

**Zustand  
und neuere Entwicklung  
des Bodensees**

**Bericht Nr. 1**



## I. Einleitung

Mannigfache Anzeichen für eine ungünstige chemisch-biologische Entwicklung des Bodensees und die Befürchtung, der See könnte wie andere Seen des Alpenrandes unter der Einwirkung der ihm vermehrt zugeführten Schmutzstoffe den Charakter eines nährstoffarmen Voralpen-sees mit seinen vielerlei Nutzungsmöglichkeiten verlieren, haben die Anliegerstaaten dazu bewogen, sich in gemeinsamen und koordinierten Anstrengungen für seine Reinhaltung einzusetzen. Die hierfür im Jahre 1959 gebildete Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee hat im Rahmen ihres weitreichenden Aufgabenkreises eingehende Untersuchungen über den Zustand und die Entwicklung des Sees und die Ursachen der Verschmutzung veranlaßt. Zur Feststellung der Belastung des Sees und zur Überwachung seines Gütezustandes wurde ein umfangreiches Untersuchungsprogramm in Angriff genommen; dessen Ergebnisse werden auch über die jüngste Entwicklung des Sees Auskunft geben können. Den Ausgangspunkt für diese Untersuchungen bildet das zusammengefaßte Material über alle bisherigen Bodenseeuntersuchungen, das von den zuständigen Stellen der Anliegerstaaten zusammengetragen wurde. Dieses umfangreiche Material geht zum überwiegenden Teil auf die jahrzehntelangen Arbeiten der am Bodensee tätigen Forschungsanstalten zurück und umfaßt eine Reihe zum Teil grundlegender limnologischer Arbeiten. Es bildet die Grundlage dieses Berichts.

## II. Ältere Literatur und deren wesentliche Feststellungen

Die erste allgemeine Einstufung der Bodenseegegend in die biologischen Verhältnisse des gesamten Rheinlaufes lieferte *Robert Lauterborn* in seiner „Biologischen Gliederung des Rheinstromes“ (1916), einem grundlegenden Werk, in dem die biologische Situation des Bodensees sowie des Seerheins unter Berücksichtigung der wichtigsten Zuflüsse und des Seeabflusses dargestellt ist. In dieser Darstellung sind die wichtigsten Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeiten aus der Frühzeit der Erforschung des Bodensees zusammengetragen. Auf Grund der Arbeiten von *Auerbach* (*Auerbach, Maerker und Schmalz, 1926*), sodann auch von *Hoppe-Seyler* (1895) und von *Schmalz* (in *Auerbach, Maerker und Schmalz, 1926*), ferner von *Elster und Einsele* (1937) darf man annehmen, daß noch in den Dreißigerjahren der Bodensee ein gesundes, oligotrophes Gewässer war. Seither ergeben nun aber die chemischen, biologischen und fischereiwissenschaftlichen Untersuchungen dauernd neue Aspekte; Veränderungen in der Konzentration der chemischen Komponenten und vor allem wesentliche Verschiebungen in der Bestandsdichte der einzelnen höheren und niederen Organismen sowie auch qualitative Veränderungen im Organismenbestand lassen erkennen, daß der Bodensee aus seinem früheren, stabilen Zustand herausgetreten ist. Diese Feststellung besitzt grundlegende Bedeutung.

### III. Bodensee: Geographie, Besiedlung, Industrie

Über die Form des Bodensees und seine wichtigsten geographischen und hydrographischen Daten orientiert die im Anhang beigefügte Karte (Abbildung 1). Die geologischen Verhältnisse des engeren Seegebietes und die Entstehung des Sees sind bei *Kiefer (1955)* erläutert; ferner findet sich dort eine Beschreibung der Topographie der Seebecken und der klimatisch-meteorologischen Verhältnisse, so daß man sich hier mit einem Hinweis auf dieses bekannte Buch begnügen darf.

Zur Beurteilung der Belastung des Sees mit Nähr- und Schmutzstoffen ist es unerlässlich, die Besiedelung seines Einzugsgebietes mit einem starken sommerlichen Fremdenverkehr zu kennen und über die Industriebetriebe Bescheid zu wissen, besonders was die Menge und Beschaffenheit ihrer Abwässer anbelangt. Erhebungen dieser Art werden gegenwärtig durch die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee von allen beteiligten Ländern vorgenommen. Sie werden einen Teil der Grundlagen für die Ermittlung der gesamten Nähr- und Schmutzstofflast des Bodensees bilden.

### IV. Physik, Chemie und Biologie des Bodensees

#### A. Physikalische Verhältnisse

##### 1. Thermik

Die thermischen Verhältnisse eines Sees, die weitgehend von seiner topographischen Gestaltung und vom Klima seines engeren Einzugsgebietes bestimmt werden, beeinflussen in weitem Maße den Ablauf der chemisch-biologischen Umsetzungen, die sich in seiner Wassermasse dauernd vollziehen.

Wie umfangreiche und bis in die ersten Anfänge der Seeforschung zurückreichende Untersuchungen ergeben, haben sich die thermischen Verhältnisse des Bodensees im Verlaufe des letzten halben Jahrhunderts nicht verändert; schon die ersten Messungen von *Forel (1893)*, dann aber auch alle späteren Untersuchungen (*Kleinschmidt 1921; Auerbach, Maerker und Schmalz 1924 und 1926; Elster und Einsele 1937 und 1938; Kiefer und Mucke 1959 u. a. m.*) liefern, sofern man von den lokalklimatisch bedingten Schwankungen absieht, immer wieder dasselbe Bild (Tabelle 1). Als rein physikalische Erscheinung untersteht die Thermik ausschließlich den klimatisch-meteorologischen Gegebenheiten des Seegebietes und wird durch Änderungen des Chemismus kaum berührt. Daraus erklärt sich denn auch die Gleichförmigkeit, mit der sich dieses Geschehen von Anfang der Beobachtungen an jedes Jahr wieder abwickelt: Am Ende des Winters herrschen in der Regel ausgeglichene Temperaturen vor, das Wasser hat über die ganze Seetiefe hinweg eine Temperatur, welche ungefähr mit jener des Dichtemaximums, nämlich  $4^{\circ}\text{C}$ , zusammenfällt. Mit zunehmender Einstrahlung im Frühjahr erwärmt sich das Oberflächenwasser, welches durch den Wind mit den tieferliegenden Schichten vermischt wird. Nur ganz allmählich dringt das erwärmte Mischwasser in die Tiefe vor, und bei rund 40 m sind die Jahresschwankungen im Bodensee-Obersee nur noch unbedeutend. Bei 50 m schwankt hier die Wassertemperatur nach dem mehrjährigen Mittel zwischen 3,8

und  $5,2^{\circ}\text{C}$ ; in größeren Tiefen sind diese Schwankungen noch geringer und bewegen sich in wenigen Zehnteln um  $4^{\circ}\text{C}$ . Mit der Abkühlung im Herbst, d. h. wenn der See beginnt, Wärme auszustrahlen, setzt von der Oberfläche her eine allmählich tiefer greifende Durchmischung des Wassers ein; es entsteht eine völlig homotherme, in sich gleich warme Schicht, welche sich bei fortschreitender Abkühlung schnell in die Tiefe ausbreitet, bis im Winter der ganze See homotherm ist. Dieser Vorgang, „Zirkulation“ genannt, ist für den See die einzige Gelegenheit, das Wasser seiner Tiefenzone zu erneuern. Außerhalb der Zirkulationszeit ist das Tiefenwasser durch die stabile thermische Schichtung von den oberen Schichten abgeschlossen. Im Bodensee-Obersee tritt einmal jährlich in den Monaten Januar bis März eine längere, durchgreifende Vollzirkulation ein. Der wesentlich weniger tiefe Untersee weist zwei kürzere Phasen der Vollzirkulation auf, die erste im November/Dezember und die zweite im Frühjahr. Somit hat in der Tiefe des Sees beispielsweise der Vorrat an Sauerstoff, der infolge der Zirkulation aufgefüllt worden ist, fast ein ganzes Jahr auszureichen; wird er durch biochemische Vorgänge vorher aufgebraucht, so besteht keine Aussicht, daß er vor der nächsten Zirkulationsphase ergänzt werden kann. Diese Feststellung ist für den gesamten Stoffumsatz im See außerordentlich bedeutsam; sie gilt allgemein für Seen und beschränkt sich nicht auf den Bodensee, wenn auch zu berücksichtigen ist, daß jeder See auch in thermischer Hinsicht seine Besonderheiten besitzt.

Der freie Obersee wird das ganze Jahr über dank seinem großen Volumen im allgemeinen nicht kälter als  $4^{\circ}\text{C}$ ; nur in besonders langanhaltenden, kalten Wintern kühlt das Oberflächenwasser stärker aus; dies führt dann vorübergehend zu einer inversen Schichtung. Wegen der geringen Temperaturdifferenzen ist diese jedoch wenig stabil und zerfällt leicht wieder, während sie im Untersee und in den flachen Ufergebieten des Obersees stärker ausgeprägt in Erscheinung tritt: Hier ist die Wärmespeicherung geringer, die winterliche Auskühlung größer, so daß diese Seeteile zeitweise zufrieren. Die winterliche Abkühlung wirkt sich in den beiden Seen ganz verschieden aus: Im Obersee bringt sie bei zirkulierendem Wasser eine weitgehende Sauerstoffregeneration bis zum Grund, im Untersee, wenn es zu Eisbedeckung kommt, einen Abschluß von der Atmosphäre und dabei mehr oder weniger Sauerstoffschwund.

Bei zunehmender Wärmeeinstrahlung, im allgemeinen von April ab, können die oberen, spezifisch leichter werdenden Schichten nicht mehr in die Tiefe gedrückt werden. Nur in der Übergangszeit vom Winter zum Frühjahr (ganz gelegentlich auch noch später) wird die Schichtung bei Stürmen ab und zu unterbrochen. Da während der Stagnation eine nennenswerte Wärmeabgabe in größere Tiefen nicht mehr stattfinden kann, wird von der weiteren sommerlichen Erwärmung, etwa bis Ende Juli, nur noch das Oberflächenwasser betroffen, und die zunächst schwache Temperaturschichtung wird immer stabiler. Eine relativ dünne, warme Deckschicht von höchstens 20–30 m Mächtigkeit überlagert nun im Obersee die mehrmals größere Masse des kalten Tiefenwassers. Diese sehr stabile Stagnation hält solange an, bis die Einstrahlung geringer wird und die mittlere Lufttemperatur fällt. Sobald sich die Deckschicht auszukühlen beginnt, kommt es zur Ausbildung der typischen Dreischichtung mit Epi-, Meta- und Hypolimnion, wobei das Metalimnion, die sogenannte Sprungschicht, im Laufe des Herbstes infolge der tiefer greifenden Zirkulation langsam absinkt, bis es schließlich im Dezember völlig verschwindet.

## 2. Wasserströmungen

Unter den physikalischen Erscheinungen, welche sich auf das biologisch-chemische Geschehen im See auswirken können, finden sich neben der Thermik Wasserbewegungen verschiedenster Art, von denen einige im Bodensee seit Jahrzehnten besonders aufmerksam verfolgt werden.

Im wesentlichen sind zu unterscheiden: Walzen, Wirbel, Seiches (Seespiegelschwankungen und interne Wellen) und die eigentlichen Strömungen.

Bei der Betrachtung der thermischen Verhältnisse eines Sees geht man normalerweise von der Annahme aus, daß sich die Wasserschichten gleicher Temperatur über den ganzen See hinweg horizontal einstellen. Das ist aber nur bei ruhigem Wetter und stabiler Schichtung der Fall; länger andauernde Winde und Luftdruckdifferenzen können das Schichtungsbild empfindlich verändern. Durch Windstau wird das Wasser der warmen Deckschicht von einem Ufer zum andern abgedrängt; hier wird es gestaut und langsam in die Tiefe gedrückt, so daß etwa im Bereich der Sprungschicht eine entgegengesetzte langsame Wasserströmung in Form einer Walze entsteht. Diese kann eine weitere, hypolimnische Walze in Bewegung setzen. Untersuchungen von *Elster 1939* im freien Obersee haben in diesem Zusammenhang ergeben, daß die Isothermen bei stürmischem Wetter um mehr als 40 m in der Vertikalen verschoben werden können. Weitere Untersuchungen über diese Erscheinung finden sich bei *Nümann (1938)* und in den limnologischen Monatsberichten der Anstalt für Bodenseeforschung 1957/60.

