zeit im Vorjahr, und die tiefste Stelle ist im Mittel rund $1,5^{\circ}\text{C}$ kälter. Nach einer vorübergehenden Auskühlung der epilimnischen Zone bringt der August eine außerordentlich starke Erwärmung mit einem Maximalwert von $22,2^{\circ}\text{C}$ von 0 bis 2,5 m Tiefe. Dieses späte Temperaturmaximum gibt gleichzeitig Anlaß zum sehr frühen Beginn der Herbstzirkulation, welche, wesentlich langsamer als im Vorjahr, allmählich in die Tiefe vordringt, aber gegenüber 1961 doch einen zeitlichen Vorsprung erkennen läßt. So besitzt die zirkulierende Wasserschicht Mitte Oktober eine homogen verteilte Temperatur von 15°C (Zirkulation bis auf 14 m), während 1961 die gleiche Temperatur erst am 1. November eintrat. Die Auskühlung schreitet jetzt weiterhin langsamer voran; 10°C wird Mitte November, genau wie im Vorjahr, erreicht. Während nun 1961 die weitere Abkühlung ausgesprochen sachte stattfand, wird sie durch das kalte November- und insbesondere Dezemberwetter und überdurchschnittlich starke Winde ungewöhnlich gefördert. Mitte Dezember herrscht im homothermen, schon seit Ende November vollständig zirkulierenden Wasser eine Temperatur von weniger als 5°C (1961: $8,3^{\circ}\text{C}$), und vom Januar 1963 an ist bereits eine inverse Schichtung zu erkennen.

Diese rasche Abkühlung schafft die erste Voraussetzung für die früh einsetzende, lange anhaltende Seegefrörmung, welche sich in den Meßergebnissen durch eine scharf inverse Schichtung (Oberfläche anfangs Februar $0,0^{\circ}\text{C}$, 40 m tief $3,1^{\circ}\text{C}$) äußert. Anfangs April 1963 beginnt sich nach einer kurzen Frühjahrszirkulation die neue Sommerstagnationsphase aufzubauen. Die Ausgangslage hierzu entspricht weitgehend derjenigen des Vorjahres (Temperaturen anfangs April um 4°C).

Ein Vergleich mit Untersuchungen aus den Jahren 1943 und 1944 [4] von der gleichen Probestelle ergibt keine Unterschiede. Wie erwartet hat sich die Thermik des Sees — soweit ein Vergleich anhand weniger Jahresserien überhaupt möglich ist — nicht verändert.

b) Übersicht über die Untersuchungsorte Mannenbach, Berlingen und Mammern

Ein Vergleich des Zahlenmaterials (Tab. 1—3) und der graphischen Darstellungen der Stellen Mannenbach, Berlingen und Mammern (Abb. 2—4) ergibt weitgehende Übereinstimmung. Daß sich die entsprechenden Kurven nicht völlig decken, ist zu erwarten; es überrascht aber doch, wie weit sich die einzelnen Diagramme gleichen. Angesichts dieser Feststellung erübrigt es sich, auf Einzelheiten einzutreten. Daß sich der See an der nur 20 m tiefen Stelle Mannen-

bach rascher erwärmt und langsamer auskühlt als an den beiden andern, tieferen Stellen, ist damit zu begründen, daß das kältere Hypolimnion hier wenig mächtig ist und bei den Durchmischungs- und Austauschvorgängen weniger zur Geltung kommt.

3. Der Verlauf der Wassertemperatur im Zeller- und Gnadensee

Zellersee: Auch hier ist gegenüber dem Untersuchungsort Berlingen und damit gegenüber allen drei Probestellen des Rheinsees keine wesentliche Abweichung festzustellen, wenn auch die Höchstwerte der ganzen Untersuchung hier (August 1962, 24,6 °C) festgestellt wurden und der See im allgemeinen während der Sommerstagnation besonders viel Wärme speichert (18 ° — Isotherme 1961 in 11, 1962 in 12,5 m Tiefe).

Einen etwas andern Aspekt bietet der Wärmehaushalt des *Gnadensees*. Zwar folgen sich die typischen Stadien des Seejahres zu genau den gleichen Zeiten wie in den übrigen Seeteilen, doch ist der Verlauf der Isothermen (Abb. 6) flacher, dergestalt, daß das ganze Kurvenbild z. B. von Mammern (Abb. 4) mit wenig Veränderungen hier wieder erscheint, aber statt auf die Wassertiefe von 30 m ausgedehnt auf 20 m komprimiert. Einer starken Erwärmung im Sommer, auch während des relativ kühlen Sommers 1961 (Maximalwert 20,8 °C Mitte Juli) steht eine ebenfalls starke Auskühlung im Winter gegenüber (Februar 1962 2,2 °C, Winter 1963 wegen der Vereisung nicht gemessen). Die 15 °-Isotherme liegt am Ende der Stagnation 1961 in 14 m (Berlingen 17,5 m), 1962 in 19,5 m (Berlingen 28 m). Diese sehr strenge sommerliche Temperaturschichtung wird durch die herbstliche Zirkulation langsamer abgebaut als in den übrigen Seeteilen. Auf Grund seines Temperaturverlaufs ist der Gnadensee noch am ehesten mit ähnlich großen Seen z. B. des Schweizerischen Mittellandes vergleichbar, während die übrigen Seeteile in dieser Hinsicht erheblich vom Gewohnten abweichen und damit ein besonderes Problem aufwerfen.

4. Thermischer Vergleich der einzelnen Teile des Untersees

Wie aus den Isothermendiagrammen Abb. 2 bis 6 hervorgeht, ist der zeitliche Ablauf der Temperaturverteilung an den einzelnen Stellen des Untersees praktisch synchron; auf die wenigen erkennbaren Verschiebungen und ihre Ursache wurde bereits hingewiesen. Um Vergleiche zu ziehen, ist deshalb weniger auf die zeitliche Abfolge der thermischen Erscheinungen als auf ihr Ausmaß, und dies besonders während der extremen Phasen des Seejahres Bezug zu nehmen. Die eine davon, nämlich die Zeit der stärksten Auskühlung (Februar/März 1962) ist leicht zu überblicken und bietet wenig typische Anhaltspunkte; die andere, die hochsommerliche Stagnation oder eben einsetzende Zirkulation, präsentiert den See dagegen in der für seinen Wärmehaushalt typischsten Phase, indem jetzt die Wärmeaufnahme ihr Maximum erreicht hat und die Temperaturverteilung Aufschlüsse über die Kinetik der sommerlichen Wärmespeicherung erlaubt.

In Abb. 7 ist der Temperaturverlauf an den 5 Untersuchungsorten am 14. September 1961 dargestellt. Den ausgeglichensten, flachsten Verlauf zeigt die Stelle Mannenbach, gefolgt von den drei Stellen Berlingen, Mammern und Zellersee, wobei Berlingen und Mammern praktisch dieselbe Temperaturverteilung aufweisen. Demgegenüber fällt der Gnadensee aus dem Rahmen: Während die übrigen Stellen, namentlich Mannenbach, bereits deutliche Anzeichen der Zirkulation erkennen lassen, ist der Wasserkörper hier noch geschichtet und der Tempe-

raturgradient ist größer, d. h. die epilimnische Zone ist wärmer, die hypolimnische kälter. Deutlicher treten diese Unterschiede zutage aus dem entsprechenden Diagramm vom 12. September 1962 (Abb. 8): Während sich die Temperatur-Verlaufskurven der Stellen Mannenbach, Berlingen und Mammern sowie Zellersee fast decken, liegt die Kurve des Gnadensees abseits, ist wesentlich flacher und zeigt erheblich tiefere Temperaturen.

Damit bestätigen sich die Ergebnisse langjähriger, sehr gründlicher Untersuchungen im Gnadensee, im Markelfinger Winkel, Zellersee und Rheinsee durch AUERBACH und ROTTENGATTER [3]. Diese Erhebungen, welche erlaubten, über eine Periode von 5 Jahren hinweg Monatsmittel zu errechnen, gestatten den Schluß, daß Rhein- und Zellersee einerseits und Gnadensee und Markelfinger Winkel andererseits unter der 5 m-Tiefe in thermischer Hinsicht erhebliche Unterschiede ausbilden, daß dagegen die Zone des obersten Epilimnions, d. h. von 5 m bis zur Oberfläche praktisch dem gleichen Temperaturverlauf folgt. Daß sich ein solcher Unterschied ausprägen kann, ist auf die unterseeische Topographie zurückzuführen. Das System Gnadensee und Markelfinger Winkel ist vom Zellersee durch eine sehr hoch liegende, schmale, bestenfalls 4 m tiefe Barre getrennt; der größte Teil liegt nur in 1 bis 2 m Tiefe und schließt namentlich während der Stagnationszeit die beiden Seeteile fast vollständig voneinander ab. Austauschvorgänge in beträchtlichem Ausmaß, windbedingte Verdriftungen z. B. sind nur während der Zirkulationsphasen möglich, wie AUERBACH und ROTTENGATTER [3] ausführlich erörtern.

Zwar würde allein schon die Tatsache, daß die Thermik des Rheinsees und des Zellersees auffällig gut miteinander übereinstimmen, eine genauere interne Analyse rechtfertigen. Dehnt man den Vergleich aber auf andere Seen aus, so fällt auf, daß der Rhein- und Zellersee einen Temperaturgang besitzen, wie er allenfalls in sehr großen Seen auftritt, niemals aber in Seen von der Größe und Wassertiefe des Untersees. Freilich entsprechen die sommerlichen Oberflächentemperaturen durchaus normalen Werten; was dagegen aus dem Rahmen fällt, sind die außerordentlich hohen Temperaturen in der Tiefe. Dies gilt sowohl für die beiden Untersuchungsjahre 1961 und 1962 als auch für die Untersuchungen von AUERBACH und ROTTENGATTER aus 1954—58 [3] sowie die Messungen von JAAG aus den Jahren 1943 und 1944 [4].

So ergibt ein Vergleich mit dem Temperaturverlauf des *Greifensees* zur gleichen Zeit einen erheblich anderen Verlauf (Abb. 9 und 10), mit gleichen Oberflächen-, aber niedrigeren Tiefentemperaturen, d. h. mit einer schärferen Temperaturschichtung. Ähnliches gilt für das zehnjährige September-Mittel des *Zürichsees* (Mittelwerte von 1948—57, nach P. ZIMMERMANN [9]). Die September-Temperaturen des Bodensee-Obersees liegen 1961 tiefer als sämtliche Untersee-Temperaturen, während sie 1962 einigermaßen an jene des Gnadensees herankommen. Die herbstlichen Temperaturen des *Neuenburgersees* fallen (nach Messungen von H. SOLLBERGER [8] aus den Jahren 1959 bis 1961) einigermaßen mit den Rheinsee-Temperaturen zusammen. Es ist zu berücksichtigen, daß der Neuenburgersee eine Oberfläche von 216 km² besitzt, somit in der gleichen Größenordnung liegt wie der Bodensee-Obersee (476 km²), während sich die übrigen Seen weit davon absetzen (Zeller- und Rheinsee zusammen 45,5 km², Gnadensee mit Markelfinger Winkel 13,5 km², Zürichsee 88,7 km², Greifensee 8,6 km²).

Daß in großen Seen die sommerliche Temperaturschichtung flacher verläuft, d. h. das Wasser in der gleichen Tiefe stärker erwärmt wird als in kleineren Seen, hängt damit zusammen, daß der Wind, welcher die tagsüber erwärmte oberste Wasserschicht in die Tiefe arbeitet, um so besser und wirkungsvoller angreifen kann, je größer die Seeoberfläche ist. Je länger die Angriffsstrecke, um so kräftigere Wellen werden erzeugt, und um so größer und wirkungsvoller wird die dadurch erzeugte Turbulenz. Da jeder Strömungsvorgang in einem See turbulent verläuft, ist auch dafür gesorgt, daß Strömungen und Mischungsvorgänge sich nicht nur in einer einzigen Richtung auswirken, sondern jeder äußere, Strömungen auslösende Einfluß hat zur Folge, daß Mischungsvorgänge sich in allen Richtungen des Raumes ausbreiten, wobei freilich die thermisch geschichtete Wassermasse im Sommer diesen turbulenten Aus-

tausch stark abbremst. Während im Normalfall der Wind zur großen Hauptsache die einzige wirksame Komponente darstellt, tritt nun hier in Form der *Rheinströmung* ein Faktor hinzu, der offensichtlich für die *einzigartige thermische Sonderstellung des Untersees* verantwortlich ist.

Nach den Untersuchungen von AUERBACH und Mitarbeitern [2, 3] läuft die Haupt-Rheinströmung nach dem Austritt aus dem Seerhein nahe dem Südufer der Reichenau und biegt dann ziemlich abrupt zum Schweizer Ufer des Rheinsees um. Einzelne Stromfäden verteilen sich über den gesamten Rheinsee, und nur eine geringe seitlich austretende Strömung gewinnt den Zellersee. Die Geschwindigkeiten liegen in der Größenordnung von einigen hundert m in der Stunde, sind also sehr beträchtlich, zumal sie nicht nur an der Oberfläche, sondern bis auf 10 und mehr m Wassertiefe nachweisbar sind. Es findet somit eine dauernde Verfrachtung des Wassers statt, welche sich nicht auf eine streng horizontale Verschiebung beschränkt, sondern als turbulenter Vorgang immer auch eine gewisse Vertikalverschiebung von Turbulenzelementen zur Folge hat und deshalb innerhalb der geschichteten Wassermasse als Ausgleich wirkt. Ferner ist zu berücksichtigen, daß der Seerhein dem See während der Stagnationszeit ausschließlich warmes Oberflächenwasser aus dem Obersee zuführt und deshalb die Dicke der erwärmten Wasserschicht ohnehin vergrößert wird. Diese Erklärung kann für die Verhältnisse des Rheinsees einige Gültigkeit für sich in Anspruch nehmen; für die Thermik des Zellersees fällt dagegen wohl zur Hauptsache der durch strömungsbedingte Turbulenz verursachte Austausch ins Gewicht.

Aus den Abbildungen 9 und 10 ist ersichtlich, daß auch der Gnadensee, obschon sein Tiefenwasser erheblich kühler ist als dasjenige des Zeller- oder Rheinsees, verglichen mit anderen Seen doch auch noch eine ungewöhnlich große Wärmedynamik besitzt. Die Ursachen treten hier weniger klar hervor. Jedenfalls wäre es denkbar, daß die bei AUERBACH und ROT-TENGATTER [3] erwähnten Ausgleichsströmungen durch den Bruckgraben und durch die unterseeische Enge zwischen der Halbinsel Mettnau und der Reichenau genügend Turbulenzenergie in den See bringen, um sein sommerliches Schichtungsbild zu erzwingen.

In diesem Zusammenhang ist es nicht uninteressant, die thermischen Veränderungen, welche ein See infolge künstlicher Einflüsse erfahren kann, den Verhältnissen des Untersees gegenüberzustellen: In den Jahren 1958 bis 1962 wurde der Pfäffikersee im Rahmen eines technischen Großversuches künstlich belüftet. Die Belüftung erfolgte an einem einzigen Punkt in der Seemitte; mit Hilfe von Preßluft, knapp über dem 30 m tiefen Seegrund feinblasig verteilt, wurde (mit einigen Unterbrüchen) jeweils während der Sommerstagnation das kalte Tiefenwasser nach dem Prinzip der Mammutpumpe zur Oberfläche gefördert, wo es sich mit dem warmen Oberflächenwasser mischte. Das so entstandene Mischwasser schichtete sich sodann in einer bestimmten, seiner neuen Temperatur gemäßen Tiefe wieder ein. Die Temperaturverteilung, zu den gleichen Zeiten gemessen wie im Untersee, entspricht nun 1961, wo die Belüftung den ganzen Sommer über in Betrieb gestanden hatte, zumindest unterhalb von 10 m derjenigen des Gnadensees, während 1962, wo die Belüftung nur mit Unterbrüchen arbeiten konnte, zwar wiederum einigermaßen mit dem Gnadensee übereinstimmt, dieser selber aber im gesamten erheblich kälter ist als die übrigen Seeteile. Daß beim Pfäffikersee wirklich ein künstlicher Einfluß vorliegt, geht aus Abbildung 11 hervor: Der Versuchsbetrieb zur Belüftung des Pfäffikersees wurde am Ende der Stagnation 1962 eingestellt. 1963 wurde nicht mehr belüftet. Nach der Zirkulationsphase im Frühjahr 1963 besaß der See (wie auch in jedem Versuchsjahr) eine normale Ausgangslage, Nachwirkungen waren in thermischer Hinsicht keine zu erwarten. Die hochsommerlichen Schichtungsbilder der beiden benachbart gelegenen Seen, Pfäffikersee und Greifensee, sind einander in unbeeinflusstem Zustand sehr ähnlich. Sie entsprechen beide weitgehend dem Temperaturverlauf ähnlicher Seen des Schweizerischen Mittellandes. Der Anschaulichkeit halber ist in Abb. 11 noch die zwei Wochen später gemessene Temperaturverteilung im Rheinsee (Berlingen) eingezeichnet.