Außer den Seespiegelschwankungen, die bereits 1893 von *F. A. Forel* für den Bodensee aufgezeichnet wurden, sind in neuerer Zeit auch die internen Seiches gelegentlich genauer studiert worden (*Elster und Einsele 1937, Elster 1939, Lehn 1956*). Interne Wellen sind stehende Wellen, die an der Oberfläche nicht sichtbar werden; ihre Schwingungen vollziehen sich sehr langsam. Dementsprechend treten nur wenige Wellenbäuche und Knoten auf. Im Bodensee können die Ausschläge 20–40 m betragen und gelangen damit bis in den Entnahmbereich der Seewasserversorgungen. Bei Untersuchungen in der Versuchsfilterstation des Zweckverbandes Bodenseewasserversorgung in Sipplingen (*Lehn 1956*) trat – zurückzuführen auf windinduzierte interne Seiches – periodisch Wasser mit Organismen des Epilimnions in den Entnahmestellen im Hypolimnion auf.

Diese vertikalen Bewegungen werden überlagert durch horizontale Kreisströmungen, Wirbel, welche sich ziemlich regelmäßig in der Bregenzer Bucht und im Viereck Kressbrunn – Schussenmündung – Romanshorn – Rorschach zeigen, wie eingehende Untersuchungen von *Auerbach und Ritzi (1937), Nümann (1938) und Elster (1939)* ergeben haben. Über ihre Ursachen ist man sich noch nicht völlig im klaren. Jedenfalls ist es sicher, daß diese Wirbel wesentlich zur Verbreitung des Rheinwassers im See beitragen.

Da in der heutigen Situation praktisch alle Zuflüsse dem See Nähr- und Schmutzstoffe zuführen, ist diese Verbreitung und damit die horizontale Verteilung der Zufuhren in der Wassermasse sowie die Einschichtung in der Vertikalen von ganz besonderem Interesse. Hier besitzen wir namentlich durch die Arbeiten von *Auerbach und Schmalz (1927), Auerbach und Ritzi (1937)* und von *Nümann (1938)* gute Kenntnisse über den Verlauf des Rheins. Er schichtet sich im See in jener Tiefe ein, in der er die gleiche Dichte vorfindet, was meistens gleiche Temperatur bedeutet. Allerdings kann die Dichte auch durch mitgeführte gelöste oder sogar fein suspendierte Stoffe beeinflusst werden. Der Rhein hat im Sommer bei Hochwasser und Verdünnung mit Schmelzwasser eine geringere, im Winter bei Niedrigwasser eine höhere Salzkonzentration. Aus diesem Grunde fließt er im Winter am Seeboden, unabhängig davon, ob seine Temperatur mit jener des Seewassers übereinstimmt oder nicht. Im Frühjahr erwärmt er sich rascher als der See und fließt eine Zeitlang in der Oberflächenschicht. Bei größerer Verdünnung mit kaltem Schmelzwasser schichtet sich das Rheinwasser seiner Temperatur entsprechend ein. Der Hauptstrom fließt dem deutschen Ufer entlang, erzeugt möglicherweise den erwähnten Wirbel und strömt mehr oder weniger geradewegs zum Ausfluß bei Konstanz. Im August liegt der Kernstrom in 20 m Tiefe. Später erfolgen dann mit dem zirkulationsbedingten Zerfall der Schichtung horizontale und vertikale Durchmischungen. Aus der Wasserführung des Rheins beim Ein- und Ausfluß sowie aus dem Verhältnis von Rhein- und Seewasser bis zu

20 m Tiefe läßt sich berechnen, daß bis Ende der Hochwasserführung in jedem Jahr bereits 40 % des Rheinwassers bei Konstanz den See wieder verlassen haben, und nur 60 % bleiben zunächst in den oberen 20 m zurück, in jener Schicht also, in der sich der Hauptteil des limnischen Lebens abspielt (*Schmalz 1932*). Dadurch verlängert sich die theoretische Erneuerungszeit des Bodenseewassers beträchtlich, eine Tatsache, die namentlich bei der Aufstellung von Nährstoffbilanzen und bei produktionsbiologischen Überlegungen zu beachten ist.

Über das Verhalten der übrigen Zuflüsse im See sind wir bisher wenig orientiert; es dürfte grundsätzlich ähnlich sein. Bei Argen und Schussen zeigen sich allerdings nach unveröffentlichten Untersuchungen von *Deufel* gewisse Verschiedenheiten: Das Wasser der träge fließenden Schussen erwärmt sich viel rascher und bleibt daher fast immer an der Oberfläche des Sees, während das kühlere Argenwasser, das unter starkem Gefälle in den See strömt, ähnlich wie der Rhein an dem steilen Seeufer tiefer absinkt.

Der Ausfluß des Obersees (Seerhein) zieht bei Konstanz das Wasser aus der 5- bis 10-m-Schicht ab (*Nümann 1938, Auerbach 1952a*). *Auerbach und Ritzi (1937)* lassen als Faustregel gelten, daß von Mai bis Oktober ungefähr soviel Wasser aus dem Bodensee fließt, wie das 20 m dicke Epilimnion ausmacht. *Elster und Einsele (1937)* geben für manche Jahre noch größere Mengen an. Das bedeutet freilich nicht, daß das Epilimnion nun auch restlos abgetragen wird. Der größere Teil dürfte aus der Rheinströmung stammen, während die übrigen, mehr stagnierenden Bereiche weniger beansprucht werden.

Weit mehr als im Obersee sind die Wasserbewegungen im Untersee durch die unterseeische Topographie vorgezeichnet; die Hauptmasse des Rheinwassers bzw. des Seerheins strömt am Südufer der Insel Reichenau entlang, um in einem großen Bogen in südwestlicher Richtung in den unteren Untersee, den sogenannten Rheinsee, einzulaufen (*Auerbach, 1931; Auerbach und Rottengatter, 1960*). Die übrigen Seebecken, der Zellersee, der Markelfinger Winkel und der Gnadensee, werden dadurch nicht wesentlich berührt, wenn auch zeitweise Nebenströmungen, welche sich längs der Reichenau vom Haupt-Rheinstrom abspalten, namentlich im Zellersee einen schwachen Wirbel induzieren können. Trotz der sehr intensiven Rheinströmung, welche nach *Auerbach* bei Ermatingen um 1000 m/Std., südlich der Reichenau und im eigentlichen Rheinsee bis Stein am Rhein gegen 500 m/Std. betragen kann, bleibt aber der Untersee von den Folgen seines eutrophen Zustandes nicht etwa verschont; der Wasseraustausch findet nur in der Schicht von der Oberfläche bis in etwa 10 m Tiefe statt, gemäß der Temperatur des Rheinwassers, welches über die kälteren Tiefenschichten hinweg gleitet. Nach den Untersuchungen von *Auerbach und Rottengatter (1960)* findet auch zwischen den einzelnen Seebecken kein nennenswerter Wasseraustausch statt.

## B. Die chemisch-biologischen Verhältnisse

### 1. Allgemeines: Die Eutrophierung der Seen

Veränderungen im chemisch-biologischen Haushalt eines Sees äußern sich zuerst in seinem Plankton. So fein vermögen einzelne Plankter auf geringe Verschiebungen in der Konzentration und Zusammensetzung der Nährstoffe zu reagieren, daß es, während sich die biologischen Veränderungen schon deutlich abzeichnen, zunächst noch kaum möglich ist, diese Veränderungen mit analytisch-chemischen Methoden zu erfassen. Obwohl man nun auch am Bodensee durch eine sich langsam vollziehende Umstellung in der Zusammensetzung des Planktons auf Veränderungen im Chemismus aufmerksam geworden ist, bleibt die Tatsache doch unverändert, daß die Ursache einer Wandlung des biologischen Geschehens ein veränderter chemischer Haushalt ist.

Es mag an dieser Stelle von Nutzen sein, sich den Vorgang der Eutrophierung eines Sees kurz zu vergegenwärtigen: Zur Zeit der klassischen Untersuchungen von *Auerbach, Maerker und Schmalz* war der Bodensee ein sauberer, nährstoffarmer, oligotropher Voralpensee. Gespeist durch saubere Zuflüsse und verhältnismäßig stark durchströmt vom Rhein, war sein Wasser ausgesprochen arm an Plankton und beherbergte vorwiegend Edelfische, anspruchsvolle, nur unter den Verhältnissen des sauerstoffreichen, in keiner Weise extrem gearteten Lebensraumes gedeihende Tiere. Solche Seen sind arm an Pflanzennährstoffen. Fehlt nur einer der Nährstoffe, so ist der weiteren Entwicklung der pflanzlichen Organismen, vorab der Algen, eine Grenze gesetzt; das Phytoplankton kann sich – grob gesehen – nur solange entfalten, bis einer der Grundnährstoffe (Stickstoff und Phosphor) aufgebraucht ist. Diese Tatsache, bekannt als „Gesetz des Minimums“, gilt hier so gut wie bei den Landpflanzen. Umgekehrt gelten diese Erkenntnisse, die man im Pflanzenbau zur Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion praktisch anwendet, auch für den See; mit dem Unterschied freilich, daß der Effekt dort beabsichtigt und notwendig ist, während er hier, von den gleichen Ursachen ausgehend, zur Last wird. Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei den meisten Fließgewässern rührt die dem See aus den Abwässern drohende Gefahr von den Düngestoffen her, die im bewegten Wasser kaum in Erscheinung treten, im See aber das pflanzliche Plankton sich stärker entfalten lassen und damit auch die Produktion an tierischem Plankton weiter steigern.

Im oligotrophen See führt die eigene Planktonproduktion zu keinen besonderen Schwierigkeiten. Die abgestorbenen Algenzellen und Kleintiere sinken auf den Seegrund ab und verbrauchen bei ihrer Zersetzung wohl etwas Sauerstoff – entsprechend ihrer geringen Menge –, ohne daß dieser jedoch vollständig aufgebraucht wird. Erhält der See nun aber mehr Nährstoffe, so wächst auch seine Produktion an Plankton. Während in der Düngewirtschaft, um bei diesem Beispiel zu bleiben, geerntet wird, was gewachsen ist, muß der See mit seiner Produktion selber fertig werden. Der Einwand, daß mit dem Fischfang eine wesentliche Menge an organischem Material oder auch an Nährstoffen entzogen werde, ist kaum stichhaltig, machen diese Mengen doch nur einen geringen Teil des Ganzen aus (*Elster und Einsele, 1937; Kliffmüller 1960a*). So kommt es schließlich, wenn der Sauerstoff in der Seetiefe zur Mineralisation des abgestorbenen, dauernd neu anfallenden Planktons aufgebraucht ist, zu den Erscheinungen der Anaerobiose: Fäulnis, Bildung von Kohlensäure, Ammoniak, Methan und Schwefelwasserstoff. Daneben wird Phosphor, welcher chemisch und physikalisch gebunden im Sediment ausgefällt wurde und damit dem Kreislauf entzogen war, wieder frei gesetzt und gelangt mit der nächsten Zirkulation des Seewassers in den Stoffkreislauf zurück.

Der See wird somit nicht nur durch die organischen Stoffe belastet, die ihm direkt zugeführt werden, sondern vor allem durch seine eigene Produktion an organischer Substanz. Die Ursache dafür, der Initialfaktor der Eutrophierung, ist die Überdüngung, an der freilich die Abwässer maßgeblich beteiligt sind. Während sich die Überdüngung im Untersee schon seit Jahrzehnten bemerkbar machte und ihn zu einem ausgesprochen eutrophen See stempelte (*Elster 1960*), schreitet sie in der großen Wassermasse des Obersees langsamer voran, läßt aber trotzdem, wie aus der folgenden Übersicht über den heutigen Zustand des Sees hervorgeht, keine Zweifel über seine gegenwärtige chemisch-biologische Entwicklung offen.

## 2. Chemische Verhältnisse

### a) Sauerstoff

Seit den ersten Untersuchungen im Jahre 1891 (*Hoppe-Seyley 1896*) haben sich im Sauerstoffhaushalt des Bodensee-Obersees nach den Untersuchungen von *Schmalz (Auerbach, Maerker*

und Schmalz 1926) oder gar bis 1935 (Elster und Einsele 1937) keine wesentlichen Veränderungen eingestellt. Man darf deshalb annehmen, daß mit diesen Arbeiten noch der ursprüngliche, rein oligotrophe Zustand des Sees erfaßt worden ist. Bis Ende der dreißiger Jahre war der See im Frühjahr nach der Vollzirkulation in allen Schichten mit Sauerstoff weitgehend gesättigt. In den oberen Wasserzonen trat während der wärmeren Jahreszeit leichte Übersättigung ein, überwiegend durch Temperaturanstieg bedingt, zum Teil aber auch als Folge der Assimilationstätigkeit des Planktons. Im Laufe des Sommers zeigte sich aber auch damals schon eine erkennbare Sauerstoffzehrung über Grund, bedingt durch natürliche Abbauvorgänge. Nach seinem Sauerstoffhaushalt beurteilt war der Obersee damit einwandfrei oligotroph (Tabelle 3). Anders steht es mit dem Sauerstoffgehalt im Untersee. Nach Elster und Einsele (1938) wurde schon früher im Gnadensee und im Markelfinger Winkel völliger Sauerstoffschwund in der Tiefe festgestellt und Untersuchungen von Jaag und Maerki (unveröffentlicht) aus den Jahren 1943 und 1944 ergaben auch im Becken von Berlingen-Steckborn am Ende der Sommerstagnation Sauerstoffschwund über Grund.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Feststellung, daß in den Herbst- und Wintermonaten (Oktober bis Dezember) oberhalb Stein am Rhein ein untersättigtes Wasser (bis 85 % Sättigung) in den Strom übertritt, während von Januar bis September Übersättigungen bis zu 130 % vorkommen. Die Untersättigung ist dadurch zu erklären, daß zeitweise sauerstoffarmes Tiefenwasser oder Mischwasser in den Hoahrhein gelangt.

#### b) Phosphor

Bei Phosphatuntersuchungen aus den Jahren 1934/36 (Elster und Einsele 1937) konnte mit ganz wenigen Ausnahmen zu keiner Zeit und an keiner Stelle des Bodensees Phosphat nachgewiesen werden. Lag bis 1936 das freie Phosphat im Obersee unterhalb der Nachweisbarkeitsgrenze, so traten ab 1950/51 nachweisbare Mengen von einzelnen  $\gamma$  P/L bis zu den 1959 festgestellten 9  $\gamma$  P/L auf (Grim 1955; Fast 1955; Kliffmueller 1960 b).

Dieser in Abbildung 2 graphisch dargestellte Anstieg ist für den See in höchstem Maße bedeutsam, besteht doch (namentlich angesichts der verhältnismäßig hohen Stickstoffgehalte) kein Zweifel, daß dem Phosphor im Obersee die Funktion eines Minimumstoffes zukam, welcher die Produktion an Phytoplankton beschränkte. Der Anstieg des Phosphatgehaltes auf ein Vielfaches der ursprünglichen Menge innerhalb weniger Jahre ist ein Angelpunkt der See-Eutrophierung überhaupt, und man wird den Phosphaten in Zukunft größte Aufmerksamkeit schenken müssen. Daran ändert auch die Tatsache nichts, daß der Phosphat-Umsatz im See im Gegensatz zu den andern Nährstoffen besonders intensiv ist (Rigler 1959).

#### c) Stickstoff

Stickstoffverbindungen waren von jeher in relativ großen Mengen vorhanden, wenn auch das Ammonium im Obersee, wie in jedem oligotrophen See, sich mit 0,02 bis 0,04 mg N/L nur gerade noch nachweisen ließ. Nitrate wurden während der Zirkulationszeit mit rund 0,6 mg N/L in allen Schichten festgestellt. In den oberen 15 Metern können diese Konzentrationen jedoch während des Sommers durch Verdünnung mit Rheinwasser, das dann viel Schmelzwasser enthält, um 50 bis 75 % absinken. Welche Mengen durch das Plankton gezehrt werden, ist nicht bekannt. Der Rhein brachte im Winter Wasser mit 50 % höheren Nitrat-Konzentrationen, während die Sommergehalte 75 % niedriger liegen als im See. Die früheren Werte lassen sich aus methodischen Gründen nur unter Vorbehalt mit den heutigen Nitratbestimmungen vergleichen. Immerhin ist zu bemerken, daß die Stickstoffwerte im allgemeinen, auch wenn sie sich in Zukunft etwas verändern sollten, an sich wohl bedeutsam sind, jedoch lange nicht in dem Maße wie die Phosphorgehalte. Stickstoff war offenbar auch schon früher im

Überschuß vorhanden und hatte auch damals keine Bedeutung als produktionsbegrenzender Minimumstoff. Nitrite waren zwar seit jeher in nachweisbaren Mengen vorhanden, doch ist ihre Bedeutung gegenüber den andern Komponenten gering.

Im Untersee liegen ähnliche Gehalte vor, allerdings mit einer etwas anderen Verteilung. Hier ist in der Regel eine deutliche Nitrat-Schichtung zu beobachten mit Zehrungen bis gegen Null an der Oberfläche, zweifellos als Folge biogener Prozesse. Der mittlere Gehalt während der Vollzirkulation liegt bei 0,40 mg N/L; die sommerliche Zehrung greift bis in eine Tiefe von 15 m (*Jaag und Maerki*, unveröffentlicht). *Elster und Einsele (1938)* fanden zeitweilig Ammoniakmengen, wie sie für einen eutrophen See charakteristisch sind.

### 3. Der frühere Zustand des Organismenbestandes

#### a) Phytoplankton

Der Aufbau der organischen Substanz durch das pflanzliche Plankton, auch bekannt als Primärproduktion, vollzieht sich ausschließlich in der trophogenen Schicht, welche im allgemeinen mit dem Epilimnion zusammenfällt. Unterhalb dieser Produktionszone finden sich in allen Tiefen bis zum Seeboden je nach Erhaltungsfähigkeit in unterschiedlicher Dichte die in ihrer Vitalität bereits herabgesetzten und die abgestorbenen Formen. Die Zusammensetzung des Phytoplanktons der Freiwasserzone im Bodensee-Obersee läßt sich in durchaus befriedigendem Maße bis in die Zeit um die letzte Jahrhundertwende zurückverfolgen. *Kirchner (Schroeter, C., und O. Kirchner, 1896)* gibt für die Zeit von 1890 bis 1894 eine Algenassoziation an, die zur Hauptsache aus Kieselalgen (*Cyclotella* in fünf Arten, *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa* und zwei *Synedra*-Arten u. a. m.), zwei Grünalgen (*Botryococcus Braunii* und *Eudorina elegans*), sowie Flagellaten bestand. *R. Lauterborn (1916)* findet im wesentlichen dieselben Arten. Wie schon für den Chemismus festgestellt, zeigten sich auch in der Zusammensetzung des Planktons bis in die Dreißiger Jahre hinein keine auffälligen Veränderungen.

Quantitative Untersuchungen wurden erstmals in den Jahren 1920 bis 1924 von *Maerker (Auerbach, Maerker und Schmalz 1924 und 1926)* ausgeführt, ihnen folgten *Elster und Gessner (1935)* und *Grim (1939)*. Wenn dabei auch die Methodik im Laufe dieser Jahre gewissen Veränderungen unterworfen war, die einen Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Untersuchungsperioden nicht bis in alle Einzelheiten zulassen, so ist man doch in der Lage, auch die quantitative Entwicklung des Phytoplanktons in den letzten vierzig Jahren mit ausreichender Sicherheit zu übersehen und zu beurteilen. Jedenfalls kam *Grim* schon 1939 auf Grund seiner Vergleiche der Höchstdichten und der sog. „stehenden Ernten“ zu dem bedeutsamen Ergebnis, daß in der Zeit von 1920/24 bis 1939 die Gesamtproduktionsleistung des Sees sich um ein Mehrfaches erhöht hatte.

#### b) Zooplankton

Über das Zooplankton des noch nicht wesentlich durch den Menschen beeinflussten freien Sees geben die ersten qualitativen Arbeiten *Hofers (1896)* eine Vorstellung. Wir dürfen annehmen, daß die von ihm genannten 9 repräsentativen Crustaceenarten der pelagischen Region mit großer Wahrscheinlichkeit schon ausnahmslos dieselben waren, die *Auerbach* 30 Jahre später vorfand (*Auerbach, Maerker und Schmalz 1924 und 1926*). Die Versuche *Hofers*, zu quantitativen Aussagen über das Zooplankton seiner Zeit zu gelangen, befriedigen nicht. Man ist in dieser Beziehung wieder auf die Berichte *Auerbachs* aus den Jahren 1920 bis 1924 angewiesen, die die ersten, in gewissem Umfang mit späteren, vergleichbaren Ergebnisse enthalten. Grund-

sätzlich sind quantitative Netzfänge der Art, wie sie bisher im Bodensee zur Untersuchung des Zooplanktons vorwiegend angewandt worden sind, stets mit Fehlern behaftet, die dem Versuch, zu absolut richtigen Zahlenwerten zu gelangen, unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenzusetzen. In diesem Sinne sind die neueren Methoden der quantitativen Phytoplankton-Bearbeitung denjenigen der Zooplankton-Untersuchung überlegen. Man wird daher den erstgenannten bei der Beurteilung der Verhältnisse ein etwas größeres Gewicht beimessen müssen.

#### c) Bodenfauna

Wichtige Rückschlüsse auf die Güte des Wassers erlaubt unter gewissen Voraussetzungen auch die Bodenfauna. Daher kommt den Untersuchungen von *Lundbeck* (1936) über die Besiedlung der Alpenrandseen, bei denen auch der Bodensee analysiert wurde, eine besondere Bedeutung zu. *Lundbeck*, der den oligotrophen, nährstoffarmen Seetyp noch weiter unterteilt in einen streng oligotrophen See und einen Übergangstypus zum mesotrophen See, kommt zum Schluß, daß nur der Obersee selber als streng oligotroph bezeichnet werden kann, während er den Überlinger See zur Übergangsgruppe rechnet. Den Untersee reiht er schon damals in den mäßig eutrophen Typus ein.

#### d) Fischerei

Zahlreiche Arbeiten aus früheren Jahren von *Elster*, *Kriegsmann* und *Nümann* erlauben heute sichere Vergleiche über die Lebensweise der Fische und über die Fangerträge (siehe Seite 13). Auf alten Angaben fußend zeigte *Kriegsmann* für die einzelnen Fische alle früheren Laichgebiete auf. Von ihm wurde auch eine qualitative und quantitative Analyse über die Zusammensetzung des Fischbestandes des Ober- und Untersees durchgeführt (1955).

### 4. Der gegenwärtige Zustand und die neueste Entwicklung des Organismenbestandes

Wie schon im Kapitel über die chemischen Verhältnisse erwähnt, waren es nicht chemische Besonderheiten, welche die ersten Anzeichen für einen veränderten Stoffhaushalt des Sees lieferten, sondern die Organismen. Während man heute, wie bereits angedeutet wurde, in chemischer Hinsicht einige Verschiebungen gegenüber dem früheren Zustand feststellen kann, sind die Veränderungen des Organismenbestandes, wie sie sich seit den Vierziger Jahren vollzogen haben, wesentlich auffälliger. Daher seien im folgenden die biologischen Verhältnisse vorweggenommen, obschon man sich im klaren sein muß, daß sich in einem Gewässer keine großen biologischen Veränderungen vollziehen können, für die nicht entsprechende äußere Ursachen vorliegen, und welche eigentlich zuerst besprochen werden müßten.