Es wurde angedeutet, daß für den Schichtungszustand eines Sees dessen Größe und Morphologie von Bedeutung seien. NYDEGGER [6] hat diesen qualitativ bereits bekannten Zu-

sammenhang genauer untersucht und zwischen der Oberfläche eines Sees und seiner sog. „Durchmischungstiefe“ (= Tiefe, bis in welche die fröhsommerliche Zirkulation im Durchschnitt reicht) eine Beziehung gefunden. Trägt man die 3,5te Wurzel der Oberfläche einiger Seen und deren Durchmischungstiefe in ein Koordinatensystem ein, so liegen die Punkte mit geringen Abweichungen auf einer Geraden. Somit wirkt sich die Oberfläche eines Sees tatsächlich auf dessen Durchmischungstiefe und damit auf seine Wärmeverteilung aus. In Abb. 12 sind die entsprechenden Werte für eine Reihe von Seen (nach NYDEGGER) eingetragen. Der von uns zugefügte Mittelwert für den Greifensee von 1961—63 liegt im engeren Korrelationsbereich, ebenso der Wert für den Pfäffikersee von 1963 (ohne Belüftung). Der Gnadensee liegt 1961 ebenfalls bemerkenswert nahe bei der Regressionsgeraden, während der Wert von 1962 erheblich abweicht. Völlig abseits liegen die entsprechenden Werte des Rheinsees, ebenso des belüfteten Pfäffikersees. Ohne weiter darauf einzutreten, bestätigt diese Darstellung, daß der Untersee in thermischer Hinsicht eine Sonderstellung einnimmt, welche zweifellos für alle übrigen am Stoffkreislauf des Sees beteiligten Komponenten von Bedeutung ist.

5. Wärmebilanz

Die bisherigen, eher qualitativen Feststellungen über die Thermik der einzelnen Seeteile geben zwar über größere Unterschiede Auskunft, gestatten aber nicht, auch geringere Differenzen erkennen zu lassen. Um auch über das *Ausmaß* solcher Unterschiede Aufschluß zu erhalten, sind in Tab. 6 einige *Bilanzwerte* zusammengestellt.

Aus Vergleichsgründen war es allerdings nicht möglich, die Wärmebilanzwerte des ganzen Sees zu berechnen, sondern die Zahlen enthalten unter A diejenige Wärmemenge in Kcal, welche in einer von der Oberfläche bis zum Grunde reichenden Wassersäule von 1 dm² Querschnitt während einer Sommer- oder Winterperiode aufgenommen bzw. an die Umgebung abgegeben wird. Unter B sind sodann die entsprechenden Werte bezogen auf eine einheitliche Wassersäule von 0—20 m zusammengestellt; diese Werte sind untereinander vergleichbar.

Es geht daraus hervor, daß im Rheinsee die Stelle Mannenbach die größte Wärmedynamik besitzt und diese stromabwärts allmählich etwas geringer wird. Interessanterweise vermag der Gnadensee im Winter 1961/62 mehr Wärme abzugeben als der Rheinsee bei Berlingen; in den übrigen Perioden liegt er aber deutlich tiefer. Die Wärmebilanz des Greifensees umfaßt 58 bis 64 % derjenigen des Rheinsees bei Mannenbach, während im künstlich belüfteten Pfäffikersee 84 bzw. 71 % der Gesamt-Kalorienzahl der Stelle Mannenbach umgesetzt werden. Nach Einstellen der Belüftung liegt die Wärmebilanz des Pfäffikersees sogar noch etwas unter derjenigen des Greifensees.

Auf Grund eines Vergleichs mit den Werten von NYDEGGER (Abb. 12) müßte bei Fehlen der Rheinströmung, also unter „normalen“ Verhältnissen, im Rhein- und Zellersee die Temperaturverteilung im Hochsommer theoretisch ungefähr mit derjenigen des Greifensees von 1961 zusammenfallen. Setzt man somit die winterliche Wärmeabgabe des Greifensees 1961/62 zu 100 %, so hätte der Rheinsee bei Mannenbach 156 %, bei Berlingen 147 % und bei Mammern 144 % abgeben können, der belüftete Pfäffikersee 132 %. Die über 100 % liegende Differenz dieser Werte ist der Wirkung der Rheinströmung (beim Pfäffikersee der Belüftung) zuzuschreiben. Die Zahlen lassen erkennen, daß diese Wirkung beträchtlich ist, und es ist nicht von der Hand zu weisen, daß die gesamte Seegegend, insbesondere die Reichenau, ihr bekanntes mildes Klima der besonderen thermischen Situation des Untersees verdankt. Dies ist aber nicht die einzige praktische Folgerung. Wie nämlich der Belüftungsversuch im Pfäffikersee ergeben hat, besitzt ein See mit einer überdurchschnittlich hohen Wärmebilanz

einen wesentlichen Vorteil: Die ausgeglichene Temperaturschichtung wird im Herbst leichter aufgelöst, es sind hierzu geringere Energiemengen (insbesondere Wind) nötig, im Gegensatz zu einer Schichtung, welche im Epilimnion einen hohen Temperaturgradienten aufweist und demzufolge schwerer zu durchbrechen ist. Der See wird deshalb rascher, d. h. früher und somit auch in wärmerem Zustand von der Vollzirkulation erfaßt und kann dadurch während längerer Zeit in Zirkulation bleiben. Seine Zirkulationsphase wird dadurch verlängert und seine natürliche Regeneration, insbesondere auch des Sedimentes, verstärkt. Angesichts der Tatsache, daß bei ausgesprochen windstillen, eutrophen Seen, welche naturgemäß eine sehr strenge Schichtung besitzen, das Ausbleiben einer kräftigen Zirkulation infolge windstiller Witterung während der kritischen Zeit zur Katastrophe führt, kann der Vorzug, den der Untersee in seiner extrem starken Durchflutung besitzt, für sein gesamtes chemisches und biologisches Regime nicht hoch genug eingeschätzt werden, und man wird bei der Behandlung seines Stoffhaushaltes diesen Umstand zu beachten haben.

II. Sauerstoffgehalt und Sauerstoffsättigung im Untersee

1. Einleitung, Methodik

Die Messungen und Probenahmen für die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes wurden gleichzeitig mit den Temperaturmessungen durchgeführt, so daß die im Bericht über die Temperaturverhältnisse des Untersees angeführten Untersuchungsorte für sämtliche weiteren chemischen und biologischen Bestimmungen gelten.

Gemäß den methodischen Vereinbarungen wurde der Sauerstoffgehalt nach der Methode von WINKLER bestimmt; die damit erhaltenen Zahlen sind in den Tabellen 7 bis 11 zusammengestellt. Daneben wurde der Sauerstoffgehalt in manchen Fällen zusätzlich auch durch elektrochemische Messung (Oxytester) ermittelt, und zwar in engeren Tiefenstufen. Die diesbezüglichen Resultate sind aber, wie die mit elektrischen Geräten gemessenen Temperaturwerte, dem vorliegenden Bericht nicht beigelegt, sondern in den beteiligten Laboratorien archiviert. Die Sauerstoffsättigung wurde mit dem O₂-Calculator nach BURKARD berechnet.

2. Die Sauerstoffverhältnisse im Rheinsee

Schon im Bericht Nr. 1 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee wurde niedergelegt, daß der Untersee einen eutrophen Charakter besitzt und daß schon in den Jahren 1943 bis 1946 seine Sauerstoffverhältnisse nicht mehr als befriedigend bezeichnet werden konnten. Es ist nun von besonderem Interesse, zu prüfen, ob sich der Sauerstoffhaushalt in der inzwischen verstrichenen Zeit von rund zwei Jahrzehnten noch weiter verändert hat.

Als Dokumentation dienen die Tabellen 7 bis 16 und die graphischen Darstellungen Abb. 13 bis 17.

Der See beginnt sein Seejahr, d. h. die Stagnationszeit am Ende des Frühjahrs 1961 mit einer unausgeglichene Sauerstoffverteilung mit Gehalten zwischen 10 und 13 mg/l, entsprechend Sättigungswerten von 83 bis 127 ‰. Bereits im April setzt Sauerstoffschwund ein, und zwar massiv von der Tiefe her (Folge der sauerstoffzehrenden Abbauvorgänge) und mäßig an der Oberfläche (physikalische Anpassung der Sättigung an die höheren Temperaturen). Diese allmähliche Abnahme wird an der Oberfläche überlagert durch kurzfristige und wenig in die Tiefe vordringende Sauerstoffschübe, welche auf die Produktion durch planktische Algen zurückgehen. Solche Schübe sind im April, Juni und August 1961 zu erkennen und dann besonders deutlich wieder im April 1962, wo die Sättigungswerte nur zwischen 120 und 115 ‰ schwanken, somit selbst am Grunde beträchtliche Übersättigung herrscht. Diese an sich merkwürdige Erscheinung kommt dann zutage, wenn sich das Phytoplankton und namentlich die Zwergformen darunter, das sog. Nannoplankton, schlagartig entfaltet zu einer Zeit, in der das Seewasser noch nicht der thermischen Schichtung unterliegt und deshalb noch in vertikaler Bewegung ist. Gemäß der Temperaturverteilung (Abb. 3) war das damals möglich; die Übersättigung hat sich deshalb bis zum Seegrund verteilen können. Wir kennen diese Erscheinung auch aus andern Seen; sie ist ein deutliches Anzeichen für eine intensive Planktonproduktion und damit für einen eutrophen Zustand.

Im Laufe des Sommers macht sich namentlich in der Tiefe ein intensiver Sauerstoffschwund geltend, der bei allen drei Stellen im Rheinsee erhebliche Ausmaße annimmt. So finden wir im September 1961 eine Sauerstoffverteilung, welche gemäß Abb. 9 in der Seetiefe Schwund bis auf nahezu Null erkennen läßt. Eine ähnliche, wenn auch etwas weniger weit fortgeschrittene Verteilung finden wir im September 1962. Wie die Isoplethendarstellung zeigt, greift aber im Herbst 1962 trotz der günstigeren Septemberlage die Zehrung vom Grunde her höher, offenbar eine Folge des wärmeren Sommers 1962. An den flacheren Untersuchungs-orten Mammern und Mannenbach ist die Zehrung dagegen im Herbst 1962 etwas schwächer. Im Spätherbst zerfällt die thermische Schichtung; die Wassermasse kommt allmählich in Zirkulation. Hier ist interessant zu sehen, wie sich das für den Untersee typische, sehr rasche Vordringen der Durchmischung in die Tiefe bemerkbar macht: Würde die Wassermasse nur langsam von der Umwälzung erfaßt, so könnte sich das Wasser durch den nun innigen Kontakt mit der Luft laufend sättigen, und das sauerstoffarme Tiefenwasser, welches hier mit dem Oberflächenwasser zusammen eine untersättigte Mischung ergibt, könnte sich nicht wesentlich bemerkbar machen. Indem nun aber dieser Mischungsvorgang gemäß Abb. 3 rasch vor sich geht, vermag die Nachlieferung von Sauerstoff aus der Luft, ein Vorgang, der recht langsam verläuft, nicht zu folgen, und das Resultat ist eine — wenn auch kurzfristige — Untersättigung des gesamten Wasserkörpers. So messen wir in den kritischen Zeiten die folgenden Werte:

Stelle Mannenbach	19. Okt. 61	89 — 95 ‰
Berlingen	22. Nov. 61	83,5 — 88 ‰
Zellersee	16. Nov. 61	70 — 72 ‰
Mammern	22. Nov. 61	77 — 81 ‰
Gnadensee	16. Nov. 61	73 — 81 ‰

Hierzu ist zu bemerken, daß diese Erscheinung in hocheutrophen Seen den Sauerstoffgehalt des Mischwassers derart herabdrücken kann, daß Fischsterben eintreten.

Aus den Temperaturmessungen sowie aus der Sauerstoffverteilung zu schließen hält die Zirkulation des Seewassers bei nicht vereistem See mit Unterbrüchen (bei längerer Windstille) den ganzen Winter über an. Trotzdem vermag sich der See bis zur Zeit der beginnenden Organistentätigkeit nur knapp zu sättigen. So liegen die Januarwerte 1961 von Berlingen bei 95 ‰, die Februarwerte bei 98 ‰ und erst im März steigen sie wieder an. Zwar steigen

die absoluten Sauerstoffgehalte vom November an dauernd und erreichen im März ihr Maximum, doch kühlt sich während dieser Zeit das Wasser aus, wodurch die Gehalte, welche einer Sättigung von 100 % entsprechen, als temperaturabhängige Größe erheblich ansteigen. Zieht man ferner in Betracht, daß die Aufsättigung des Wassers mit einem gelösten Gas nicht einer linearen Zeitfunktion folgt, sondern vom aktuellen Gehalt abhängt und einer Exponentialfunktion mit asymptotischem Endpunkt entspricht, so ist es verständlich, wenn diese an sich langsam verlaufende physikalische Reaktion der Sauerstoffaufnahme den jeweiligen Sättigungsgehalt nicht ganz zu erreichen vermag. Erst die steigende Temperatur im Frühjahr, welche den theoretischen Sättigungsgehalt wieder absinken läßt und dann namentlich die plötzlich einsetzende Assimilationstätigkeit planktischer Mikroorganismen mit ihrer sehr großen Sauerstoffproduktion bringen den Sättigungsgrad des Seewassers auf 100 % und darüber.

Der Sommer 1962 zeigt ein ähnliches Bild wie 1961. Von Jahr zu Jahr auftretende graduelle Unterschiede sind deshalb zu erwarten, weil die Thermik und damit die Sauerstoffverhältnisse dem Einfluß der Witterung unterliegen. So bringt der Sommer 1962 höhere Oberflächentemperaturen und ein längeres Anhalten der Stagnationsperiode, wodurch sich die Sauerstoffzehrung vom Grunde her stärker geltend macht und während der Monate Oktober und November einen erheblichen Schwund (bis hinauf auf 20 m unter 1 mg/l) bewirkt. Die sehr lange Vereisung 1962/63 bewirkt sodann eine Stagnationsphase, während welcher wiederum ein kräftiger Sauerstoffschwund eintritt, mit einem Minimalgehalt von 4,0 mg/l am Grunde (Berlingen), nachdem in einer kurzen, offenbar aber doch intensiven Zirkulation eine erhebliche Aufsättigung bis auf mehr als 10 mg/l stattgefunden hatte. Das Seejahr 1963 beginnt trotzdem unter guten Voraussetzungen, indem der Eisbruch und die Eisschmelze und damit die zwangsläufige Zerstörung der inversen Temperaturschichtung eine Vollzirkulation induzieren (anfangs März), welche, zusammen mit einer kräftig einsetzenden Entfaltung des Phytoplanktons und damit verbundener Sauerstoffproduktion den Sauerstoffgehalt auf einen Sättigungswert von 96—124 % heben.

Vergleich der Untersuchungsorte Mannenbach, Berlingen und Mammern

Nachdem die einzelnen Becken des Rheinsees in thermischer Hinsicht keine prinzipiellen Unterschiede zeigen, sondern gemeinsam unter dem Einfluß der Rheinströmung stehen und nur graduell etwas voneinander abweichen, ist für den Sauerstoffhaushalt eine ähnlich gelagerte Abstufung zu erwarten. Wie ein Vergleich der Diagramme Abb. 13 bis 15 zeigt, trifft dies tatsächlich zu. Das gleichförmigste Bild ist an der Stelle Mannenbach ersichtlich. Während einer sehr langen Periode herrschen hier im Sommer 1961 im Epilimnion Sauerstoffgehalte von 10 und mehr mg/l, während die Zeit, in der infolge zirkulationsbedingter Mischung mit dem sauerstoffarmen Tiefenwasser der Sauerstoffgehalt absinkt, nur rund zwei Monate (erste Hälfte Oktober bis Mitte Dezember) dauert. Die Sauerstoffzehrung in der Tiefe ist besonders im Sommer 1961 verhältnismäßig gering; der Minimalgehalt (September 1961) beträgt über Grund in 20 m Tiefe 5,5 mg/l. 1962 ist das Bild weniger günstig; der Minimalgehalt (Oktober 1962) beträgt hier 3,1 mg/l.

Während des Winters und Frühjahrs 1961/62 sind einige Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Durch seeinterne Vorgänge sind sie nicht zu erklären; vielmehr werden sie auf die an dieser Stelle sehr starke Rheinströmung bzw. die Zufuhr von Wasser aus dem Obersee zurückzuführen sein.

Der Sauerstoff-Konzentrationsverlauf an der Stelle Berlingen kommt demjenigen des östlichen Rheinsees (Mannenbach) nahe. Der Rheinströmung folgend verschlechtern sich die Sauerstoffverhältnisse nun; an der Stelle Mammern ist im gesamten eine stärkere Sauerstoffzehrung im Sommer festzustellen, während die Sauerstoffgehalte im Epilimnion im Sommer 1961 ebenfalls niedriger lagen, im Sommer 1962 dagegen ungefähr den Gehalten der beiden andern Stellen entsprechen. Interessant ist auch hier die sich auffällig rasch und über den gesamten Was-

serkörper erstreckende Zunahme des Sauerstoffgehaltes im April, wo als Folge einer noch während der Frühjahrszirkulation einsetzenden kräftigen Phytoplankton-Entwicklung Sättigungswerte von 110 bis 118 ‰ erreicht werden, ein unverkennbares Zeichen für eutrophe Verhältnisse.