#### a) Phytoplankton

(*Grimm* (1955) stellte für den Obersee fest, daß vor allem unter den Diatomeen manche von *Merker* gefundenen Formen verschwunden, andere, seinerzeit nicht gekannte, neu aufgetreten waren. Weitere Arten, die bisher nur in den Ufergebieten vorgekommen waren, fanden sich jetzt auch im Pelagial. Dabei fiel die Einwanderung und immer stärkere Ausbreitung der Kieselalgen *Diatoma elongatum* und *Tabellaria fenestrata* in den Dreißiger Jahren in die Freiwasserregion besonders auf. 1944 wurde erstmals von *Jaag* (1952) *Rhizosolenia longiseta*, eine zierliche, zerbrechliche Kieselalge, beobachtet, die in den folgenden Jahren im Ober- und im Untersee auffallend stark im Plankton auftrat. 1957 wurde als weiterer Neu-Einwanderer ins

Pelagial des Überlinger Sees *Mougeotia viridis* festgestellt, die in der Zwischenzeit zudem auch im Obersee (1958–1959) zu einem festen Bestandteil des Phytoplanktons geworden ist (*Anstalt für Bodenseeforschung, 1957/60*). Wesentlicher als die qualitativen sind die quantitativen biologischen Veränderungen, die ganz eindeutig eine Eutrophierung beweisen. Die Dichtehöchstwerte aus zahlreichen Untersuchungen der verschiedenen Jahre lassen, wie bereits dargelegt, erkennen, daß schon 1935 das Phytoplankton als feinsten Indikator auf Veränderungen im See reagierte. Nach 1945 unterschied sich die Dichte der Algenbesiedlung der pelagischen Region gegenüber den Jahren 1930/40 bereits um 1–2 Zehnerpotenzen. Erwähnt sei als Beispiel, das *Merker* 1924 als größte, irgendwie angetroffene Dichte einer Art 440 000 Einzelzellen/L feststellte und dies als ungeheure Massen bezeichnete. Dieselbe Form (*Synedra spec. klein*) kam 1950 im freien Obersee auf die 6fache (*Grim*), 1952 schon auf die 8fache Menge (*Lehn*); eine weitere Zählgruppe (*Cyclotella spec. klein*) erreichte 1959 sogar 9 Millionen Einzelindividuen/L, wie denn in der Zeit von 1952 bis 1959 nicht weniger als 9 Arten des Phytoplanktons Höchstwerte von über 1 Mio Zellen/L zeigten. Ausdrücklich betont sei noch einmal, daß es sich hier um Veränderungen handelt, welche nicht die stärker exponierte Uferregion betreffen, sondern die oberen Wasserschichten des freien Sees. Die Dichte des pflanzlichen Planktons hat so stark zugenommen, daß die in erster Linie von ihr abhängige Sichttiefe im Wasser merklich zurückgegangen ist; sie betrug im Jahresdurchschnitt der Jahre 1952–1959 nur noch 7,5 m, d. h. 2 m weniger als noch vor 35 Jahren. In Abbildung 3 ist die Veränderung der Phytoplanktondichte schematisch dargestellt.

Obwohl dieser Vergleich sich auf die stehenden Ernten des Phytoplanktons bezieht, läßt sich doch mit hinreichender Sicherheit schätzen, daß die Primärproduktion in den letzten 40 Jahren insgesamt mindestens auf das 20fache angestiegen ist.

Bei dieser Betrachtung sei auch auf die Darstellungen im Limnologischen Monatsbericht der *Anstalt für Bodenseeforschung* und auf eine Mitteilung von *Grim* verwiesen, nach denen von Juli bis Oktober 1959 sich auf weiten Teilen der freien Wasserfläche des Überlinger Sees echte Wasserblüten von *Anabaena flos-aquae* und *Microcystis aeruginosa* in bisher nicht beobachtetem Ausmaße zeigten, während, ebenfalls in den Sommermonaten, in einzelnen Uferbereichen des übrigen Obersees in den letzten Jahren sehr viel stärkere Vegetationsfärbungen von *Pandorina* und *Gonium* als früher beobachtet werden konnten.

#### b) Zooplankton

Die höhere Produktion an pflanzlichem Plankton bedeutete ein größeres Nahrungsangebot für die tierischen Plankter. Trotz der bereits erwähnten Schwierigkeiten, die sich aus methodischen Gründen einem quantitativen Vergleich der Verhältnisse im Zooplankton entgegenstellen, ist auch hier eine Beurteilung der Entwicklung in großen Zügen durchaus möglich. Bei vorsichtig abwägender Bewertung der älteren und neueren Befunde läßt sich für den Zeitraum von 1920 bis 1959 eine Gesamtzunahme der Individuenzahlen des Crustaceenplanktons im Bodensee-Obersee auf etwa das 10fache feststellen. Bemerkenswerterweise haben nicht alle Formen im gleichen Ausmaße zugenommen: Einen nur geringen Anstieg zeigen z. B. die Arten *Diaphanosoma brachyurum* und *Heterocope borealis*; besonders groß ist dagegen die Zunahme bei *Daphnia longispina hyalina*. Da auch die Zahlen für die restlichen Cladoceren offensichtlich stärker angestiegen sind als diejenigen für die Copepoden, bahnt sich hier möglicherweise ein charakteristischer Wandel im Anteil der beiden Gruppen am Crustaceenbestand des Obersee-Pelagials an. In qualitativer Hinsicht konnte, wie bereits erwähnt, zwischen 1890 und 1924 eine Veränderung des Crustaceenplanktons nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Der ursprüngliche Zustand hielt darüber hinaus sogar bis 1954 an (*Kiefer und Mücke 1959*). In diesem Jahr zeigte sich – allerdings noch in geringster Zahl – als erste Neuerscheinung in der Frei-

wasserregion des Obersees *Cyclops vicinus lobosus*, der wenige Monate zuvor im Untersee neu entdeckt worden war. Die Art erreichte im Obersee allerdings erst 1959 bedeutendere Individuenzahlen. Inzwischen war 1956 *Daphnia galeata* als zweite Art erstmals aufgetreten, die in der relativ kurzen Zeit von drei Jahren bereits zu einem kennzeichnenden Bestandteil der pelagischen Fauna des Obersees geworden ist. Das Jahr 1959 brachte weitere qualitative Veränderungen: Die ebenfalls aus dem Untersee schon länger bekannte *Bismina kessleri* wurde – und zwar sofort recht individuenreich – neu auch im Überlinger See beobachtet, dazu traten gegenüber früher in beträchtlich vermehrter Zahl die beiden Copepoden *Cyclops strenuus bodanus* und *Cyclops strenuus landei* auf. Im Laufe der letzten 5 Jahre sind somit zu den bis dahin allein bekannten repräsentativen 9 Crustaceenarten 5 weitere hinzugekommen.

Aus all diesen Wahrnehmungen ist zu schließen, daß die pelagische Organismenwelt des Bodensee-Obersees sich zur Zeit in einer *außergewöhnlich labilen Phase* befindet, wie sie in der 100jährigen Geschichte der biologischen Erforschung des Sees mit Sicherheit noch nicht beobachtet worden ist.

Ein Vergleich von Planktondichten aus dem Untersee aus den Jahren 1935 und 1939 (*Grim 1951*) mit Messungen von 1955 (*Wacheck 1958 a*) ergibt keine wesentlichen Verschiebungen; die Dichte-Höchstwerte bewegen sich für die wichtigsten Kieselalgen (*Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Diatoma elongatum* und *Tabellaria fenestrata*) zwischen 1 und 19 Mio/L. Danach scheinen im Lauf der letzten zwanzig Jahre im eutrophen Untersee keine tiefgreifenden Veränderungen mehr vor sich gegangen zu sein. Untersuchungen von *Jaag und Maerki* (unveröffentlicht) zufolge waren 1944 im Untersee (Mammern und Berlingen) zur gleichen Zeit pro Volumen Wasser etwa 6mal mehr Plankton-Individuen vorhanden als im Konstanzer Trichter auf der Höhe von Kreuzlingen.

### c) Fischerei

Gleich einer Kettenreaktion wirkt sich die große Produktion an tierischem Plankton weiter auf die Fische aus, insbesondere auf die planktonfressenden *Blaufelchen*. Nach Untersuchungen von *Kriegsmann (1955)* und *Nümann (1958 und 1959)* sind die durchschnittlichen Jahreserträge im Obersee (Mittelwerte von 5 Jahren) seit 1910/15 von 100 000–120 000 kg in den letzten 10 Jahren auf durchschnittlich gut 700 000 kg angestiegen.

Die Blaufelchen wachsen heute viel schneller als früher. Nach *Nümann* (unveröffentlicht) erreichen sie heute bereits nach 3 Jahren dieselbe Länge, die sie vor 1954 durchschnittlich nicht einmal nach 5 Jahren aufwiesen. Allgemein sind Felchen von vergleichbarer Länge heute durchschnittlich 60 g schwerer als vor Ende der 30er Jahre. Eine Veränderung der Netzmaschen und des vorgeschriebenen Mindestmaßes für die gefangenen Felchen hat das schnellere Wachstum bei intensiverer Befischung zu einer völligen Verschiebung in der Altersklassenzusammensetzung geführt (Altersklasse = Gesamtheit gleichaltriger Individuen; Klasse I erfaßt alle Individuen nach vollendetem ersten Lebensjahr usw.). In den 30er Jahren bestand der Fang nur zu 1–2 % aus Individuen der Altersklasse II; je 45 % stellten allgemein die Klassen III und IV, und Klasse V war mit 5 % vertreten. Nach einer zunächst mäßigen, ab 1954 aber rapiden Veränderung in der Zusammensetzung des Fanges wurden z. B. vom Jahrgang 1959 32 % als Klasse I und 68 % von Klasse II gefangen: also Klassen, die praktisch in den Fängen früher überhaupt nicht auftraten. Die älteren Fische hingegen sind völlig verschwunden (Abbildung 4). Da der Eintritt der Laichreife beim Fisch wesentlich von der erreichten Größe und vom Alter abhängt, werden die Felchen bei dem schnelleren Wachstum wegen des früheren Erreichens der Fanggröße heute vielfach entweder überhaupt nicht reif oder nur frühreif. Die Zahl der abgelaichten Eier ist geringer, und es stirbt nach der Befruchtung, wie sich im Experiment und in den Brutanstalten gezeigt hat, ein größerer Prozentsatz als

früher ab. Daher läßt die zunächst erfreuliche Wachstums- und Ertragssteigerung für den Felchenbestand auf lange Sicht nichts Gutes erwarten.

Während sich im Mittel der letzten Jahre der Anteil der Blaufelchen am Gesamtfang nach den Angaben der schweizerischen Fischereiergane ungefähr im bisherigen Rahmen gehalten hat, steht dem ein deutlicher Rückgang an Ufer- und Bodenfelchen (Gangfischen, Sandfelchen und Kilch) gegenüber. Mehr als früher macht sich namentlich in schlechten Blaufelchenjahren der Barsch im Gesamtfang bemerkbar. Da er sogar ins Pelagial vorstößt, ist zu befürchten, daß er hier die Bestände der Jungfelchen dezimiert. Nach *Kriegsmann* hat sich die prozentuale Zusammensetzung der Fischarten zum Nachteil der Edelfische entwickelt; besonders nehmen die Weißfische zu. Diese Verschiebung spielt sich vor allem in der Uferzone ab, also im Lebensraum und vielfach auch Laichgebiet von Gangfisch, Sandfelchen und Forelle.