3. Zeller- und Gnadensee

Wie schon SCHMALZ [7] und AUERBACH und ROTTENGATTER [3] bemerken und wie auch aus den Feststellungen über die Thermik abzuleiten ist, sind in beiden Seeteilen die Merkmale eines eutrophen Zustandes stärker ausgeprägt. Zwar weisen bestimmte Einzelheiten auch im Rheinsee auf eine rege Planktontätigkeit hin; Strömungen und rascher Wasserwechsel bewirken indessen, daß diese Merkmale, insbesondere Sauerstoffübersättigung und -zehrung, nicht übermäßig zur Geltung kommen. Wenn nun der Zellersee thermisch noch wesentlich vom Rheinsee her beeinflusst wird, offenbar durch Strömungen, welche ihm eine ausgeglichene Temperaturschichtung verschaffen, so wird doch — im Gegensatz zum Rheinsee selber — die Wassermasse zumindest während des Sommers langsamer erneuert. Damit ist die Voraussetzung zum Entstehen eutropher Merkmale gegeben, besonders im Gnadensee. Doch auch im *Zellersee* finden sich, wie das Sauerstoffdiagramm Abb. 16 zeigt, hier sogar fast am klarsten, Einzelheiten im Verlauf der Sauerstoffverteilung, welche in Analogie zu andern Seen für eutrophe Verhältnisse typisch sind: Ein metalimnisches Sauerstoffmaximum im Juli 1961 in 10 m Tiefe, ein in 5 m Tiefe liegendes ähnliches Maximum im März 1962 mit 15,5 mg/l (entsprechend 125 ‰ Sättigung), außerordentlich hohe Gehalte an der Oberfläche im Juli und August beider Jahre (mit Sättigungswerten bis zu 136 bzw. 168 ‰), ferner die hypolimnische Sauerstoffzehrung bis unter 1 mg/l im Sommer 1961, bis auf Null im Sommer 1962. Diese Beispiele stellen Extremwerte dar, welche in einem oligotrophen See nicht vorkommen.

Der *Gnadensee* (Abb. 17) zeigt im Epilimnion nicht die gleichen extremen Verhältnisse wie der Zellersee, doch ist es durchaus denkbar, daß die in monatlichen Abständen ausgeführten Untersuchungen hier gewisse kurzfristige Spitzen nicht erfaßten. Dagegen stellt man im Hypolimnion eine kräftige Sauerstoffzehrung fest, welche Mitte September 1961 den Sauerstoff von 14 m an abwärts völlig aufbraucht, zur gleichen Zeit im folgenden Jahr sogar bis auf 10 m hinauf. Die Zeit, während welcher am Grunde kein Sauerstoff mehr vorhanden ist, dauert im Sommer 1961 zweieinhalb, im Sommer 1962 dreieinhalb Monate. Am Ende der Stagnation 1962 hat die Vermischung von Oberflächen- und sauerstofffreiem oder sogar sauerstoffzehrendem Tiefenwasser ein kurzfristiges Absinken des Sauerstoffgehaltes in der gesamten Wassermasse auf unter 5 mg/l zur Folge. Die für einen eutrophen See charakteristischen Merkmale sind somit, abgesehen von den ephemeren Erscheinungen im Epilimnion, im Gnadensee am deutlichsten ausgeprägt. Die Vereisung im Winter 1962/63, welche das Seewasser zur inversen Temperaturschichtung, d. h. zur Stagnation bringt, bewirkt, nachdem sich der See laut der Dezember-Probenahme bis auf mindestens 11 mg/l im gesamten Wasserkörper aufsättigte (im Januar und Februar fielen die Probenahmen aus), einen erneuten Sauerstoffschwund mit einem Gehalt über Grund von 0,2 mg/l, während die 5 mg/l-Linie in 16 m liegt. Somit genügt hier eine kurzfristige Stagnation, um die sauerstoffzehrenden Prozesse in der Tiefe wirksam werden zu lassen. Wie Abb. 14 zeigt, tritt auch an der Stelle Berlingen während der Seegefrörne eine gewisse Zehrung ein, doch ist sie hier erheblich schwächer.

4. Änderungen des Sauerstoffhaushaltes im Untersee gegenüber früheren Untersuchungen

Für eine vergleichende Betrachtung dienen uns Untersuchungsergebnisse von O. JAAG aus den Jahren 1943—46 von den Stellen Mammern und Berlingen. Von diesen Stellen ist bekannt, daß sie schon damals Merkmale der Eutrophie zeigten. Es ist nun von Interesse, ob sich seit jener Zeit der Sauerstoffhaushalt des Sees verändert hat. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß ein solcher Vergleich nicht einfach ist. Der Sauerstoffgehalt und damit die jahreszeitlichen Schwankungen der daran beteiligten chemischen Komponenten sind, wie schon ausgeführt wurde, direkt oder indirekt von der jeweiligen Witterung und vom mittleren Klima abhängig. Die Erfahrung zeigt aber, daß von Jahr zu Jahr graduelle Unterschiede auftreten. Soll deshalb an Hand von zwei Jahresserien, von denen die eine teilweise ohnehin schon abnorme Verhältnisse aufweist, nämlich die Eisbedeckung 1962/63, entschieden werden, ob sich der Sauerstoffhaushalt verändert hat, so sind dazu Unterschiede nötig, welche angesichts der wenigen Jahre so groß sein müssen, daß sie eindeutig über die Amplitude der natürlichen, klimabedingten Schwankungen hinaus gehen. Dies ist aber nur mit mehrjährigen Serien möglich, welche eine Mittelwertbildung erlauben. Liegen allfällige Unterschiede dagegen näher beisammen, so kann nicht entschieden werden, ob bleibende Veränderungen im See tatsächlich eingetreten sind. Gerade in Seen vom eutrophen Typus ist dies schwierig, weil diese naturgemäß einen sehr bewegten, von einem Extrem ins andere fallenden Stoffwechsel besitzen und damit die quantitative Beurteilung erschweren.

Zum Vergleich stützen wir uns auf eine Jahresserie vom 17. 10. 1943 bis 27. 11. 1944 von O. JAAG (Stelle Berlingen) [4] sowie auf eine zweijährige Serie vom 27. 5. 1945 bis 4. 8. 1946 von der Stelle Mammern [5]. Auch hier unterscheiden sich die beiden Jahre aus ein und derselben Serie untereinander ziemlich stark.

Während die Thermik aus den genannten Jahren das Bild der neuesten Untersuchungen getreulich wiederholt und keine eingehende Analyse nötig macht mit Ausnahme vielleicht der Bemerkung, daß auch damals die recht auffällige flache Temperaturverteilung herrschte und der See somit im Sommer ungewöhnlich viel Wärme speicherte, verlangen die Sauerstoffverhältnisse eine genauere Betrachtung.

Hierzu interessiert uns vor allem der Höhepunkt der Stagnationszeit, jene Phase, in welcher die Sauerstoffzehrung am weitesten fortgeschritten ist, somit die Zeit der sich vollendenden und auflösenden thermischen Schichtung. Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen, sind in der Tabelle 17 die mittleren Sauerstoffgehalte für die Schichten von 0—15 m (Epilimnion) und 15—40 m (Hypolimnion) zusammengestellt.

Tabelle 17

Berlingen

Datum		17. 10. 43	31. 10. 43	21. 11. 43	
Mittel	0—15 m	8,70	9,32	10,0	
Mittel	15—40 m	2,22	3,83	10,06	
		10. 9. 44	8. 10. 44	27. 11. 44	
		8,92	9,76	10,90	
		4,63	4,94	10,65	
Datum		14. 9. 61	19. 10. 61	27. 11. 61	
Mittel	0—15 m	9,06	8,45	8,93	
Mittel	15—40 m	2,08	5,61	9,25	
		12. 9. 62	17. 10. 62	14. 11. 62	12. 12. 62
		9,33	8,93	8,80	10,7
		1,80	1,53	4,46	10,8

Ein Vergleich dieser Zahlen ergibt folgendes: In beiden Serien liegen die korrespondierenden Werte der beiden Jahre weit auseinander. Die hypolimnischen Mittel der Jahre 1943 und 1962 fallen praktisch aufeinander, soweit sich anhand des knappen Materials überhaupt eine Aussage machen läßt, während 1944 erheblich höhere Mittelwerte hat als 1961. Im gesamten ist die Sauerstoffzehrung in den vierziger Jahren etwas geringer als 1961/63. Ein Vergleich der entsprechenden Werte von Mammern läßt dagegen praktisch gar keine Unterschiede erkennen. Solche rechnerisch festzustellen ist kaum sinnvoll, da die Schwankungen innerhalb der Meßserien von 1943—44 bzw. 1961—63 jene zwischen den um zwei Jahrzehnte voneinander entfernten Serien übertreffen. Verläßt man sich indessen nicht nur auf die Mittelwerte in Tab. 17, sondern auf die Feinheiten der Sauerstoffverteilung (Schichtung) im See, so wäre man doch versucht zu sagen, daß der Sauerstoffhaushalt 1961/63 gegenüber dem früheren Zustand etwas stärker beansprucht wird, daß diese Zunahme, resp. diese Verschlechterung des Sees aber nicht wesentlich ist bzw. daß der See schon 1943/44 einen schlechten, überdüngten Zustand aufgewiesen hat. Die Werte der Station Mammern bestätigen diese Feststellung.

G n a d e n s e e : Aus dem Gnadensee liegen einige Sauerstoffzahlen von SCHMALZ [7] vom 24./25. August 1931 vor:

0 m:	9,6	mg/l (im 24-Stunden-Mittel)
5 m:	9,25	„
10 m:	8,35	„
15 m:	0,95	„
20 m:	0,54	„

(SCHMALZ bezeichnet den Gnadensee in dieser Arbeit als eutroph.)

Stellt man diese Zahlen unseren Werten vom August 1961 gegenüber, so ist ein geringer Rückgang des Sauerstoffgehaltes ersichtlich, vergleicht man sie aber mit den Werten von 1962, so wäre zu folgern, daß sich der Sauerstoffhaushalt seit 1931 erheblich verschlechtert hätte. Solche Vergleiche sind aber, wie schon ausgeführt, anhand weniger Einzelwerte kaum möglich. Höchstens läßt sich folgern, daß in der Zeit seit 1931 keine großen Veränderungen mehr eingetreten sind, was Sauerstoffwerte von AUERBACH und ROTTENGATTER aus dem Jahr 1955 [3] bestätigen.

Der Untersee hat sich somit gegenüber 1943/44, wie aus dem Sauerstoffhaushalt zu schließen ist, bis 1961/63 nicht wesentlich verändert. Es scheinen zwar häufiger kurzfristige Extrema in Sauerstoffübersättigung und -zehrung aufzutreten, doch weicht der gesamte Haushalt von den früheren Werten nicht so stark ab, daß daraus eine signifikante, statistisch belegbare Verschlechterung des Sees abzuleiten wäre.

Aus Analogie zur Entwicklung anderer Seen sowie aus der Bevölkerungsbewegung der letzten Jahrzehnte ist die Annahme berechtigt, daß die Nährstoffzufuhr zum Untersee und damit sein Trophiegrad zugenommen hat. Daß sich diese Zunahme im Sauerstoffhaushalt nicht sicher abzeichnet, ist auf die starke Durchströmung des Sees zurückzuführen, welche verhindert, daß größere Nährstoffanreicherungen entstehen können. Während bei geringer Durchströmung und schwacher Turbulenz Verhältnisse zu erwarten wären, welche noch erheblich prekärer sein müßten als jene des Gnadensees, wird das Nährstoffdepot, welches sich während des Sommers jeweils in erstaunlicher Geschwindigkeit und in ebensolchem Ausmaß aufbaut, während der Zirkulation vollständig weggetragen. Damit kann sich der See alljährlich von seiner eigenen Nährstofflast befreien. Daneben wird laufend ein Teil der Planktonproduktion weggeführt, was wiederum eine Entlastung der Tiefenzone bedeutet. Zwischen all diesen Komponenten scheint sich im See ein Beharrungszustand ausgebildet zu haben, in welchem sich trotz starker Düngung die Merkmale und die schwerwiegenden Nachteile des eutrophen Zustandes nur unvollständig ausbilden können, mit graduellen, vom Seeteil abhängigen Abstufungen freilich. So ist der Rheinsee als am stärksten durchflossener Teil des gesamten Systems in dieser Hinsicht besonders begünstigt und verdankt seinen zwar eutrophen, aber doch

noch leidlichen limnologischen Charakter seiner natürlichen Sonderstellung. Bestätigt wird dies durch die Beobachtungen an den übrigen Seeteilen, welche, als weniger intensiv durchspülte Becken, ihren eutrophen Charakter stärker zur Geltung bringen.

L I T E R A T U R :

- [1] Bericht Nr. 1 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees.
- [2] AUERBACH, M., MAERKER, W. und SCHMALZ, J., Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen. II. Ergebnisse der Jahre 1923 und 1924 und Zusammenfassung 1920–1924. Verh. Naturw. Ver. Karlsruhe 30 (1926).
- [3] AUERBACH, M. und ROTTENGATTER, G., Untersuchungen über den Wasseraustausch der einzelnen Becken des Untersees (I. Teil). Schweiz. Z. Hydrol. 22 (1960).
- [4] JAAG, O., Untersuchungen zur Abklärung hydrobiologischer Fragen der Bodenseeregulierung. I. Gutachten an das Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (unveröffentlicht, 1950).
- [5] JAAG, O., Untersuchungen zur Abklärung hydrobiologischer Fragen der Bodenseeregulierung. II. Unterer Untersee und Hochrhein (unveröffentlicht).
- [6] NYDEGGER, P., Vergleichende limnologische Untersuchungen an sieben Schweizer Seen. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie, Nr. 9, 1957.
- [7] SCHMALZ, J., siehe [2].
- [8] SOLLBERGER, H., Le lac de Neuchâtel (Suisse). Ses eaux, ses sédiments, ses courants sous-lacustres. Delachaux et Niestlé, éd., 560 p., Neuchâtel 1966.
- [8] ZIMMERMANN, P., Chemische und bakteriologische Untersuchungen im unteren Zürichsee während der Jahre 1948–1957. Schweiz. Z. Hydrol. 23 (1961).

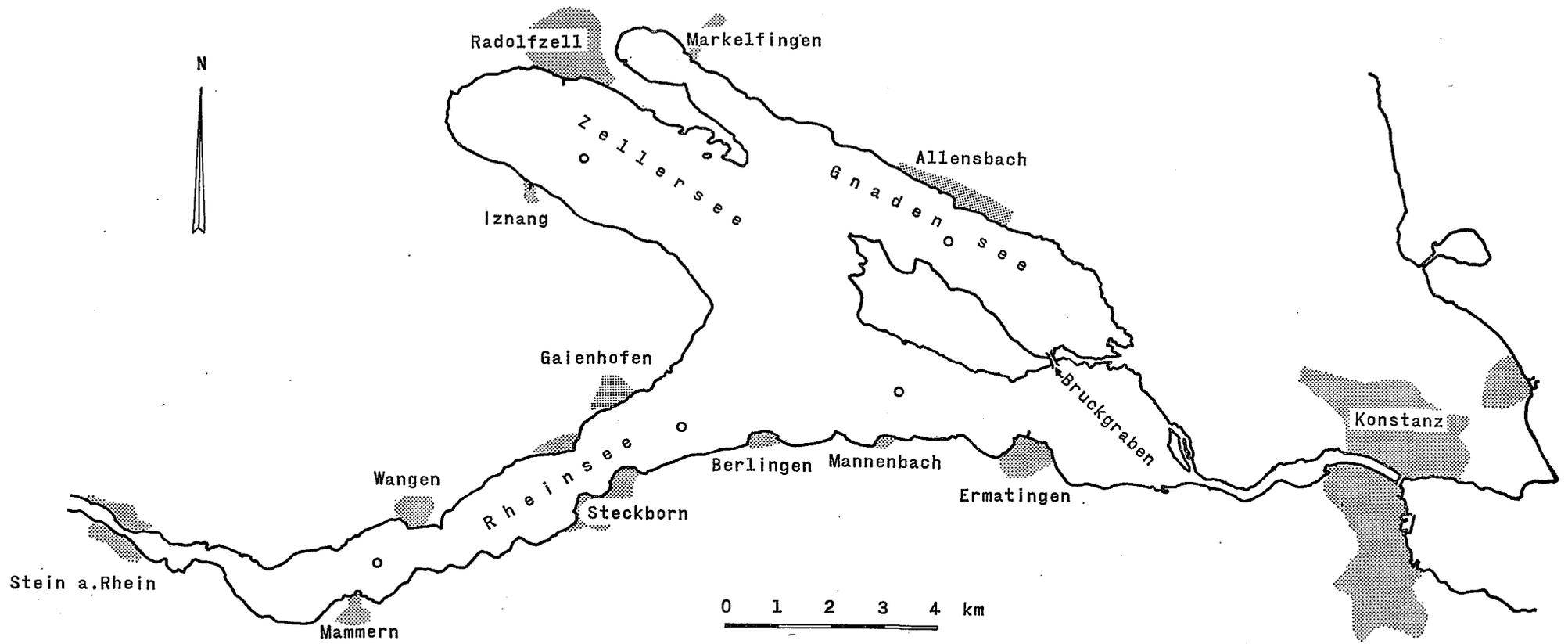


Abb. 1: Uebersicht

Bodensee-Untersee
Mannenbach-Reichenau

Temperatur °C

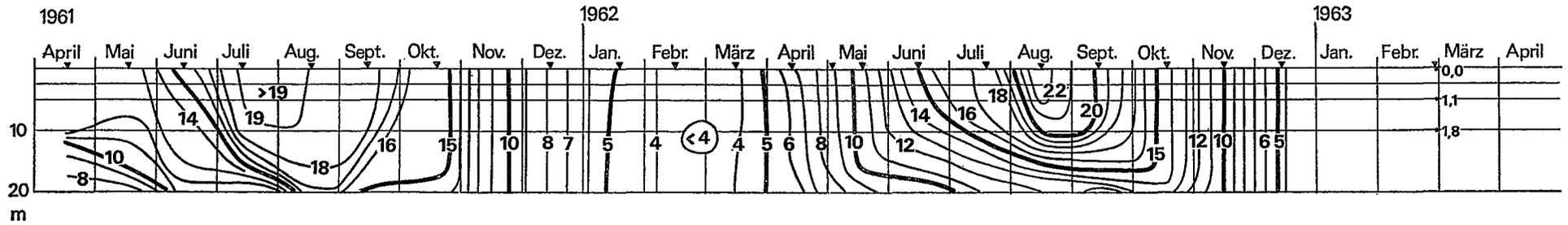


Abb. 2

Bodensee-Untersee
Berlingen

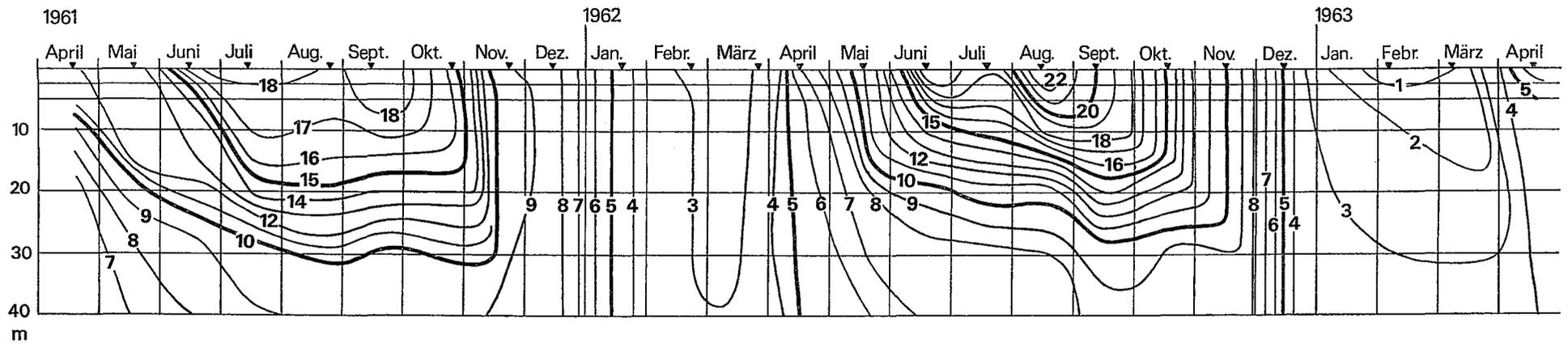


Abb. 3

Bodensee-Untersee
Mammern

Temperatur °C

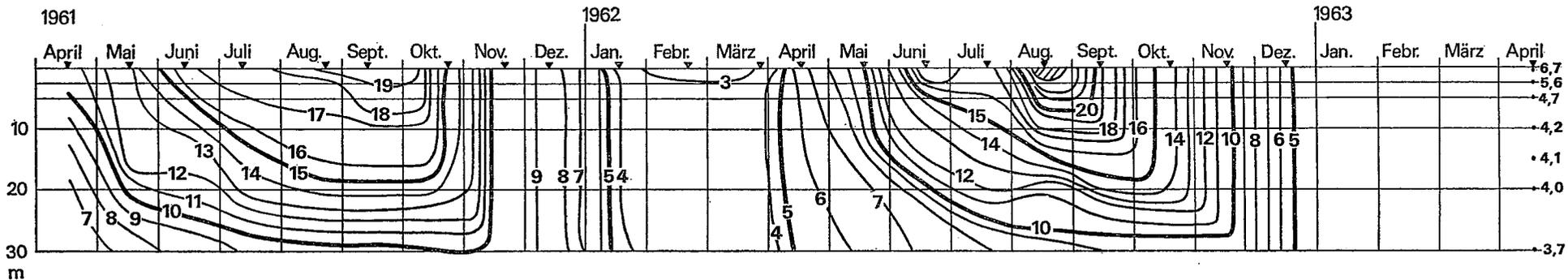


Abb. 4

Bodensee-Untersee
Radolfzell-Iznang (Zellersee)

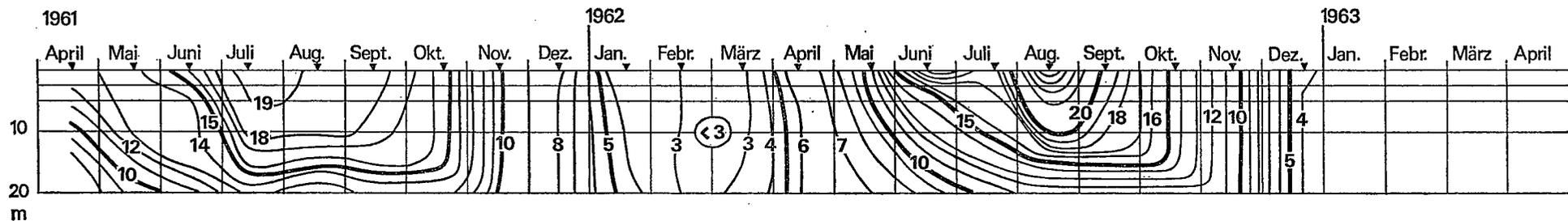


Abb. 5

Bodensee-Untersee
Reichenau-Allensbach (Gnadensee)

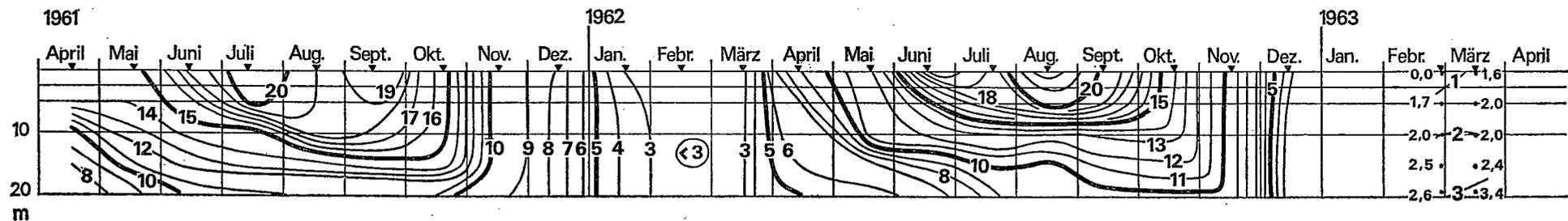


Abb. 6

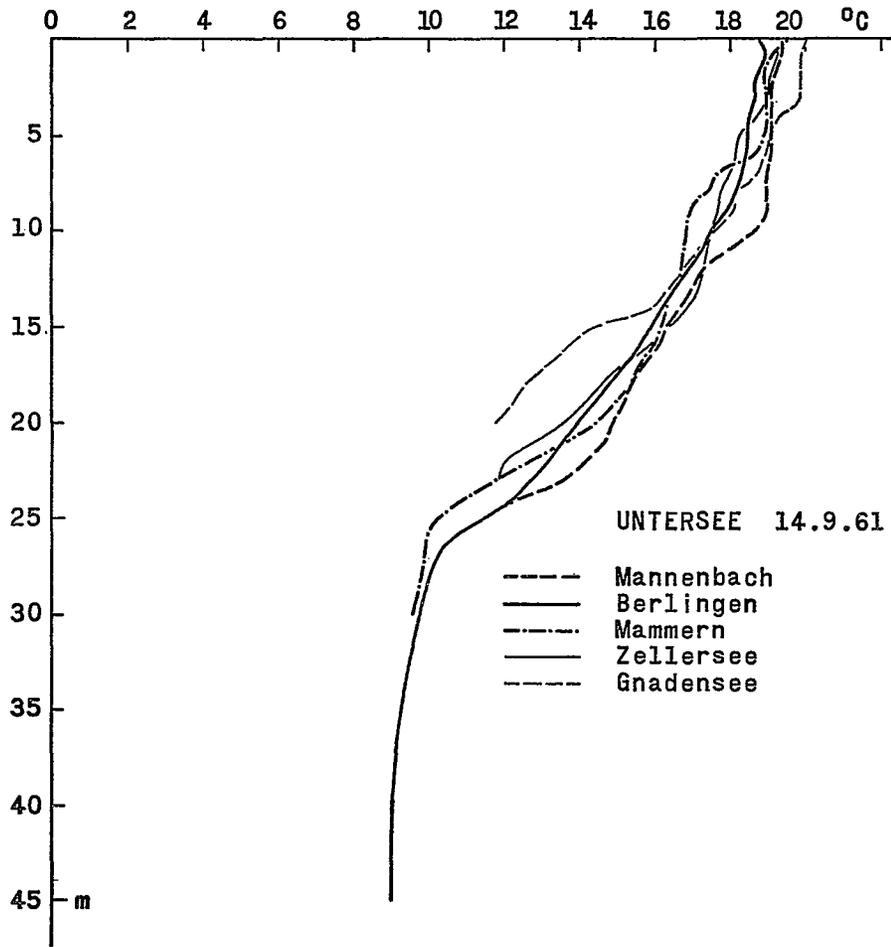


Abb. 7
 Temperaturverteilung im Untersee
 am 14. September 1961

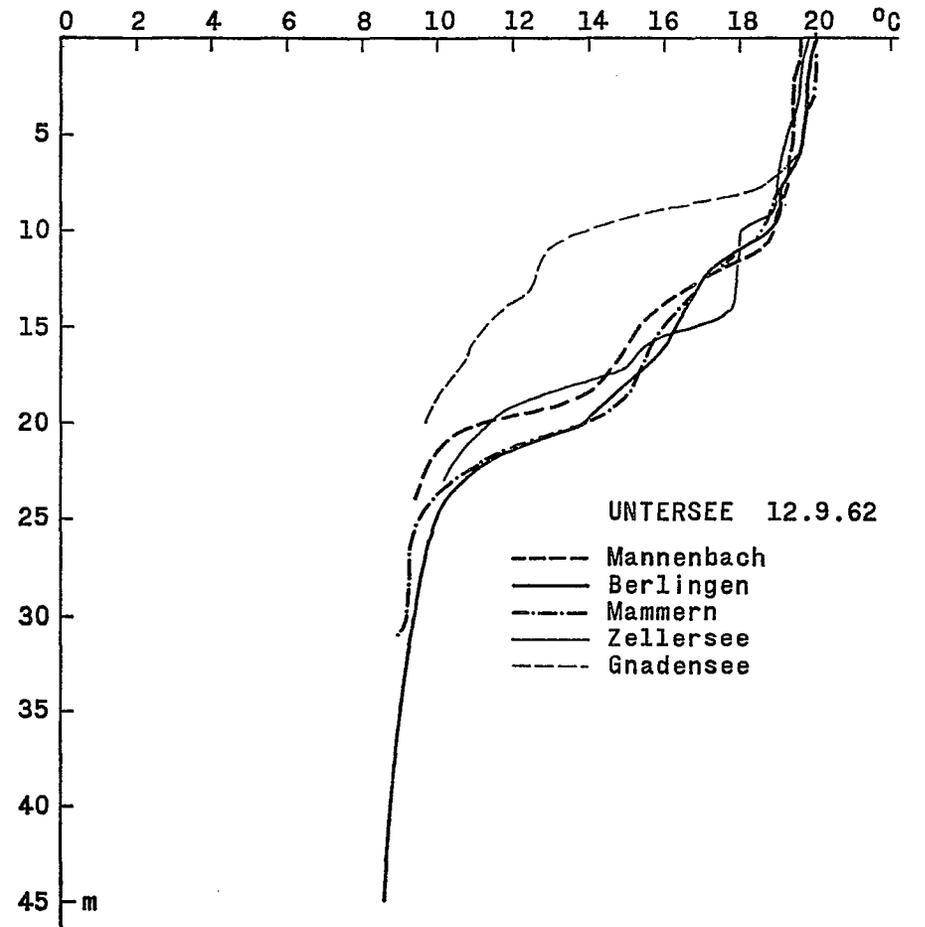


Abb. 8
 Temperaturverteilung im Untersee
 am 12. September 1962

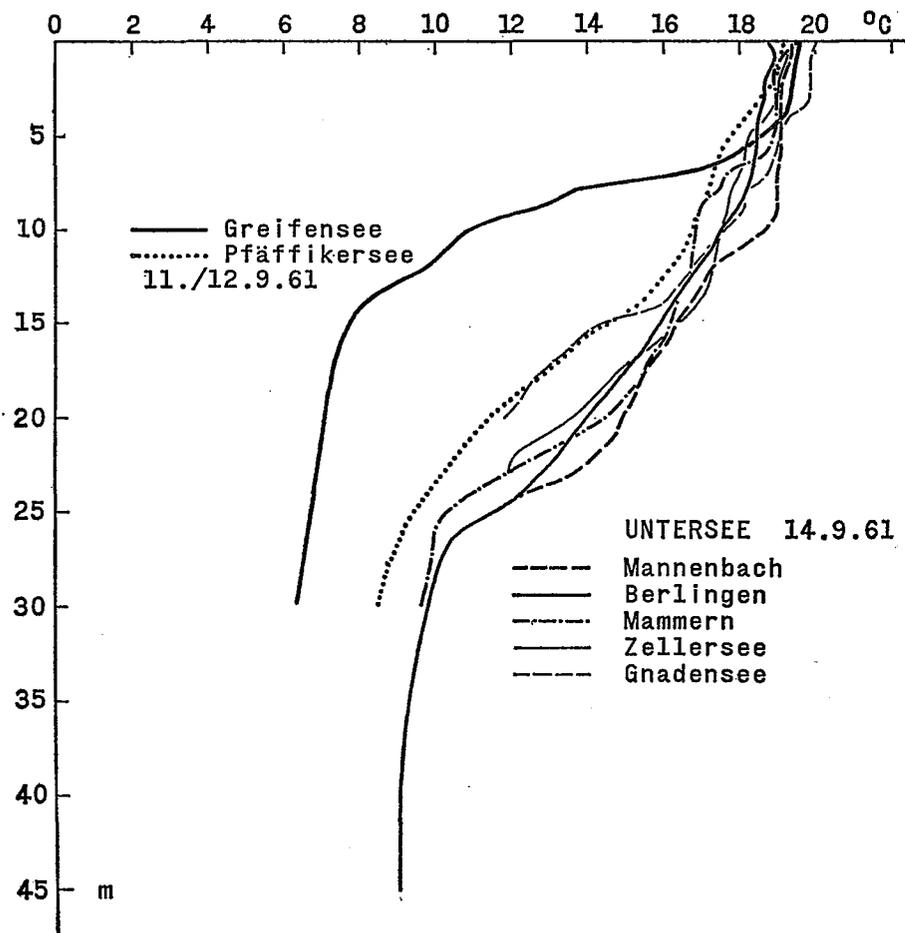


Abb. 9

Vergleich der Temperaturverteilung im Untersee mit derjenigen im Greifensee und im belüfteten Pfäffikersee im September 1961