Im Untersee ist der Gesamtfang ebenfalls angestiegen, doch gehen die Felchen und Forellen zurück, während der Anteil der Barsche und Karpfenartigen zunimmt. Entsprechend der Entwicklung der Gewässerqualität vollzieht sich auch hier ein allmählicher Wechsel von anspruchsvollen zu anspruchsloseren Formen. Der durchschnittliche Gesamtertrag für den Untersee war Ende der 30er Jahre mehr als doppelt so hoch wie im Obersee (20,8 kg/ha gegenüber 9,5 kg/ha, *Kriegsmann 1955*). Inzwischen ist der Hektarertrag im Obersee gewaltig gestiegen: im Jahre 1960 betrug er 24 kg/ha, während er im Untersee konstant blieb oder vielleicht sogar rückläufig wurde (*Nümann* unveröffentlicht). Offenbar sind im Untersee die Lebensbedingungen schon so schlecht, daß eine weitere Überdüngung sich nur noch nachteilig auf den Fischbestand auswirkt.

Nicht unerwähnt bleiben soll, daß zeitweise infolge der gewaltigen Algenproduktion die haardünnen Fäden der Netze in einer einzigen Nacht bis zu Bleistiftstärke bedeckt werden, so daß sie fangunfähig sind.

#### d) Bodenfauna

Die Bodenfauna ist seit 1945 verschiedentlich qualitativ und quantitativ untersucht worden (*Wacheck 1958 b, Ritzi und Vogel 1959*), doch lassen die Ergebnisse bei verschiedener Methodik und verschiedenen Entnahmestellen nicht immer eine Veränderung streng nachweisen. *Wacheck* gibt allerdings an, daß ein Vergleich mit den Befunden *Lundbeckes* von 1936 an Oligochaeten, Pisidien usw. eine 10fache Menge ergibt. Interessant ist die Bemerkung *Wachecks*, daß die Bodenbesiedlung des westlichen Obersees günstiger ist als die des östlichen Obersees, d. h. die Verhältnisse liegen heute umgekehrt wie vor rund 25 Jahren.

#### e) Sediment

Wertvolle Hinweise auf die Entwicklung des Sees in der Vergangenheit liefern auch chemische Untersuchungen des Sediments. Nach den Erhebungen von *Züllig (1956)* zersetzen sich gewisse Pigmentstoffe aus Blau- und Grünalgen außerordentlich langsam und sind deshalb ein brauchbares Mittel, um auf die Algenproduktion früherer Jahre schließen zu können. So stellte *Züllig* an Bohrprofilen aus der Tiefenzone des Obersees fest, daß die Pigmentstoffe in den letzten 8–10 Jahren auf das 20fache angestiegen sind. Auch die Zunahme von Diatomeenschalen und freier Kieselsäure in den vergangenen 10 Jahren ist beträchtlich, und die jährlichen Kalkablagerungen haben infolge biogener Entkalkung ansehnlich zugenommen. In der gleichen Zeit wurde jährlich dreimal mehr Gesamtphosphor abgelagert als in den älteren Sedimenten des Bohrprofils.

## 5. Die neueste Entwicklung der chemischen Verhältnisse

Im Obersee haben sich in qualitativer und in quantitativer Hinsicht deutliche biologische Wandlungen vollzogen, ohne daß sich allerdings zunächst Veränderungen im Chemismus als Ursache erkennen ließen. Erst nach 1950 konnte *Grim (1955)* anorganisches Phosphat, um diesen wichtigsten Fall nochmals anzuführen, in Konzentrationen von 2–3  $\gamma$  P/L in einem weiten Bereich des Sees feststellen. *Fast (1955)* fand später schon 3–4  $\gamma$  P/L und die von *Kliffmueller (1960b)* 1959 ermittelten Werte liegen bereits bei 9  $\gamma$  P/L (Abbildung 2). Bei den Stickstoffverbindungen hat das Ammonium nach *Grim* eine Zunahme von 0,04 auf nahezu 0,1 mg N/L erfahren. Weitere Änderungen im Chemismus, die primär für die biologischen Veränderungen verantwortlich sein könnten, sind noch nicht festgestellt worden. Wohl aber hat die erhöhte Produktion an organischer Substanz sekundär wieder auf den Chemismus zurückgewirkt. Sie führt bei der verstärkten C-Assimilation jetzt häufiger zu Sauerstoffübersättigungen in der trophogenen Schicht als früher. So sind nach den neuesten Messungen (1952–1959) aus dem Überlinger See im 7-jährigen Monatsmittel in der obersten Schicht im Sommer Sättigungsgrade bis zu 120 % festzustellen (Tabelle 4). Ebenfalls bedenklich ist das zunehmende Sauerstoffdefizit in der Sprungschicht und in der Tiefe, eine Folge des Abbaus der organischen Substanz. Das früher fast belanglose metalimnische Minimum weist im Oktober-Durchschnitt der letzten 7 Jahre nur noch 78 % Sättigung auf und ist damit sogar deutlicher als das sich zeitweise ebenfalls abzeichnende Minimum über Grund. Nach *Grim (1955)* wurden schon Sättigungswerte in der Sprungschicht von nur 50 % gemessen, wogegen nach den Untersuchungen von *Schmalz* in den Jahren 1920–1923 die Sättigung über Grund nie unter 77 % fiel. Besonders bedenklich ist, daß sich der See während der Zirkulationsperiode heute nicht mehr völlig sättigen kann und das Seejahr mit einem Defizit von 5–10 % beginnt (Anstalt für Bodenseeforschung 1957/60; *Wacheck 1958a*).

Weit kritischer ist die Situation natürlich im viel flacheren Untersee wegen des ungünstigen Verhältnisses von produzierender Zone zur dünnen tropholytischen Unterschicht, in der sich zusätzlich noch eingeschwemmte organische Substanzen zersetzen. Hier wird das Sauerstoffdefizit am Ende der Stagnationsperiode immer größer, wobei es infolge Reduktion der Sulfate sogar zur Bildung von Schwefelwasserstoff kommen kann. Gelegentlich wird Fischsterben beobachtet.

## 6. Bakteriologie

Als Indikator für die Belastung des Sees mit Abwässern läßt sich auch die Zahl der Bakterien ansprechen. Für den Obersee liegen allerdings nur die Ergebnisse der hygienisch-bakteriologischen Untersuchungen von *Fast (1955)* aus den Jahren 1952–1955 und noch unveröffentlichte Arbeiten von *Deufel* von 1954/55 und von *Fast* von 1956 bis 1960 vor. Während in der Seemitte die Keimzahlen selten auf 100 pro  $\text{cm}^3$  und die Zahl der coliformen Bakterien ebenso selten auf 2 bis 3 pro 100  $\text{cm}^3$  gingen, erreichten die ersteren vor Städten und Flußmündungen im Extremfall 10 000 pro  $\text{cm}^3$  und die Coli-Werte oft 20 000 bis 30 000 pro 100  $\text{cm}^3$  resp. den 10 000fachen Wert der Freiwasserzone. Besonders die Einwirkung der Schussen und Argen ließ sich bakteriologisch bisweilen noch 2–3 km weit im See nachweisen. *Fast* zeigte besonders anhand von Untersuchungen im Überlinger See, daß eine Schichtung und Einschichtung der Bakterien während der Stagnationsperiode eintritt. Trotz einer starken Abnahme von oben nach unten wurden jedoch coliforme Bakterien auch in der Tiefe gefunden. Aus dem Untersee liegen nur vereinzelte bakteriologische Erhebungen vor (*Fast*, unveröffent-

licht; Jaag, unveröffentlicht). Sie zeigen aber unverkennbar, daß die Zahl der coliformen Keime seit 1946 erheblich angestiegen ist. Auch wenn diese wenigen Untersuchungen nur mit einiger Zurückhaltung beurteilt werden dürfen, so kann doch die Tendenz zu stärkerer Belastung mit coliformen Bakterien nicht übersehen werden.

## V. Die Ursachen der jüngsten Entwicklung des Sees; Stoffbilanz

Während die chemische Untersuchung des Seewassers wohl Anhaltspunkte liefert über die Entwicklung des Sees, sagt sie doch nichts aus über die Herkunft jener Stoffe, welche für diese Entwicklung verantwortlich sind; dafür sind Erhebungen an den Zuflüssen nötig. Wie erwähnt, sind derartige Untersuchungen im Rahmen der Arbeiten der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee gegenwärtig im Gange. Durch eine Arbeit von Kliffmüller (1960) ist erstmals der Versuch gemacht worden, eine Bilanz der zugeführten Schmutz- und Düngstoffe aufzustellen:

So beträgt die zusätzliche Sauerstoffzehrung (BSB<sub>2</sub>), welche der See durch alle Zuflüsse (verdünnende und belastende) erfährt, 4800 t O<sub>2</sub> pro Jahr. Dem steht die Sauerstoffzehrung gegenüber, die durch den Abbau der organischen Substanz aus der eigenen Produktion des Sees erwächst, und die für 1950/51 allein für das Hypolimnion bereits 100 000 t O<sub>2</sub> beträgt. Damit bleibt die Eigenproduktion für den See schädlicher als die zugeführten Mengen organischer Stoffe, eine Feststellung, die auch für andere Seen, z. B. für den Zürichsee gilt (Thomas 1955). Die Eigenproduktion ist aber die direkte Folge der vermehrten Zufuhr von Nährstoffen, insbesondere von Phosphor. Für unsere Betrachtung ist deshalb wohl die Feststellung am wichtigsten, daß dem See allein durch die Zuflüsse an Gesamtphosphor 1800 t P zugeführt werden, bei Konstanz aber nur 700 t abfließen; auch wenn man berücksichtigt, daß der Alpenrhein durch Geschiebe dem See viel mineralischen Phosphor zuführt, der wegen seiner geringen Löslichkeit nicht als Nährstoff verwertbar ist, so bleibt die abfließende Menge trotzdem kleiner als die zufließende; der Phosphor reichert sich im See an. Diese Anreicherung gilt für alle zugeführten Stoffe, sofern sie nicht abgebaut werden. Ihr Mechanismus ist auf Grund der früheren hydrographischen Untersuchungen leicht zu erklären:

Im Sommer bleibt das warme, mit Düngestoffen und sonstigen Substanzen beladene Wasser der Zuflüsse im Epilimnion und verläßt mit den bereits erwähnten Strömungen aus der obersten 10-m-Schicht den See. Während dieser Zeit könnte eine Speicherung von Phosphor nur durch Organismen stattfinden, mit denen er nach dem Absterben zu Boden sinkt. In der winterlichen Zirkulationsphase aber verteilt sich das mit Phosphaten belastete Wasser gleichmäßig über das ganze Seeprofil. Es fließt jedoch wiederum nur Wasser aus den oberen Schichten ab, so daß in den größeren Tiefen eine ständige, wenn auch geringe Zunahme in jedem Jahr stattfinden muß. Tatsächlich zeigen die Untersuchungen am Abfluß auch, daß trotz stärkerer Wasserführung die Konzentration im Sommer höher ist als im Winter bei schwacher Wasserführung. *Es findet also von Jahr zu Jahr eine P-Anreicherung statt. Hier liegt eine der wesentlichsten Ursachen für die Eutrophierung des Sees.* Ob auch Spurenelemente oder Wirkstoffe als auslösende Faktoren dem See stärker als früher zugeführt werden, ist bisher noch nicht bekannt.

## VI. Abschließende Bemerkungen

Auch bei vorsichtiger Interpretation ergeben die bisherigen Untersuchungen, daß im Obersee in letzter Zeit bedeutsame Veränderungen vor sich gegangen sind. Der See befindet sich gegenwärtig in einer Phase der biologischen Umstellung vom reinen, oligotrophen zum nährstoffreichen, eutrophen Zustand. Die gute Verfassung des Sees bis in die dreißiger Jahre hinein entsprach dem früheren natürlichen Zustand seiner Zuflüsse. Heute sind diese zum Teil beträchtlich mit Abwasser belastet und verschmutzen bereits weite Gebiete des Sees. Die Hauptursache dieser direkten Beeinflussung der Mündungsgebiete sind die organischen Schmutzstoffe. Für die biologischen Vorgänge im freien See, die sich namentlich in einer immer stärkeren Entfaltung des Planktons äußern, sind dagegen in erster Linie die anorganischen Düngestoffe verantwortlich, welche vorwiegend mit den Abwässern aus den Siedlungen und Industriebetrieben in den See gelangen.

Die genannten Veränderungen und Beeinträchtigungen des Sees werden demnach von außen an ihn herangetragen. Das Beispiel zahlreicher Alpenrandseen hat gelehrt, daß die Entwicklung, die der Bodensee jetzt durchläuft, sprunghaft vorwärts schreiten kann. Der See befindet sich zur Zeit in einer labilen Phase, in der zwar unbestimmbar, aber möglicherweise überraschend schnell eine entscheidende Verschlechterung mit unabsehbaren Folgen eintreten kann, wenn es nicht gelingt, die Zufuhr an eutrophierenden Stoffen entscheidend zu vermindern.

## VII. Literatur

- Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz, 1957–1960*: Limnologischer Monatsbericht – Überlinger See (Bodensee). L. – 4. Jahrgang.
- Auerbach, M., 1952 a*: Der Wasserabfluß aus der Konstanzer Bucht. Beitr. naturkundl. Forschg. S.W.-Deutschland 11.
- Auerbach, M., 1952 b*: Das Schrifttum der naturwissenschaftlichen Bodensee-Forschung. Schrift.-Ver. f. Gesch. d. Bodensees, 71.
- Auerbach, M., Maerker, W. und Schmalz, J., 1924*: Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen. I. Ergebnisse der Jahre 1920–1922. Archiv f. Hydrobiol./Suppl. III.
- Auerbach, M., Maerker, W. und Schmalz, J., 1926*: Hydrographisch-biologische Bodensee-untersuchungen. II. Ergebnisse der Jahre 1923 und 1924 und Zusammenfassung 1920 bis 1924. Verh. naturw. Ver. Karlsruhe 30.
- Auerbach, M. und Ritzi, M., 1937*: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. IV. Der Lauf des Rheinwassers durch den Bodensee in den Sommermonaten. Arch. f. Hydrobiol. 32.
- Auerbach, M. und Rottengatter, G., 1960*: Untersuchungen über den Wasseraustausch der einzelnen Becken des Untersees (I. Teil). Schweiz. Z. Hydrol. 22, 1.
- Auerbach, M. und Schmalz, J. 1927*: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. Schrift.-Ver. f. Gesch. d. Bodensees 55.
- Auerbach, M. und Schmalz, J., 1931*: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees II. Arch. f. Hydrobiol. 23.
- Elster, H.-J., 1939*: Beobachtungen über das Verhalten der Schichtgrenzen nebst einigen Bemerkungen über die Austauschverhältnisse im Bodensee (Obersee). Arch. f. Hydrobiol. 35.
- Elster, H.-J., 1960*: Der Bodensee als Organismus und die Veränderungen seines Stoffwechsels in den letzten Jahrzehnten. GWF 101, 8.
- Elster, H.-J. und Einsele, W., 1937*: Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee). Int. Rev. ges. Hydrobiol. 35.
- Elster, H.-J. und Einsele, W., 1938*: Beiträge zur Kenntnis der Hydrographie des Untersees (Bodensee). Int. Rev. ges. Hydrobiol. 36.
- Elster, H.-J. und Gessner, F., 1935*: Limnologische Produktionsstudien. I. Die chemische und biologische Sommerschichtung im Bodensee (Ober- und Untersee). Greifswald.
- Fast, H., 1955*: Systematische Untersuchungen über den chemischen und bakteriologischen Zustand des Bodensees. „Vom Wasser“ 22.
- Forel, F. A., 1893*: Die Schwankungen des Bodensees. Schrift. Ver. f. Gesch. d. Bodensees 22.
- Grim, J., 1939*: Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. Int. Rev. ges. Hydrobiol., 39.
- Grim, J., 1951*: Ein Vergleich der Produktionsleistung des Bodensee-Untersees, des Obersees und des Schleinsees. Abh. aus d. Fischerei und deren Hilfsw. 4.
- Grim, J., 1955*: Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensee-Obersees in den letzten 30 Jahren. Arch. f. Hydrobiol./Suppl. 22.
- Hofer, B., 1896*: Die Verbreitung der Tierwelt im Bodensee nebst vergleichenden Untersuchungen in einigen anderen Süßwasserbecken. Schrift. Ver. f. Gesch. d. Bodensees 28.
- Hoppe-Seyler, F. 1895*: Über die Verteilung absorbierter Gase im Wasser des Bodensees und ihre Beziehungen zu den in ihm lebenden Tieren und Pflanzen. Schrift. Ver. f. Gesch. d. Bodensees, 24.

- Jaag, O., 1952:* Die neuere Entwicklung und der heutige Zustand schweizerischer Gewässer. Gewässerschutz in der Schweiz. GWF 93.
- Kiefer, Fr., 1955:* Naturkunde des Bodensees. Lindau und Konstanz.
- Kiefer, Fr., und Mucke, R., 1959:* Beobachtungen am Crustaceenplankton des Überlinger Sees (Bodensee) 1952–1957. I. Das Auftreten der Arten im Jahresverlauf. Beitr. naturkundl. Forschung in S.W.-Deutschland, 18.
- Kiefer, Fr., 1960:* Neuere Erkenntnisse aus Untersuchungen im Pelagial des Bodensees. Die Umschau in Wiss. u. Technik H. 32.
- Kleinschmidt, E., 1921:* Beiträge zur Limnologie des Bodensees. Schrift. Ver. f. Gesch. d. Bodensees 49.
- Kliffmüller, R., 1960 a:* Beiträge zum Stoffhaushalt des Bodensees (Obersee). I. Die in den Bodensee (Obersee) eingebrachten Schmutz- und Nährstoffe und ihr Verbleib. – Versuch einer bilanzmäßigen Erfassung für 1958/59. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 45.
- Kliffmüller, R., 1960 b:* Die Zunahme der Phosphatkonzentrationen im Bodensee. Int. Rev. Hydrobiol. (im Druck).
- Kriegsmann, F., 1955:* Der Wechsel in der Vergesellschaftung der Fischarten des Ober- und Untersees und die Veränderungen des See-Reagierens. Arch. f. Hydrobiol./Suppl. 22.
- Lauterborn, R., 1916:* Die geographische und biologische Gliederung des Rheinstromes I. S. Ber. Heidelb. Akad. Wiss. Math.-natw. Kl. Abt. B, 6. Abh.
- Lehn, H., 1956:* Kurzfristige Temperatur- und Planktonschwankungen im ufernahen Hypolimnion des Überlinger Sees (Bodensee). GWF 97.
- Lundbeck, J., 1936:* Untersuchungen über die Bodenbesiedlung der Alpenrandseen. Arch. f. Hydrobiol./Suppl. 10.
- Mucke, R., 1956:* Die limnologischen Voraussetzungen für eine Großtrinkwasserentnahme aus dem Überlinger See (Bateusee) GWF 97.
- Nümann, W., 1938:* Die Verbreitung des Rheinwassers im Bodensee. Int. Rev. d. ges. Hydrobiol. 36.
- Nümann, W., 1958:* Das veränderte Wachstum der Bodensee-Blaufelchen. Institut f. Seenforschung u. Seenbewirtschaftung in Langenargen, Mitt. 5.
- Nümann, W., 1959:* Das Wachstum der Blaufelchen und seine Berechnung bei Erfassung aller Individuen der einzelnen Jahrgänge in Abhängigkeit von der Stärke des Jahrganges, den jährlich variierenden Außenfaktoren, der Eutrophierung und den regionalen Unterschieden des Sees. Arch. Fischereiwiss. 10.
- Rigler, F. H., 1959:* A tracer study of the phosphorus cycle in lake water. Ecology 37.
- Ritzi, M. und Vogel, H., 1959:* Ein Beitrag zur Besiedlungsdichte der Tiefenfauna im Bodensee. Beitr. natw. Forschg. S.W.-Deutschland, 18.
- Schmalz, J., 1932:* Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees. Schrift. Ver. f. Gesch. d. Bodensees, 25.
- Schröter, C. und Kirchner, O., 1896:* Die Vegetation des Bodensees. Schrift. Ver. f. Gesch. d. Bodensees, 25.
- Thomas, E. A., 1955:* Über die Bedeutung der abwasserbedingten direkten Sauerstoffzehrung in Seen. Monatsbull. SVGW 35.
- Wacheke, F., 1958 a:* Biologisch-chemische Untersuchungen des Bodensees unter besonderer Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Fragen. Münchner Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie 4.
- Wacheke, F., 1958 b:* Der biologisch-chemische Zustand der Bodenseezuflüsse Schussen, Argen, Rotach und Laiblach. Münchner Beitr. z. Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie 4.
- Züllig, H., 1956:* Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers. Schweiz. Z. Hydrol. 18.

# Inhalt

I. Einleitung .....	3
II. Ältere Literatur und deren wesentlichste Feststellungen .....	3
III. Der Bodensee; Geographie, Besiedlung, Industrie .....	4
IV. Physik, Chemie und Biologie des Bodensees .....	4
A. Physikalische Verhältnisse .....	4
1. Thermik .....	4
2. Wasserströmungen .....	5
B. Die chemisch-biologischen Verhältnisse .....	7
1. Allgemeines; die Eutrophierung der Seen .....	7
2. Chemische Verhältnisse .....	8
3. Der frühere Zustand des Organismenbestandes .....	10
4. Der gegenwärtige Zustand und die neueste Entwicklung des Organismenbestandes .....	11
5. Die neueste Entwicklung der chemischen Verhältnisse .....	15
6. Bakteriologie .....	15
V. Die Ursachen der jüngsten Entwicklung des Sees; Stoffbilanz .....	16
VI. Abschließende Bemerkungen .....	17
VII. Literatur .....	18

# Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees

(Verzeichnis der Anlagen)

- Tabelle 1: Wassertemperaturen im Überlinger See 0–60 m.
- Tabelle 2: Sichttiefen im Bodensee-Obersee westlich der Linie Friedrichshafen–Romanshorn 1920–24 und im Überlinger See 1952–60.
- Tabelle 3: Sauerstoffsättigungswerte des Bodenseewassers westlich der Linie Langenargen–Rorschach (Durchschnitt der Jahre 1920–1925).
- Tabelle 4: Siebenjährige Mittelwerte der Sauerstoffsättigung im Überlinger See 1952/53 bis 1958/59.
- Abbildung 1: Gütebild des Bodensees.
- Abbildung 2: Anstieg des Phosphat-Phosphors als Ausdruck fortschreitender Eutrophierung im Bodensee (Obersee).
- Abbildung 3: Entwicklung der Dichtewerte einiger Planktophyten in den Jahren 1920 bis 1959.
- Abbildung 4: Altersklassenverschiebung bei Blaufelchen.



Mucke, R. (Anstalt für Bodenseeforschung, Konstanz)

(unveröffentlicht)

**Wassertemperaturen im Überlinger See 0—60 m  
(°C, achtjährige Monatsmittel aus der Zeit April 1952 bis März 1960)**

Tiefe	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Januar	Februar	März
0 m	7,2	12,8	15,2	19,1	18,2	16,4	12,1	9,1	6,1	4,4	3,6	4,3
10 m	5,6	8,0	10,5	11,9	13,0	13,5	11,5	9,0	6,2	4,5	3,6	4,0
20 m	4,9	6,1	7,2	8,0	8,1	9,2	9,6	8,7	6,0	4,5	3,7	3,9
30 m	4,5	5,3	5,7	6,0	6,2	6,6	7,0	7,2	5,7	4,5	3,7	3,9
40 m	4,4	4,7	5,1	5,1	5,3	5,3	5,5	6,0	5,2	4,4	3,7	3,9
50 m	4,3	4,5	4,7	4,8	4,8	5,0	4,9	5,2	4,9	4,4	3,8	3,9
60 m	4,1	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,9	4,7	4,4	3,8	3,9

In 100 m Tiefe bewegt sich die Temperatur nach *Auerbach 1926* im Jahresverlauf noch zwischen 4,3° C und 4,8° C, in größeren Tiefen sind die Schwankungen noch geringer.