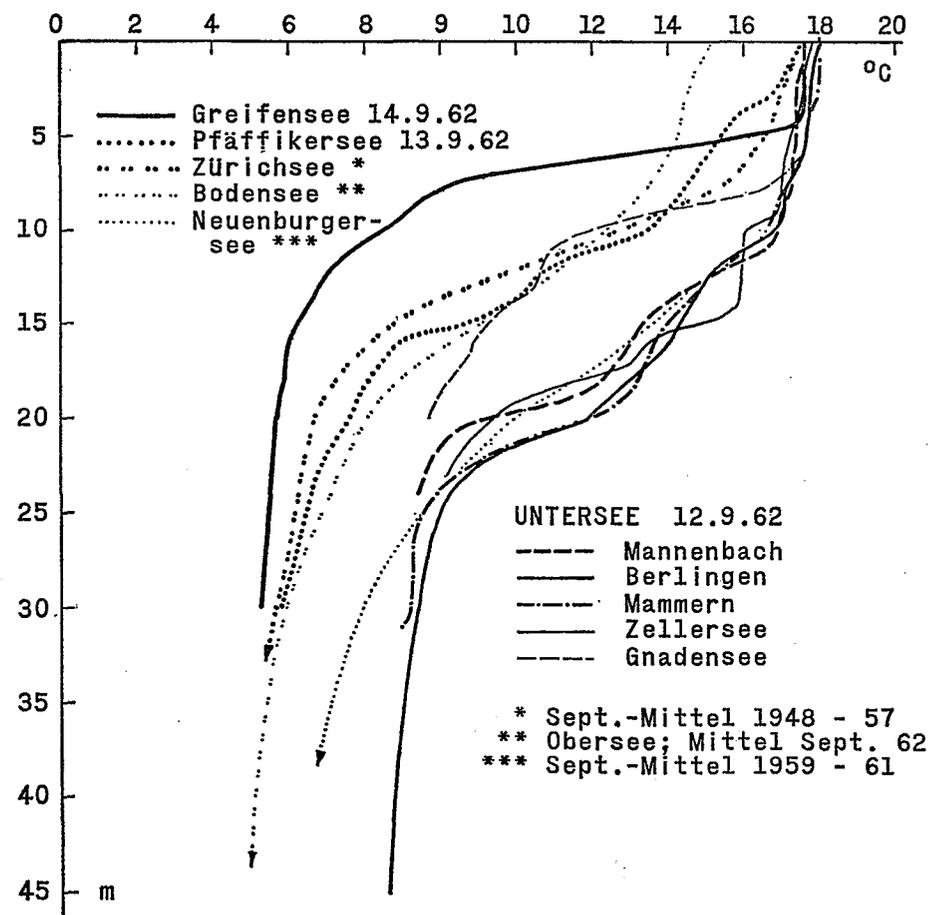


Abb. 10

Vergleich der Temperaturverteilung im Untersee vom September 1962 mit derjenigen anderer Schweizer Seen

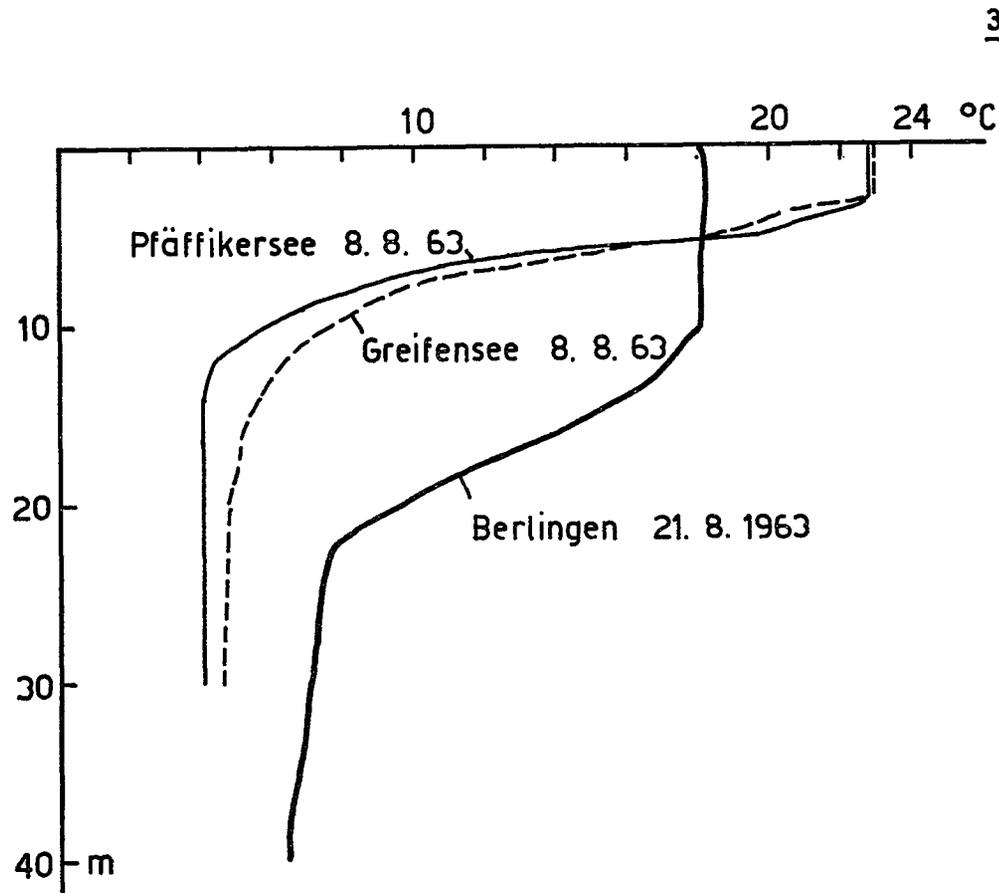


Abb. 11

Die Temperaturverteilung im Untersee (Berlingen) und im Pfäffiker- und Greifensee, August 1963

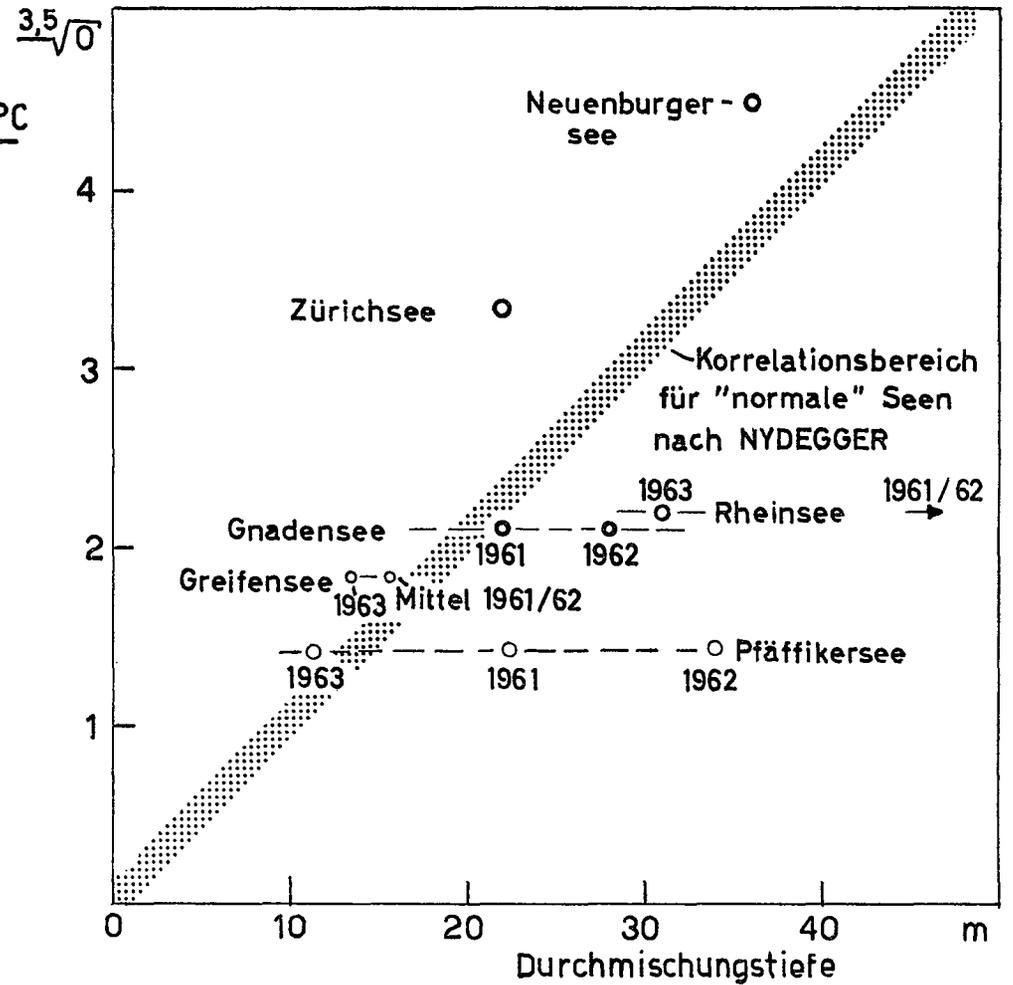


Abb. 12

Beziehung zwischen der Durchschnittstiefe und der 3,5-ten Wurzel aus der Seeoberfläche, nach NYDEGGER

Bodensee-Untersee
Mannenbach-Reichenau

Sauerstoffgehalt mg/L O₂

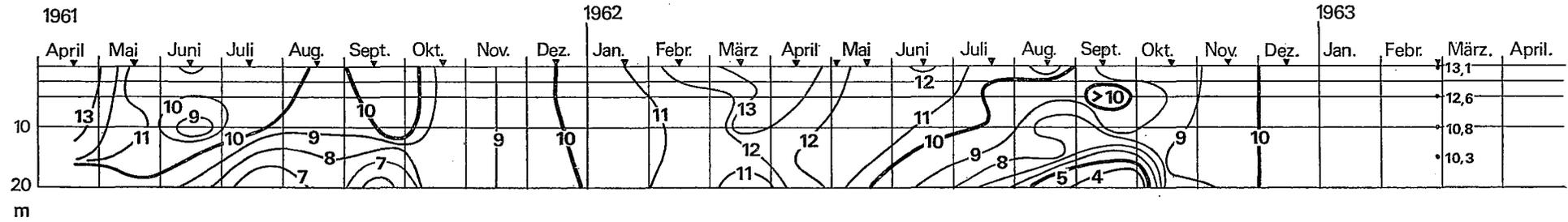


Abb. 13

Bodensee-Untersee
Berlingen

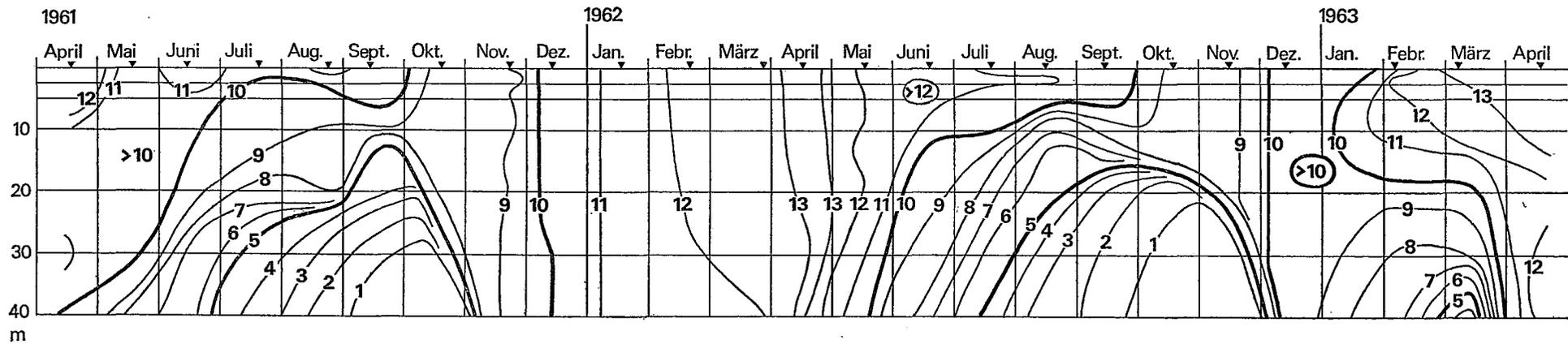


Abb. 14

Bodensee-Untersee
Mammern

Sauerstoffgehalt mg/L O₂

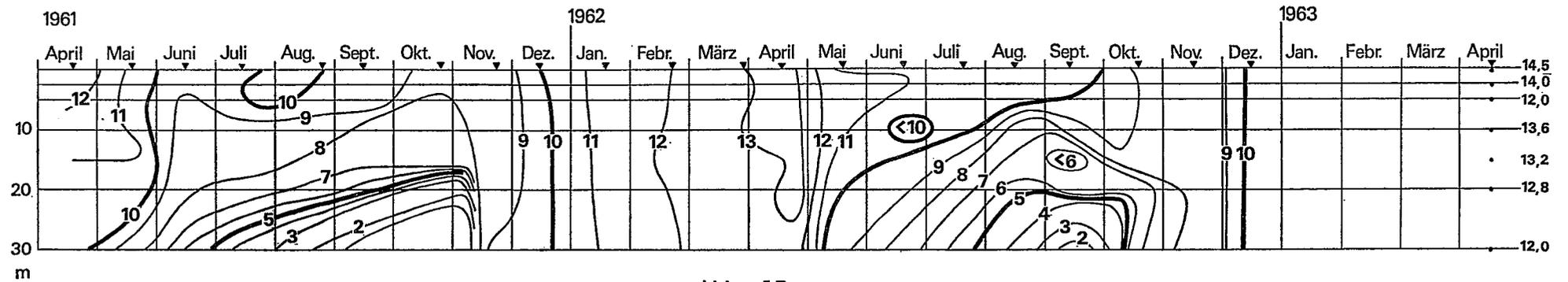


Abb. 15

Bodensee-Untersee
Radolfzell-Iznang (Zellersee)

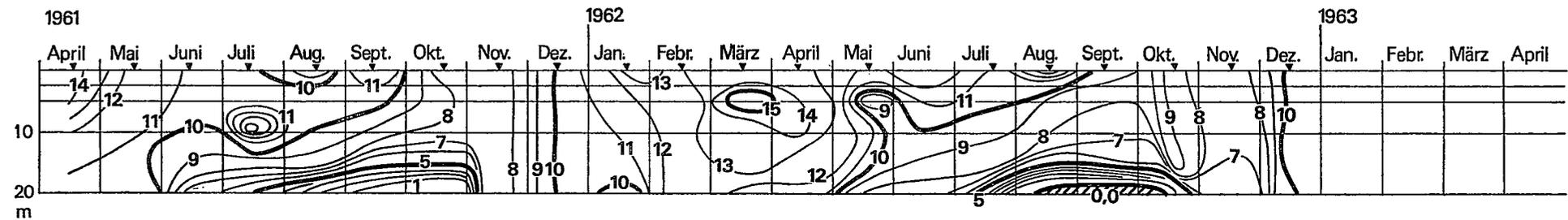


Abb. 16

Bodensee-Untersee
Reichenau-Allensbach (Gnadensee)

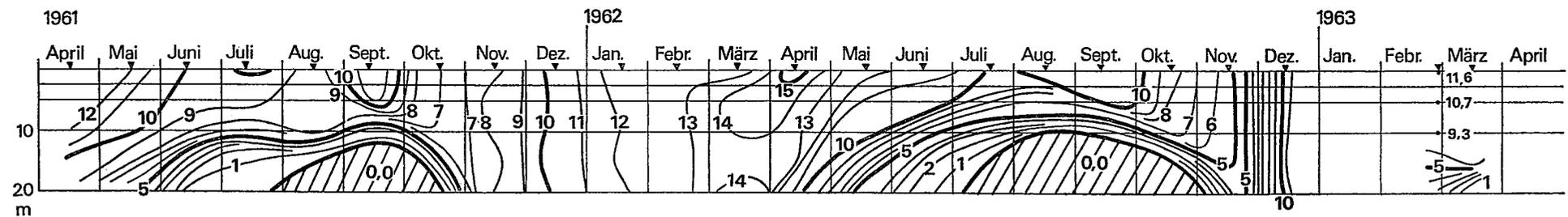


Abb. 17

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Mannenbach
Temperatur in ° C

Tabelle Nr. 1

Tiefe	Datum	1961								1962		
		18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m		12,6	12,4	15,3	19,1	19,0	19,4	15,6	8,0	4,9	3,5	3,9
5 m		12,6	12,3	14,1	19,0	18,8	19,1	15,7	8,0	4,8	3,5	3,9
10 m		12,3	11,4	13,5	18,8	18,8	18,7	15,6	8,0	4,8	3,5	3,9
15 m		8,8	10,4	13,0	15,0	18,5	16,3	15,6	8,0	4,8	3,5	4,0
20 m		7,2	8,7	11,8	11,3	16,9	14,9	14,8	8,0	4,7	3,5	4,0
Tiefe	Datum	1962									1963	
		12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	27. 2.	
0 m		6,5	10,6	15,2	17,5	22,4	19,6	14,3	10,0	4,2	0,0	
5 m		6,0	10,5	14,4	17,5	22,4	19,4	14,3	10,0	4,1	1,1	
10 m		6,0	10,5	13,5	16,0	20,5	18,9	14,3	10,0	4,1	1,8	
20 m		5,6	8,5	8,9	11,2	12,2	11,1	13,6	10,0	4,1	3,5	