*Auerbach, M. (Anstalt für Bodenseeforschung, Konstanz)*

(aus *Auerbach, M., Maerker, W. und Schmalz, J.: „Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen II“* Verh. natwiss. Verein K'he, 30, 1926)

*Mucke, R. (Anstalt für Bodenseeforschung, Konstanz)*

(unveröffentlicht)

**Sichttiefen (m) im Bodensee-Obersee westlich der Linie Friedrichshafen-Romanshorn,  
Monatsmittel aus den Jahren 1920—24 (Auerbach) und im Überlinger See,  
Monatsmittel aus den Jahren 1952—60 (Mucke)**

	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
1920—24	13,3	7,4	7,0	4,4	5,0	6,0	6,4	8,8	11,9	15,1	16,1	12,9
1952—60	8,7	4,8	4,6	5,2	4,5	4,7	6,0	8,2	10,4	11,9	10,8	10,3

	1920—24	1952—60
Maximale Sichttiefen (Monatsmittel):	17,4 m (Jan. 1923)	13,7 m (März 1953)
Minimale Sichttiefen (Monatsmittel):	3,5 m (Juli 1924)	2,3 m (Juni 1954)



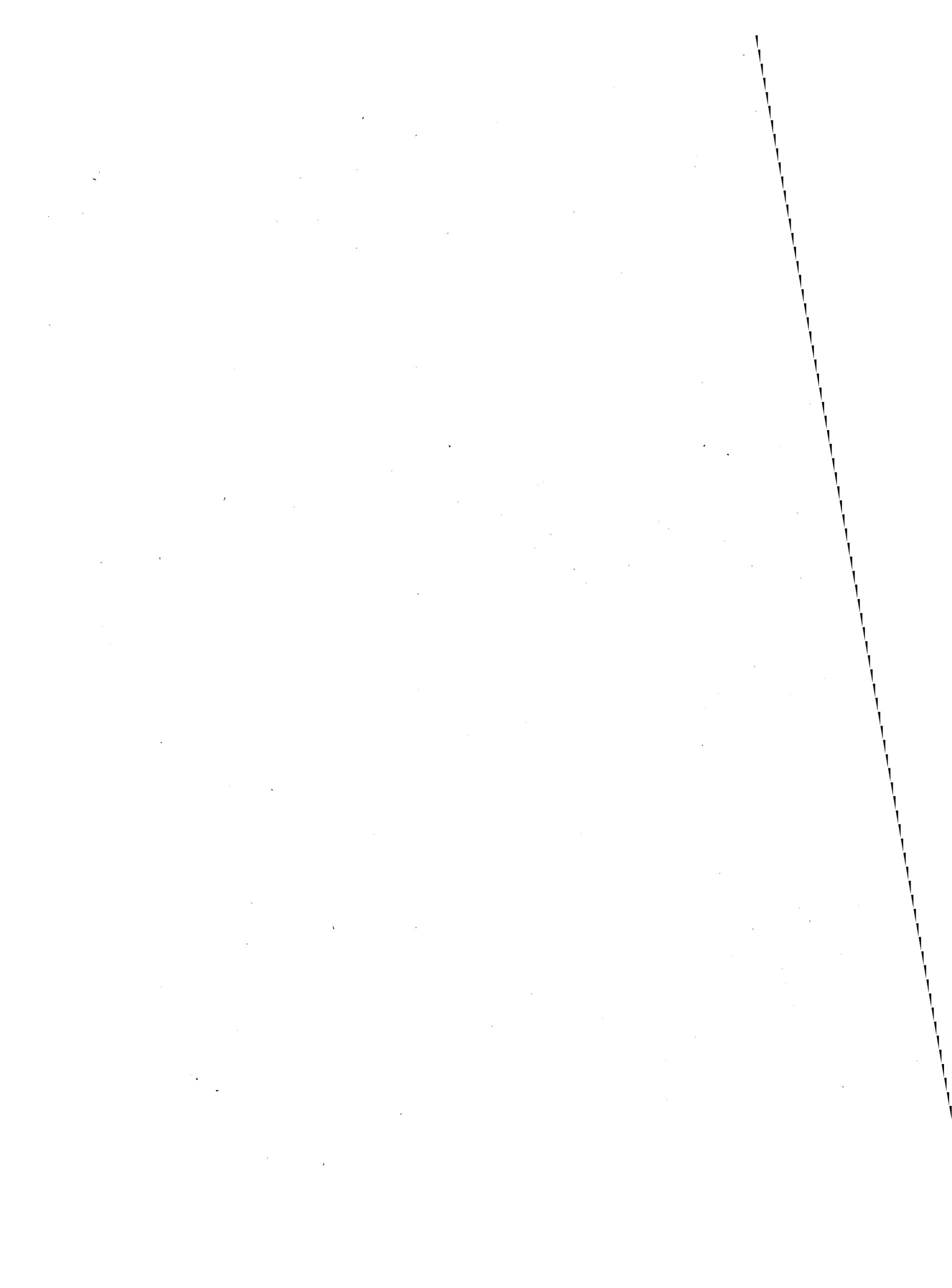
Schmalz, J. (*Anstalt für Bodenseeforschung, Konstanz*)

(aus *Auerbach, M., Maerker, W. und Schmalz, J.*: „Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen II“ Verh. natwiss. Verein K'he, 30, 1926)

**Sauerstoffsättigungswerte (%) des Bodenseewassers westlich der Linie Langenargen—Rorschach  
(Durchschnitt der Jahre 1920—1925)**

(nach Tab. VI, S. 13, auf einen mittleren Barometerstand von 724 mm Hg umgerechnet)

Tiefe	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Januar	Februar	März
0 m	101	107	105	108	105	102	100	93	93	89	90	98
10 m	99	100	99	98	100	102	97	94	92	90	90	97
20 m	97	97	92	90	91	91	90	92	92	90	90	96
35 m	93	92	90	89	88	86	85	88	91	90	90	92
50 m	92	92	89	87	88	85	84	86	89	90	90	95
100 m	91	90	88	88	89	88	86	87	88	88	88	94



*Fast, H. und Mucke, R. (Chemisches Untersuchungsamt und Anstalt für Bodenseeforschung, Konstanz)*

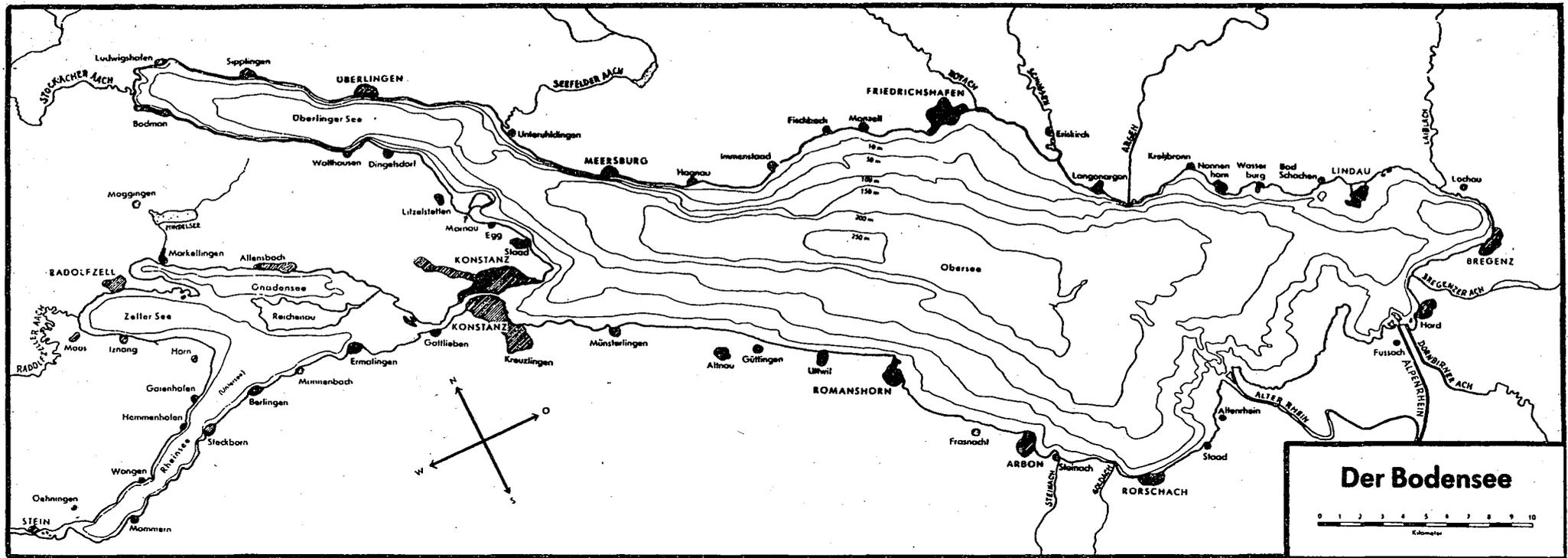
(unveröffentlicht)

**Siebenjährige Mittelwerte der Sauerstoffsättigung im Überlinger See 1952/53 bis 1958/59 (bezogen auf 724 mm Hg.)**

Tiefe	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März
0 m	104	120	112	113	112	104	96	91	84	87	89	93
10 m	98	102	101	94	93	91	95	88	85	87	90	92
20 m	96	96	94	90	87	83	83	87	87	87	89	95
30 m	93	94	92	90	87	83	83	83	84	87	87	90
40 m	93	92	90	91	86	84	78	82	85	88	87	90
50 m	91	89	90	89	89	84	82	82	80	87	89	89
60 m	89	92	90	90	88	86	83	84	85	84	88	89



# Abbildung 1



Dr. Kiefer gez.

## Einige Zahlen vom Bodensee

*Geographischer Mittelpunkt* des Bodensees ist der Schnittpunkt des Längengrades  $9^{\circ} 18'$  ö. v. Gr. mit dem Breitenkreis  $47^{\circ} 39'$  n. Br.