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Berlingen
Temperatur in ° C

Tabelle Nr. 2

Tiefe	Datum	1961								1962			
		18. 4.	18. 5.	15. 6.	20. 7.	24. 8.	14. 9.	19. 10.	22. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	27. 3.
0 m		11,9	12,4	17,9	18,2	17,8	18,8	15,5	9,1	8,3	4,2	2,7	3,8
2,5 m		11,7	12,4	15,0	18,0	17,6	18,7	15,8	9,4	8,2	4,2	2,8	3,8
5 m		11,7	12,3	14,1	17,8	17,7	18,5	16,0	9,4	8,2	4,2	3,0	3,9
10 m		8,9	12,3	13,4	17,1	16,6	17,4	16,0	9,4	8,2	4,2	3,0	3,9
15 m		7,6	12,3	12,9	16,0	15,9	15,9	15,9	9,4	8,2	4,2	3,0	3,9
20 m		6,6	9,7	11,3	14,3	14,9	14,0	14,0	9,3	8,2	4,3	3,0	3,9
30 m		6,3	7,9	8,2	9,5	10,1	9,8	10,5	9,0	8,2	4,3	3,0	3,9
40 m		6,0	7,8	8,0	8,9	9,6	9,0	9,4	8,8	8,2	4,3	3,1	3,7
Tiefe	Datum	1962								1963			
		16. 4.	17. 5.	18. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	5. 2.	6. 3.	16. 4.
0 m		7,0	11,0	20,0	18,2	22,2	19,9	14,4	10,0	4,3	0,0	0,2	6,9
2,5 m		6,2	11,0	19,1	17,6	22,2	19,8	14,4	10,0	4,4	0,8	1,4	5,4
5 m		6,0	10,8	16,9	17,4	21,0	19,7	14,4	10,0	4,4	1,4	1,4	5,0
10 m		6,0	10,8	14,2	15,5	18,3	18,8	14,4	10,0	4,4	2,2	1,6	4,7
15 m		5,9	9,3	12,1	13,1	14,0	16,2	14,3	10,0	4,4	2,6	1,8	4,5
20 m		5,8	7,7	9,5	10,7	10,5	14,0	12,3	10,0	4,4	2,9	2,6	4,2
30 m		5,8	7,0	7,6	7,6	8,0	9,4	8,8	9,0	4,4	3,0	2,9	4,1
40 m		5,8	6,0	7,1	7,2	7,3	8,5	8,4	8,3	4,4	3,1	3,5	3,9

UNTERSEE
Rheinsee; Untersuchungsort Mammern
Temperatur in °C

Tabelle Nr. 3

	Datum										1962		
Tiefe	1961	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	24. 8.	14. 9.	24. 10.	22. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	27. 3.
0 m	10,6	12,8	16,8	17,7	19,2	19,6	14,9	9,6	8,5	3,2	2,3	3,5	
2,5 m	10,6	12,8	16,0	17,1	17,8	19,0	14,7	9,6	8,4	4,0	3,4	3,9	
5 m	9,8	12,8	15,0	16,9	17,3	19,0	14,7	9,6	8,4	4,0	3,5	3,8	
10 m	8,5	12,8	13,2	16,2	16,7	16,9	14,7	9,7	8,4	4,0	3,5	3,9	
15 m	7,4	12,4	12,5	14,4	16,1	16,2	14,5	9,7	8,4	4,0	3,6	3,9	
20 m	6,6	11,6	11,3	13,7	14,7	14,5	13,3	9,6	8,3	4,0	3,6	3,8	
30 m	6,2	7,2	8,5	9,2	9,9	9,6	10,0	9,6	8,3	4,2	3,6	3,8	
	Datum										1963		
Tiefe	1962	16. 4.	17. 5.	18. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	16. 4.		
0 m	6,3	10,0	19,2	16,5	23,0	19,9	14,6	10,2	5,1	6,7			
2,5 m	6,1	9,9	18,9	16,3	23,0	19,8	14,6	10,2	5,1	5,6			
5 m	6,1	9,9	14,3	15,9	21,5	19,8	14,6	10,2	5,1	4,7			
10 m	6,1	9,9	12,8	14,7	18,3	18,7	14,6	10,2	5,1	4,2			
15 m	5,9	7,9	12,0	13,4	14,6	15,9	14,5	10,2	5,1	4,1			
20 m	5,7	6,6	9,7	12,0	11,1	14,0	14,1	10,2	5,1	4,0			
30 m	5,6	6,2	7,5	8,0	7,8	9,0	8,5	8,5	5,1	3,7			

UNTERSEE
Zellersee
Temperatur in ° C

Tabelle Nr. 4

Tiefe	Datum 1961									Datum 1962		
	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	16. 11.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m	12,7	13,7	16,0	19,7	18,4	19,4	15,7	10,2	8,1	3,2	3,0	2,9
5 m	11,6	13,7	13,9	19,0	18,4	18,2	15,7	10,2	8,0	3,5	3,0	2,8
10 m	9,4	13,6	13,8	18,2	18,3	17,5	15,7	10,2	8,0	4,0	3,0	2,8
15 m	7,6	11,0	13,4	16,4	15,8	16,3	15,5	10,2	8,0	4,1	2,9	3,0
20 m	7,0	9,4	10,8	13,3	12,0	13,5	13,2	10,0	8,0	4,6	3,0	3,5
Tiefe	Datum 1962											
	12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.			
0 m	6,5	10,1	19,2	17,6	24,6	19,8	14,5	10,3	4,2			
5 m	6,0	10,0	13,8	17,1	21,2	19,2	14,4	10,3	4,0			
10 m	5,9	9,7	12,9	15,9	20,3	18,0	14,4	10,3	4,0			
20 m	5,9	7,0	8,4	10,5	11,8	11,4	11,5	10,3	4,0			

UNTERSEE
Gnadensee
Temperatur in ° C

Tabelle Nr. 5

Tiefe	Datum											
	1961 18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	16. 11.	14. 12.	1962 18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m	14,1	14,1	18,0	20,0	19,0	20,0	15,3	9,7	7,9	3,0	2,4	2,9
5 m	14,0	14,1	15,7	20,6	19,0	19,1	15,3	9,7	7,8	3,4	2,2	2,9
10 m	9,3	12,7	14,4	14,8	18,8	17,6	15,3	9,7	7,8	3,5	2,3	2,9
15 m	8,0	11,0	12,5	13,7	13,9	14,4	14,5	9,7	7,8	3,5	2,3	2,9
Grund	7,6	8,9	10,3	10,7	11,0	11,8	11,6	9,4	7,8	3,5	2,3	2,9
(m)	(18,5)	(19)	(19)	(18,5)	(20)	(18)	(19)	(20)	(18)	(18)	(18)	(18)
Tiefe	Datum											
	1962 12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	1963 27. 2.	13. 3.	
0 m	8,8	11,7	20,0	18,7	23,0	20,0	14,1	9,5	3,1	0,0	1,6	
5 m	6,4	11,6	13,8	18,3	20,4	19,7	14,0	9,5	3,0	1,7	2,0	
10 m	6,2	11,3	12,3	13,0	12,7	13,8	13,9	9,5	2,9	2,0	2,0	
15 m	6,0	6,6	8,1	10,4	9,7	11,2	12,1	9,4	2,9	2,5	2,4	
Grund	5,7	5,8	6,9	8,9	8,1	9,7	9,9	9,4	2,9	2,6	3,4	
(m)	(18)	(19)	(18)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(19)	(19)	

WÄRMEBILANZEN

Tabelle Nr. 6

Maximale Wärmeaufnahme bzw. -abgabe der Wassersäule unter 1 dm²

A. Bilanz der gesamten Wassersäule		8./9. 61 bis 2./3. 62 Kcal/dm ²	2./3. 62 bis 8./9. 62 Kcal/dm ²	8./9. 62 bis 2. 63 Kcal/dm ²	2. 63 bis 8./9. 63 Kcal/dm ²
UNTERSEE	Tiefe				
Mannenbach	20 m	— 3002	+ 3127	— 3462	—
Berlingen	40 m	— 4353	+ 4479	— 4680	—
Mammern	30 m	— 3597	+ 3664		—
Gnadensee	20 m	— 2873	+ 2520	— 2602	—
Greifensee	30 m	— 2279	+ 2110	— 2285	— 2030
Pfäffikersee	30 m	— 3312	+ 2508	— 2759	— 1783
B. Bilanz der Wassersäule von 0—20 m		8./9. 61 bis 2./3. 62 Kcal/dm ² ‰	2./3. 62 bis 8./9. 62 Kcal/dm ² ‰	8./9. 62 bis 2. 63 Kcal/dm ² ‰	2. 63 bis 8./9. 63 Kcal/dm ² ‰
UNTERSEE					
Mannenbach		— 3002 100	+ 3127 100	— 3462 100	—
Berlingen		— 2818 94	+ 3019 96,5	— 3215 94,5	—
Mammern		— 2767 92	+ 2874 92	— —	—
Gnadensee		— 2873 96	+ 2520 81	— 2602 76	—
Greifensee		— 1919 64	+ 1835 59	— 1985 58	— 1850
Pfäffikersee		— 2532 84	+ 2213 71	— 2419 71	— 1708

UNTERSEE

Tabelle Nr. 7

Rheinsee, Untersuchungsort Mannenbach

Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tiefe	Datum 1961					Datum 1962					Datum 1963	
	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.	
0 m	13,4	10,4	11,0	10,5	9,6	11,8	8,3	10,0	11,0	12,4	13,3	
5 m	13,3	10,5	10,0	10,3	9,0	11,3	8,4	10,0	10,5	11,7	12,1	
10 m	13,2	11,6	9,5	10,7	9,2	10,5	8,3	9,8	10,5	11,7	13,7	
15 m	12,2	10,4	10,0	7,9	8,0	7,2	8,2	9,8	10,6	11,7	11,9	
20 m	1,1	9,9	8,8	6,1	8,5	5,5	8,9	9,9	10,5	12,3	10,6	
Tiefe	Datum 1962					Datum 1963						
	12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	27. 2.		
0 m	13,3	11,0	12,1	10,3	11,6	8,8	8,4	9,5	10,6	13,1		
5 m	13,2	11,6	11,4	9,9	9,3	10,1	8,9	9,2	10,6	12,6		
10 m	12,4	11,7	10,8	10,0	7,6	9,3	8,6	9,5	10,3	10,8		
15 m	12,0	11,4	9,8	8,3	8,5	5,7	9,9	9,3	10,5	10,3		
20 m	12,4	10,1	8,8	6,5	4,5	3,1	8,3	9,3	10,5	—		

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Mannenbach
Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 8

Tiefe	Datum	1962								1963		
	1961	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m		138	106	119	105	96	138	90	92	93	102	110
5 m		136	107	105	120	104	132	91	92	89	96	100
10 m		134	116	99	124	106	121	90	90	89	96	113
15 m		114	101	103	85	92	79	89	90	90	96	99
20 m		100	92	88	61	95	59	95	91	89	101	88
Tiefe	Datum	1962								1963		
	1962	12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	27. 2.	
0 m		118	115	131	116	142	103	89	91	89	97	
5 m		117	113	121	99	116	118	94	89	88	96	
10 m		108	111	112	110	91	108	91	91	86	84	
15 m		104	110	98	87	92	62	104	90	87	82	
20 m		107	94	83	64	46	31	86	90	87	—	

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Berlingen
Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 9

Tiefe	Datum											
	1961 18. 4.	18. 5.	15. 6.	20. 7.	24. 8.	14. 9.	19. 10.	22. 11.	13. 12.	1962 17. 1.	21. 2.	27. 3.
0 m	12,5	10,6	11,8	9,9	11,8	10,5	8,3	9,3	10,4	11,3	12,3	12,8
2,5 m	12,5	10,6	11,4	10,0	10,5	10,4	8,3	8,8	10,1	11,3	12,2	12,8
5 m	12,4	10,6	11,0	9,7	9,5	10,5	8,5	9,0	10,1	11,5	12,3	12,8
10 m	11,0	10,6	10,6	9,6	9,0	9,0	8,5	8,8	10,2	11,4	12,2	12,8
15 m	10,8	10,7	9,8	9,1	8,7	5,8	8,5	9,1	10,2	11,3	12,2	12,8
20 m	10,4	10,2	9,5	8,2	8,1	4,6	8,7	9,0	10,3	11,5	12,2	12,6
30 m	11,1	10,6	6,9	4,5	2,6	1,3	3,8	9,4	10,0	11,3	11,9	12,7
40 m	9,9	8,6	6,9	3,7	1,6	0,4	0,3	9,4	10,0	11,2	11,9	12,0

Tiefe	Datum											
	1962 16. 4.	17. 5.	18. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	1963 5. 2.	6. 3.	16. 4.
0 m	13,4	11,7	11,4	10,3	10,9	10,8	8,9	8,8	10,8	10,4	14,0	13,9
2,5 m	13,4	11,9	11,6	11,1	11,0	10,9	8,9	8,9	10,6	12,4	12,8	13,9
5 m	13,4	12,0	12,1	10,8	10,5	10,8	8,8	8,8	10,7	11,4	12,7	13,6
10 m	13,1	12,0	10,4	10,4	7,7	8,7	8,9	8,9	10,7	11,2	12,9	13,2
15 m	13,5	11,5	9,4	8,8	5,8	6,2	8,8	8,8	10,6	10,8	10,5	12,9
20 m	13,2	12,0	9,2	7,3	5,3	3,1	1,3	8,9	10,7	9,8	9,7	11,5
30 m	12,8	11,1	8,8	5,8	3,4	1,9	0,5	0,6	10,8	7,9	8,0	12,1
40 m	13,2	10,3	7,5	4,9	2,3	1,8	0,3	0,2	11,0	7,5	4,0	12,2

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Berlingen
Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 10

Tiefe	Datum	1961								1962			
		18. 4.	18. 5.	15. 6.	20. 7.	24. 8.	14. 9.	19. 10.	22. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	27. 3.
0 m		126	108	134	113	134	121	90	87,5	96	94	98	106
2,5 m		125	108	124	114	119	120	90	83,5	93	94	98	106
5 m		124	108	116	110	108	121	93	85	93	94	99	106
10 m		103	108	110	108	99,5	101	93	83,5	94	95	99	106
15 m		98	109	100	99,5	95	64	93	86	94	94	99	106
20 m		92	97	94,5	87	87	48	91,5	85,5	95	96	99	104
30 m		86	97	64	43	25	12	37	88,5	92	94,5	96	105
40 m		86,5	79	63	35	15	3,5	3	88	92	94	97	99
Tiefe	Datum	1962					1963						
		16. 4.	17. 5.	18. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	5. 2.	6. 3.	16. 4.
0 m		120	115	135	118	135	127	95	85	91	77	104	124
2,5 m		118	117	135	126	136	128	95	86	89	94	99	120
5 m		117	118	134	122	127	126	93	85	91	89	99	116
10 m		114	118	110	113	89	101	95	86	90	89	100	111
15 m		118	109	95	91	61	68	93	85	89	87	82	108
20 m		115	110	88	71	52	33	13	86	90	79	78	96
30 m		112	100	90	53	32	18	5	6	91	64	65	101
40 m		115	90	68	44	21	17	3	2	93	61	33	101

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Mammern
Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 11

Tiefe	Datum											
	1961					1962						
	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	24. 8.	14. 9.	24. 10.	22. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	27. 3.
0 m	12,6	10,8	9,6	9,9	10,0	9,6	8,5	8,5	10,0	11,5	12,0	13,0
2,5 m	12,4	10,9	9,5	10,0	9,9	9,9	8,8	8,4	9,9	11,5	12,1	12,9
5 m	12,1	10,4	8,6	10,0	9,7	9,8	7,8	8,4	9,8	11,5	12,1	12,8
10 m	11,1	10,8	8,8	8,5	8,3	7,8	7,4	8,5	9,9	11,3	12,1	13,0
15 m	11,0	11,0	8,7	8,2	7,8	7,8	7,6	8,1	9,8	11,3	12,6	12,8
20 m	10,7	10,9	8,1	7,9	6,6	5,5	2,8	8,4	9,8	11,2	12,1	12,6
30 m	10,2	8,4	6,0	3,9	1,9	0,1	0,2	9,5	9,9	11,1	11,9	12,5

Tiefe	Datum									
	1962					1963				
	16. 4.	17. 5.	18. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	16. 4.
0 m	13,3	10,7	10,6	10,7	10,8	10,4	8,9	8,2	10,3	14,5
2,5 m	13,2	11,6	11,2	10,8	10,6	10,5	9,0	8,2	10,1	14,0
5 m	13,3	11,3	10,4	10,8	10,3	10,0	9,0	8,3	10,2	12,0
10 m	13,4	11,1	9,7	10,6	7,7	8,5	8,9	8,5	10,1	13,6
15 m	13,0	10,7	10,0	8,4	6,8	5,4	8,8	8,2	10,1	13,2
20 m	13,1	10,0	9,1	7,7	5,2	6,2	6,1	8,1	10,1	12,8
30 m	12,7	9,5	7,6	5,4	3,8	2,2	6,8	8,3	10,2	12,0

UNTERSEE
Rheinsee, Untersuchungsort Mammern
Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 12

Tiefe	Datum											
	1961					1962						
	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	24. 8.	14. 9.	24. 10.	22. 11.	13. 12.	17. 1.	21. 2.	27. 3.
0 m	123	111	107	112	117	113	91	81	93	93,5	96	106
2,5 m	122	111	105	112	112	115	94	80	92	95,5	99	107
5 m	116	107	92,5	111	109	114	83	80	91	95,5	99	106
10 m	103	111	91	93,5	92	87	79	81	92	94	99	107
15 m	99,5	111	88,5	87	85,5	86	81	77	91	94	103	106
20 m	95	109	80,5	82	70,5	58,5	29	80	91	93	99	104
30 m	89,5	75,5	55,5	37	18	1	2	90	92	92,5	98	103

Tiefe	Datum									
	1962					1963				
	16. 4.	17. 5.	18. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	16. 4.
0 m	117	103	124	118	147	123	95	80	88	129
2,5 m	116	111	131	119	132	124	96	80	86	121
5 m	117	108	110	118	125	118	96	81	87	102
10 m	118	117	99	112	89	98	95	82	86	114
15 m	113	98	101	87	72	59	94	80	71	110
20 m	114	88	87	78	52	66	64	78	87	106
30 m	110	84	69	77	35	21	63	3	87	99

UNTERSEE
Zellersee
Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 13

Tiefe	Datum											
	1961					1962						
	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	16. 11.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m	14,1	11,5	10,8	—	8,8	11,6	7,2	7,2	10,0	13,1	12,9	13,4
5 m	14,0	11,5	10,8	10,4	10,5	10,5	8,3	7,6	10,1	11,8	12,5	15,5
10 m	12,0	11,1	9,9	14,8	9,8	8,9	7,9	7,3	10,0	11,1	12,2	13,7
15 m	11,3	10,2	9,0	8,6	8,6	5,3	5,3	7,4	10,1	10,8	12,5	13,3
20 m	10,2	10,5	6,5	5,2	2,0	0,5	0,7	7,5	10,0	9,8	12,9	11,8

Tiefe	Datum									
	1962									
	12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	
0 m	13,6	11,4	13,0	11,0	13,1	9,7	8,4	7,3	9,8	
5 m	14,1	8,9	11,3	10,4	8,7	8,1	8,4	7,1	10,0	
10 m	14,5	11,2	10,0	9,3	8,0	7,2	9,0	7,1	9,8	
15 m	12,8	10,6	8,9	8,5	5,1	6,1	9,2	6,9	9,5	
20 m	11,9	7,7	7,3	1,6	0,0	0,0	0,0	6,4	10,5	

UNTERSEE
Zellersee
Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 14

Tiefe	Datum	1961								1962			
		18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	16. 11.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m		144	120	118	—	101	136	78	70	78	107	104	108
5 m		140	120	118	121	121	120	90	74	93	97	101	125
10 m		114	115	104	170	103	100	86	71	92	92	99	110
15 m		103	100	94	95	94	58	58	72	93	90	101	107
20 m		92	100	64	54	20	5	7	72	92	83	104	97
Tiefe	Datum	1962											
		12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.			
0 m		120	110	152	125	168	114	89	71	82			
5 m		123	94	118	117	115	95	89	69	100			
10 m		127	107	102	102	95	82	95	69	81			
15 m		111	100	88	90	55	66	98	67	79			
20 m		104	69	68	15	0	0	0	62	87			

UNTERSEE
Gnadensee
Sauerstoffgehalt in mg O₂/l

Tabelle Nr. 15

	Datum 1961						Datum 1962					
Tiefe	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	16. 11.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m	12,0	12,0	10,0	10,1	8,3	11,3	7,0	7,7	10,3	12,8	12,8	12,3
5 m	12,1	10,5	9,8	9,7	8,8	11,2	7,0	8,5	10,2	12,3	12,9	14,4
10 m	12,0	10,3	8,1	7,0	8,1	3,9	6,6	8,2	10,2	12,0	12,7	14,1
15 m	9,9	8,1	3,8	1,2	0,0	0,0	4,6	7,6	10,6	12,3	12,8	13,2
Grund	9,1	5,9	1,1	0,8	0,0	0,0	0,0	8,0	10,3	11,9	12,7	14,5
(m)	(18,5)	(19)	(19)	(18,5)	(20)	(18)	(19)	(20)	(18)	(18)	(18)	(18)
	Datum 1962					Datum 1963						
Tiefe	12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	27. 2.	13. 3.	
0 m	15,6	12,2	12,1	9,9	10,3	10,9	8,3	5,2	10,6	11,6	—	
5 m	14,0	11,0	12,2	8,7	7,2	10,0	7,8	5,4	10,7	10,7	—	
10 m	13,4	10,5	7,2	2,4	0,0	0,1	7,1	5,2	10,7	9,3	—	
15 m	13,8	7,3	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	11,0	5,3	6,3	
Grund	11,3	4,7	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	10,7	3,3	0,2	
(m)	(18)	(19,5)	(18)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(19)	(19)	

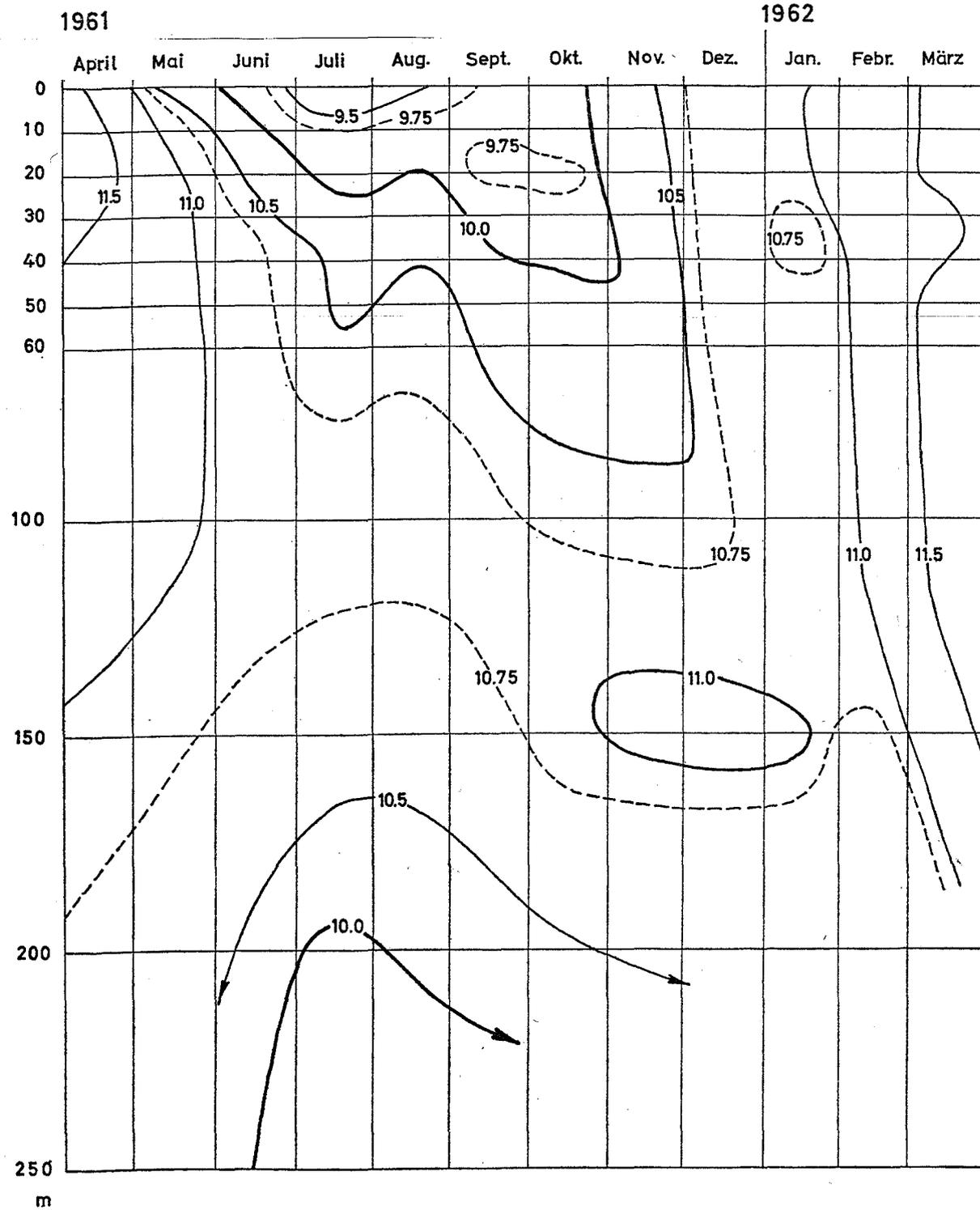
UNTERSEE
Gnadensee
Sauerstoffsättigung in ‰

Tabelle Nr. 16

Tiefe	Datum									1962			
	1961	18. 4.	18. 5.	15. 6.	13. 7.	17. 8.	14. 9.	19. 10.	16. 11.	14. 12.	18. 1.	15. 2.	15. 3.
0 m		127	127	114	121	96	134	76	74	94	103	102	99
5 m		128	111	107	97	102	130	76	81	93	101	102	116
10 m		114	105	86	75	94	44	72	73	93	98	101	113
15 m		91	80	32	12	0	0	49	73	97	101	102	106
Grund		83	55	11	8	0	0	0	76	103	98	101	117
(m)		(18,5)	(19)	(19)	(18,5)	(20)	(18)	(19)	(20)	(18)	(18)	(18)	(18)
Tiefe	Datum									1963			
	1962	12. 4.	17. 5.	14. 6.	18. 7.	15. 8.	12. 9.	17. 10.	14. 11.	12. 12.	27. 2.	13. 3.	
0 m		146	122	143	114	129	127	88	49	86	86	76	
5 m		124	110	128	100	86	117	82	51	86	83	81	
10 m		118	105	73	25	0	1	75	49	86	73	69	
15 m		121	65	21	0	0	0	0	70	89	42	50	
Grund		98	41	46	0	0	0	0	37	86	27	16	
(m)		(18)	(19)	(18)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(20)	(19)	(19)	

Bodensee - Obersee
westlich der Linie Friedrichshafen - Romanshorn

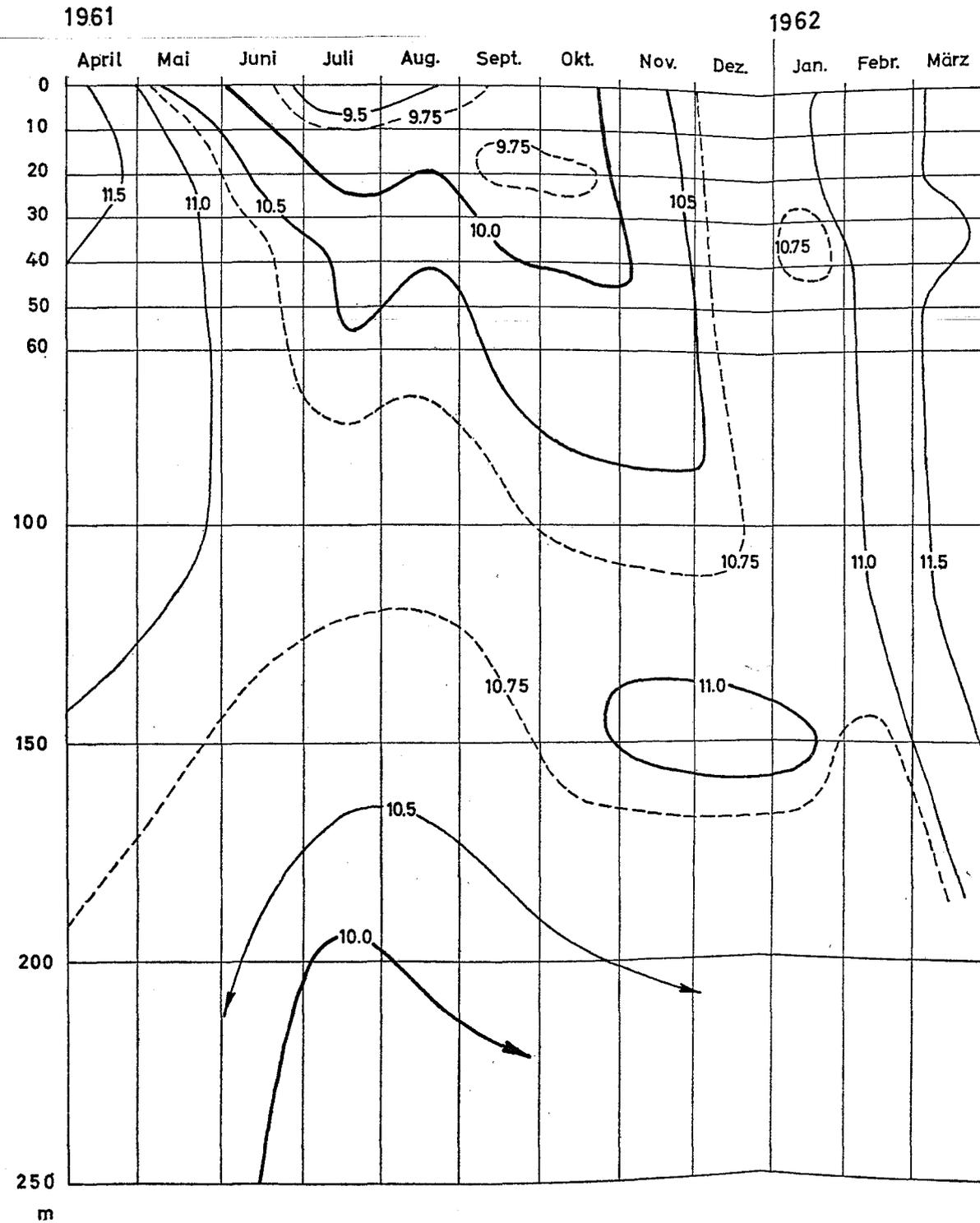
Durchschnittliche Sauerstoffgehalte
mg/l O₂



1920 - 25 nach Messungen
von Auerbach, Maerker
und Schmalz

Bodensee - Obersee
westlich der Linie Friedrichshafen - Romanshorn

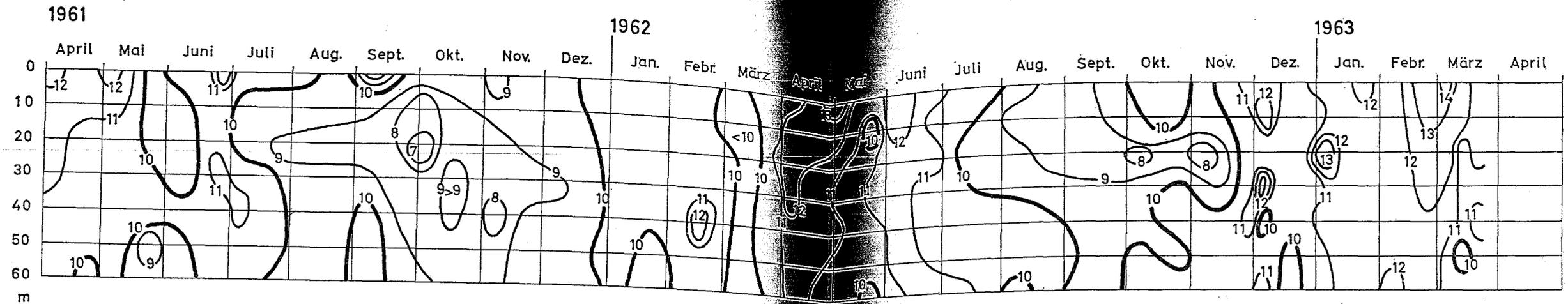
Durchschnittliche Sauerstoffgehalte
mg/l O₂



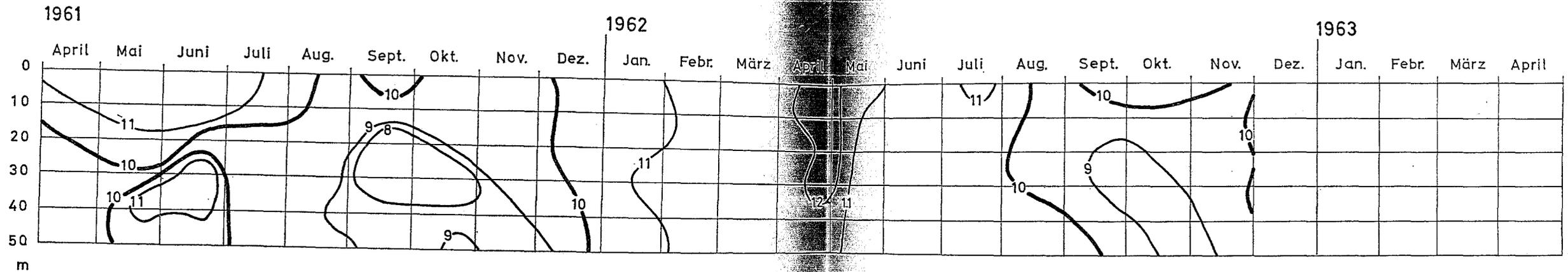
1920 - 25 nach Messungen
von Auerbach, Maerker
und Schmalz

Bodensee-Obersee
Wasserwerk Konstanz (Station 01)