### Meereshöhe bei Mittelwasser:

Obersee 395,00 m über Normal-Null  
 Untersee 394,70 m über Normal-Null

### Oberfläche bei Mittelwasser:

Überlinger See	61 km <sup>2</sup>
Konstanzer Bucht	5 km <sup>2</sup>
übriger Obersee	410 km <sup>2</sup>
Obersee insgesamt	476 km <sup>2</sup>
Zeller See mit Ermatinger Becken	31,5 km <sup>2</sup>
Gnadensee mit Markelfinger Winkel	13,5 km <sup>2</sup>
Rheinsee	14 km <sup>2</sup>
Insel Reichenau	4 km <sup>2</sup>
Untersee insgesamt	63 km <sup>2</sup>
Bodensee	539 km <sup>2</sup>

### Tiefe:

Obersee im engeren Sinne	252 m
Überlinger See	147 m
Konstanzer Bucht	50 m
Rheinsee	46 m
Zeller See	26 m
Gnadensee	22 m

### Mittlere Tiefe:

Obersee insgesamt	100 m
Untersee insgesamt	28 m
Bodensee insgesamt	92 m
Bodenfläche unterhalb 250 m: etwa über	4 km <sup>2</sup>
Bodenfläche unterhalb 200 m: rund	52 km <sup>2</sup>

### Rauminhalt:

Obersee	47,6 km <sup>3</sup>
Untersee	1,76 km <sup>3</sup>
Bodensee	49,4 km <sup>3</sup>

### Länge der Ufer:

Obersee mit Seerhein	175 km
Untersee mit Insel Reichenau	90 km
Bodensee	265 km

*Uferentwicklung* (= Verhältnis des Umfangs des dem See flächengleichen Kreises zur Uferlänge des Sees):

Formel:

$$U = \frac{L}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot F}}$$

U = Uferentwicklung  
 L = Uferlänge des Sees  
 F = Fläche des Sees

$$U_{\text{Obersee}} = 2,25 \quad U_{\text{Untersee}} = 3,2$$

### Länge des Seerheins:

zwischen geschlossenen Ufern = 4 km  
 einschließlich sublakustrer Rinne = 7 km

### Inseln:

Inseln:	Umfang etwa	Fläche
Lindau	3 km	0,41 km <sup>2</sup>
Mainau	3 km	0,44 km <sup>2</sup>
Konstanzer Insel		0,018 km <sup>2</sup>
Reichenau	12,5 km	4,02 km <sup>2</sup>

### Zuflüsse: Mittlere jährliche Wasserführung M

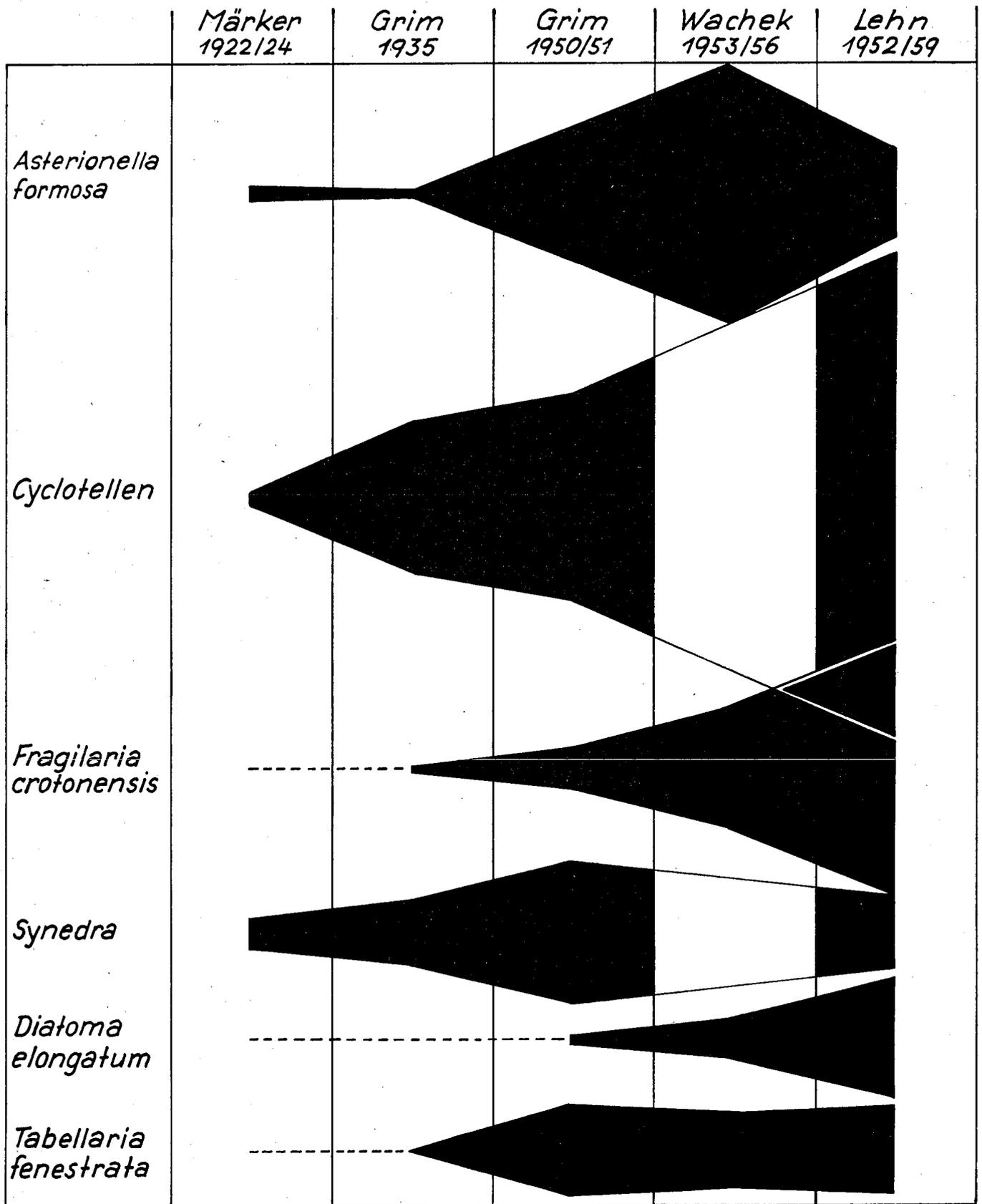
Alpenrhein	227,00 m <sup>3</sup> /sec
Dornbirner Ach	3,05 m <sup>3</sup> /sec
Bregenzner Ach	48,80 m <sup>3</sup> /sec
Argen	17,45 m <sup>3</sup> /sec
Schussen	9,00 m <sup>3</sup> /sec
Rotach	1,60 m <sup>3</sup> /sec
Seefelder Aach	2,86 m <sup>3</sup> /sec
Stockacher Aach	1,76 m <sup>3</sup> /sec
Radolfzeller Aach	9,76 m <sup>3</sup> /sec

Einzugsgebiet: Alpenrhein etwa 6560 km<sup>2</sup>

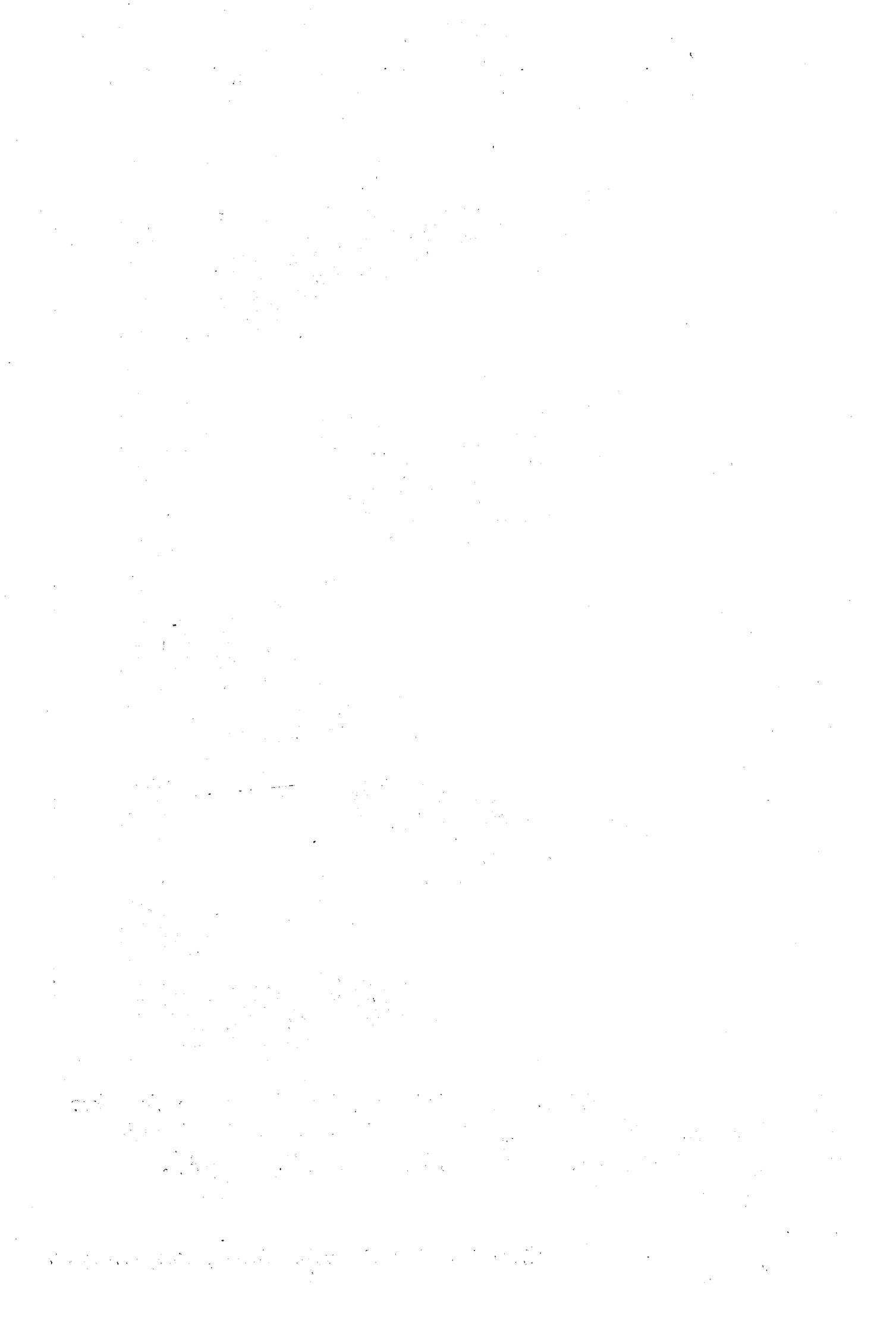
übrige Zuflüsse 4340 km<sup>2</sup>



Abbildung 3

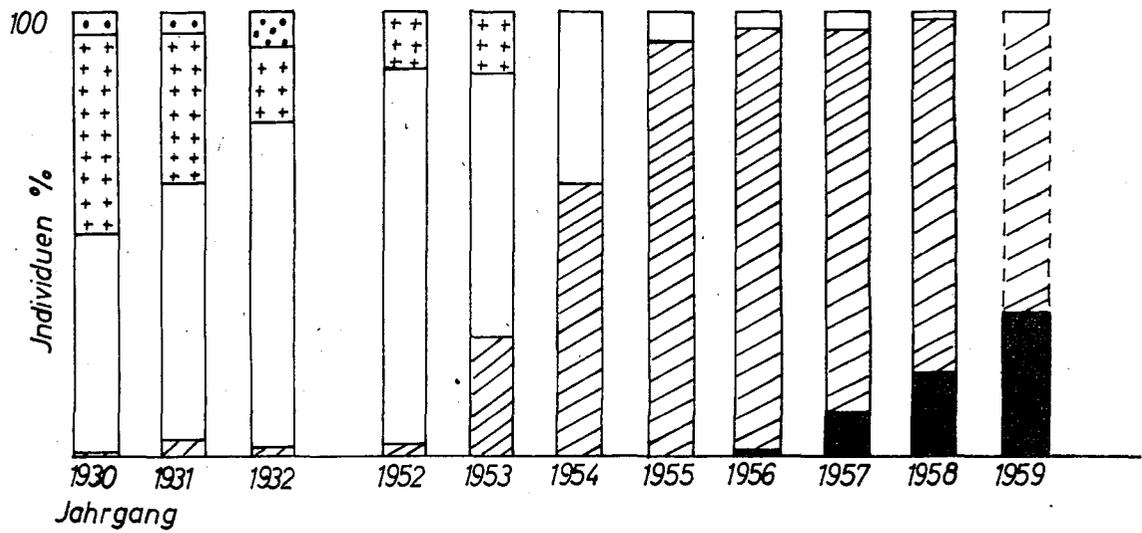


Entwicklung der Dichtewerte einiger Planktophyten in den Jahren 1920 - 1959 (aus der Reihe fallende Werte wurden, in der Darstellung nicht berücksichtigt).



# Abbildung 4

- ◻ gefangen nach 5 Jahren
- + " " 4 "
- ◻ " " 3 "
- ▨ " " 2 "
- " " 1 "



Durch schnelleres Wachstum bedingte Altersklassenverschiebung bei den gefangenen Blaufelchen