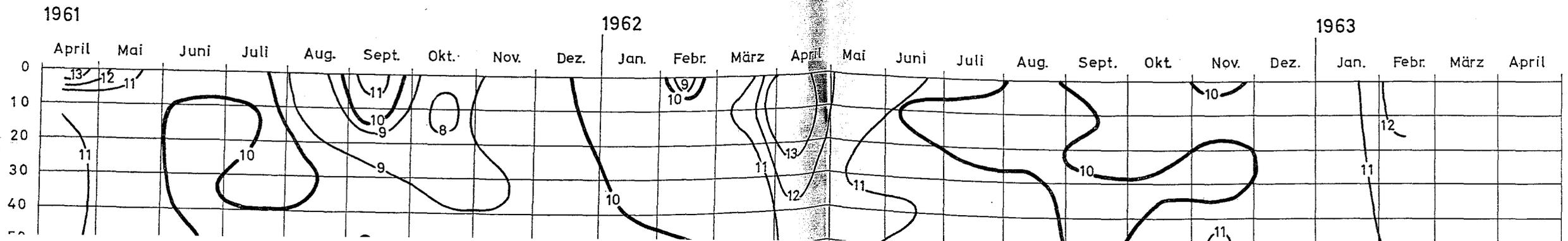
Sauerstoffgehalt mg/l O₂

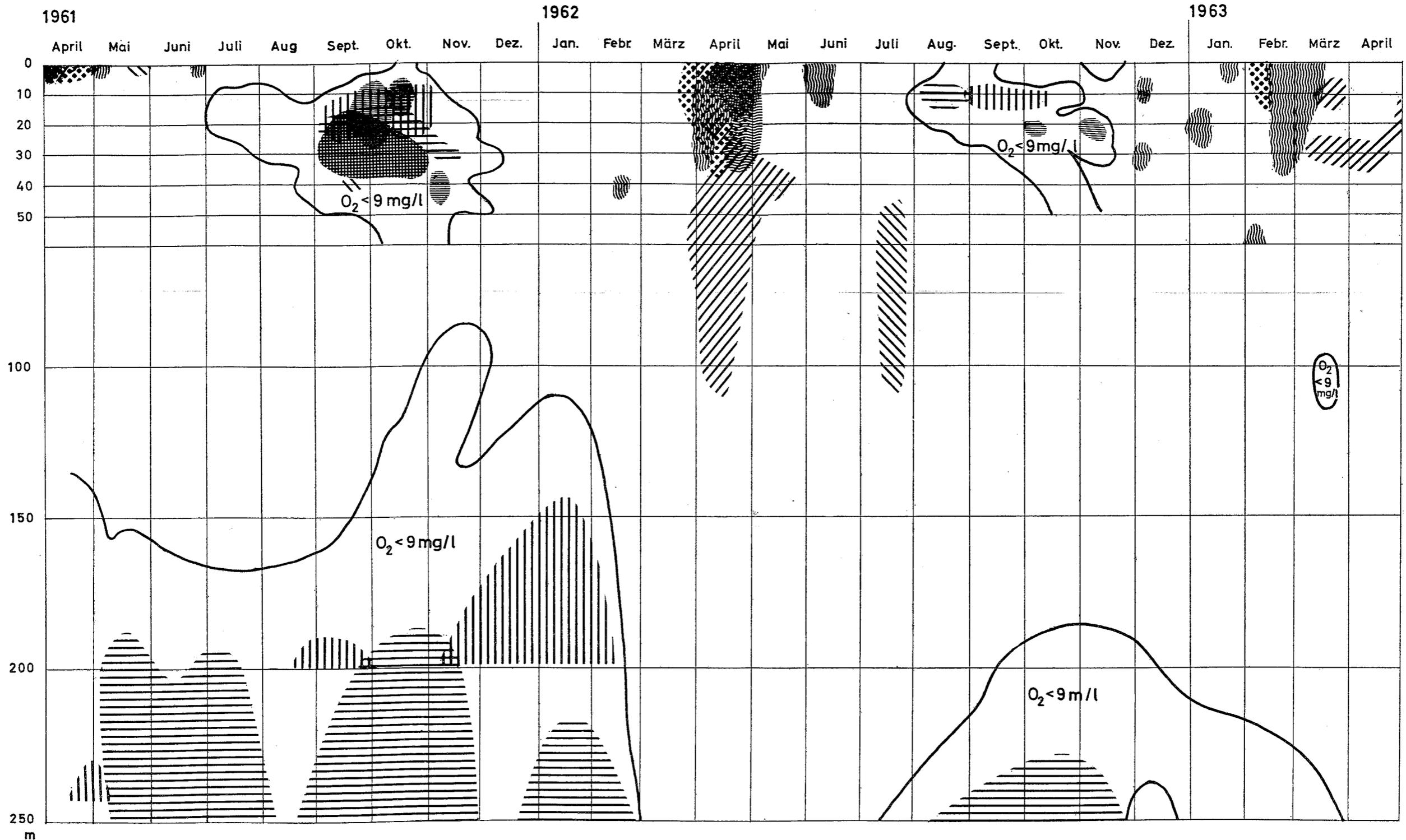


Bodensee-Obersee
Lindau-Rohrspitz (Station 05)



Bodensee-Obersee (Überlinger See)
Süssenmühle (Station 02)



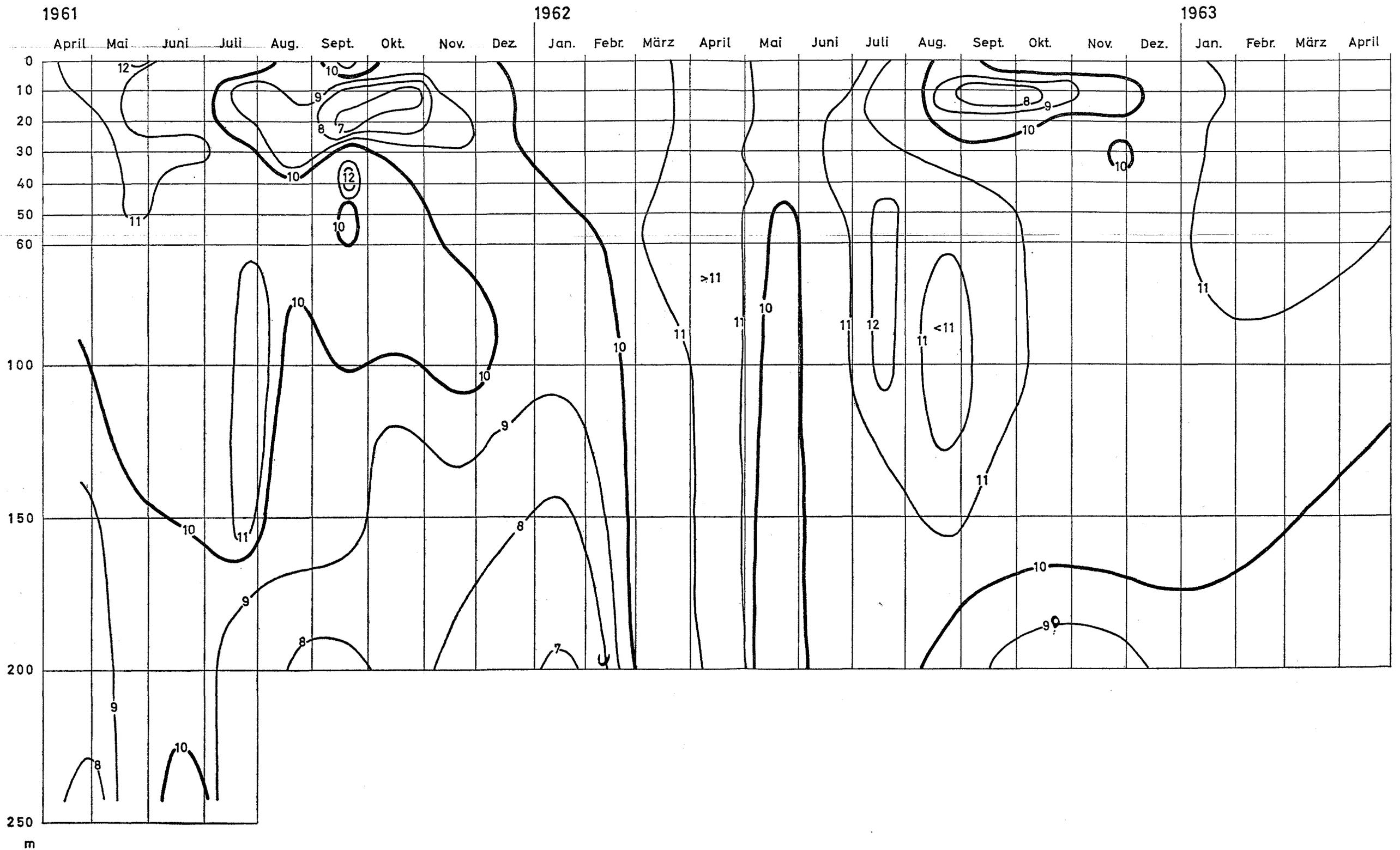


Station:	Fischbach-Uttwil	Langenargen-Arbon	Ww.Konstanz	Lindau-Rohrspitz	Süssenmühle
Sauerstoff <8 mg/l	[Horizontal lines]	[Vertical lines]	[Diagonal lines]	[Cross-hatch]	[Dotted]
Sauerstoff >12 mg/l	[Diagonal lines]	[Diagonal lines]	[Wavy lines]	[Wavy lines]	[Dotted]

O₂ < 9 mg/l : Sauerstoffgehalt an mindestens einer Untersuchungsstation kleiner

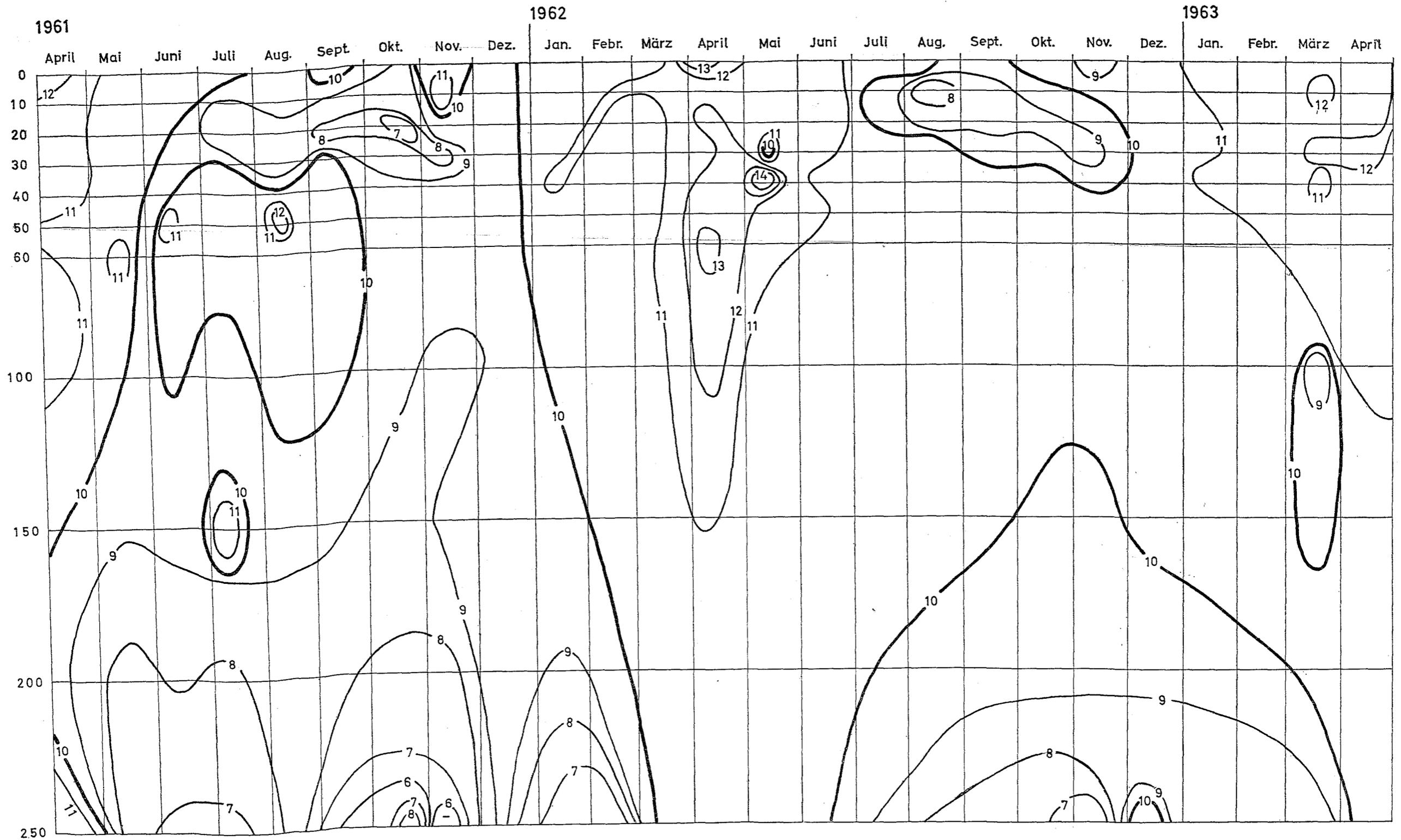
Bodensee - Obersee
Langenargen - Arbon (Station 06)

Sauerstoffgehalt mg/l O₂



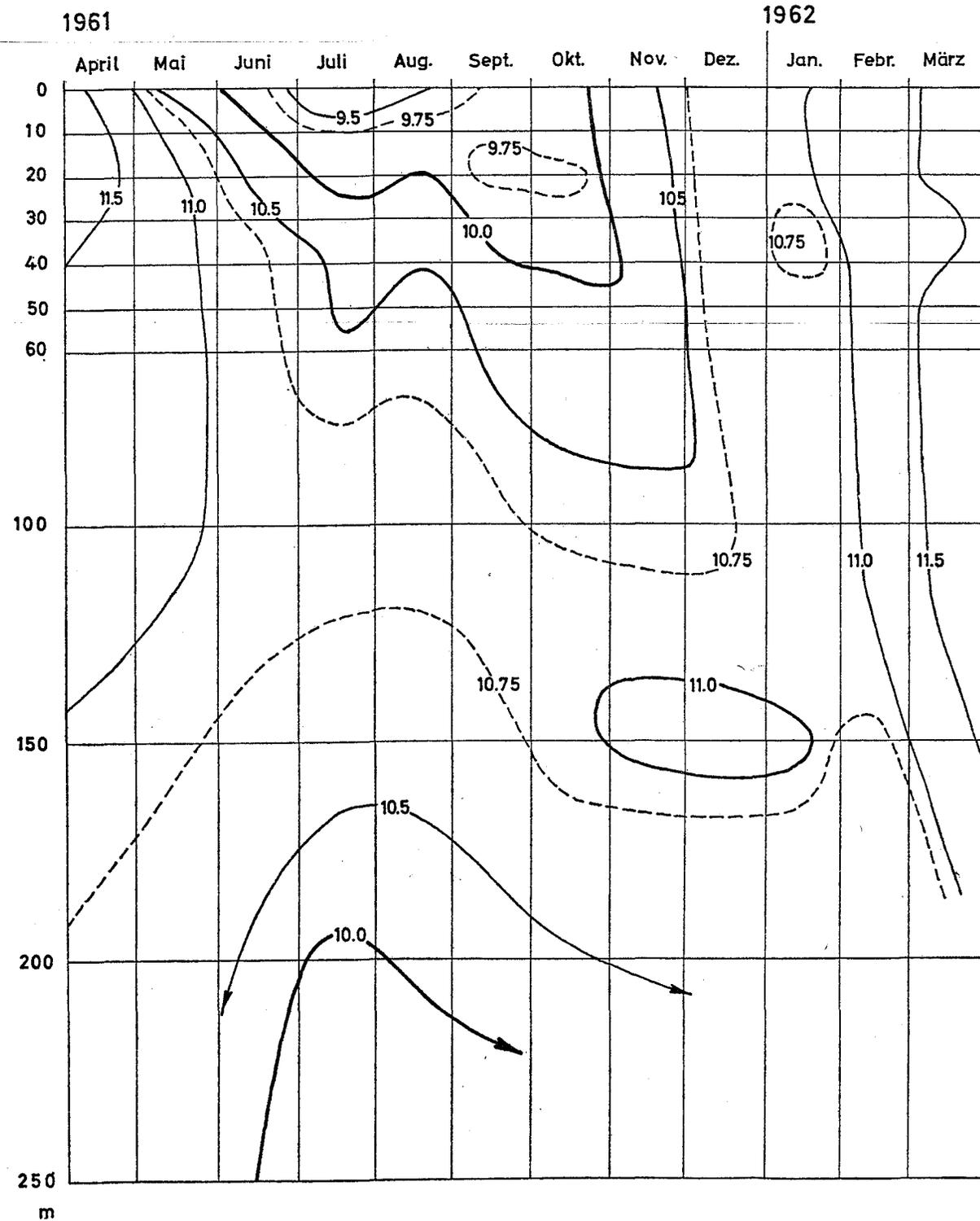
Bodensee - Obersee
Fischbach-Uttwil (Station 03)

Sauerstoffgehalt mg/l O₂



Bodensee - Obersee
westlich der Linie Friedrichshafen - Romanshorn

Durchschnittliche Sauerstoffgehalte
mg/l O₂



1920 - 25 nach Messungen
von Auerbach, Maerker
und Schmalz