

<b>Zeitschrift:</b>	Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerische Vereinigung für Landesplanung
<b>Band:</b>	17 (1960)
<b>Heft:</b>	3
<b>Artikel:</b>	Was wissen wir schon über den Zustand und die neuere Entwicklung des Bodensees, und was muss noch untersucht werden?
<b>Autor:</b>	Nümann, W.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-782745">https://doi.org/10.5169/seals-782745</a>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

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

# Was wissen wir schon über den Zustand und die neuere Entwicklung des Bodensees, und was muss noch untersucht werden?

Von Dr. W. Nümann, Direktor des Seenforschungsinstitutes Langenargen

## I.

Die Untersuchungsergebnisse aus der Vorkriegszeit lassen sich von denen der Nachkriegszeit deswegen trennen, weil rein äusserlich schon während des Zweiten Weltkrieges die Forschungen unterbrochen wurden, dann aber auch deswegen, weil die Untersuchungen vor dem Kriege mehr oder weniger noch das Bild des natürlichen oligotrophen Sees zeigten. Später aber traten laufend durch Menschenhand bedingte Veränderungen im Zustand und Haushalt des Sees ein.

Ein kurzer Ueberblick möge die wichtigsten Untersuchungsergebnisse über den natürlichen Zustand des Sees geben, auf die wir zur Beurteilung der Veränderungen zurückgreifen müssen. Die Arbeiten von Auerbach, Märker und Schmalz sowie von Elster und Einsele lassen den oligotrophen Charakter des Sees schon an dem sommerlichen Schichtungsbild erkennen, das keine ausgesprochene Deckschicht (Epilimnion) mit einer scharfen Sprungschicht (Metallimnion) aufweist, wie im natürlichen eutrophen See. Trotzdem besitzt der Bodensee im Sommer natürlich in einer warmen Deckschicht von 20—30 m und einer viel grösseren Tiefenschicht zwei fast völlig getrennte Räume mit weitgehend eigenem Haushalt. Nur im Winter finden bei  $4^{\circ}$  und Homothermie eine Durchmischung und ein Ausgleich aller vorhandenen Substanzen statt. Walzen mit horizontaler Achse bedingen zeitweise eine Anhäufung warmen Oberflächenwassers an einem Ufer und das Aufsteigen kälterer Tiefenwasser am gegenüberliegenden. Wirbel mit senkrechter Achse bilden mehr oder weniger konstante Kreisströme mit wärmerem Wasser an der Peripherie der Kreise. Der Rhein fliesst mit seinen riesigen Wassermassen, zeitweise wie in einem Flussbett, an der Oberfläche oder wie in einem Rohr in der Tiefe, die seine eigenen Temperaturen aufweist, jedoch allgemein nicht tiefer als 20 bis 25 m (Auerbach und Mitarbeiter, Nümann). Der Rhein beeinflusst den Haushalt des Bodensees wesentlich. Wichtig ist die Feststellung, dass allgemein auch die übrigen Flüsse sich in gleicher Weise, also in Epilimnion einschichten und dass das bei Konstanz abfliessende Wasser aus der 5—10-m-Schicht stammt. Schmalz berechnete, dass bis zum Spätsommer 40 % des Rheinwassers bei Konstanz den See bereits wieder verlässt. Ueberhaupt fliesst von Mai bis Oktober so viel Wasser aus dem See, wie die 20 m dicke Deckschicht ausmacht. Seisches, d. h. interne, an der Oberfläche nicht erkennbare stehende Wellen untersuchte Elster. Sie können Schwingungen von 20 m Höhe ausmachen und erklären, aus welchem Grunde Oberflächenwasser gelegentlich scheinbar in das Hypolimnion vordringen kann (Lehn und Beobachtungen im Wasserwerk Lindau).

Die für den biologischen Haushalt wichtigen Bau steine C, B, N und O wurden von Elster und Einsele in der Vorkriegszeit untersucht. Der Kohlenstoff ist als freie Kohlensäure und in Bicarbonat immer reichlich vorhanden. Eine Abnahme im Sommer ist mehr auf Verdünnung mit Rheinwasser und nicht so sehr auf eine biogene Entkalkung zurückzuführen. Im Sauerstoffhaushalt hat sich nach den Feststellungen von Schmalz 1923 und Elster und Einsele 1935 seit den ersten Untersuchungen von Hoppe-Seyler 1895 nichts verändert, so dass allem Anschein nach der kurz vor dem letzten Krieg gefundene Zustand schon seit langem unverändert herrschte. Bis zu dieser Zeit war das Wasser auch nach der Vollzirkulation im Frühjahr hundertprozentig mit  $O_2$  gesättigt. Während der Stagnationsperiode ergab sich damals maximal in der Sprungsicht und über Grund ein Defizit von 22 %, das auf die Mineralisation der eigenproduzierten organischen Substanz zurückzuführen ist. Der Bodensee verhielt sich also wie ein typisch oligotropher See. Im Untersee kam es allerdings auch damals schon an gewissen Stellen zu einem hundertprozentigen Defizit und zur  $H_2S$ -Bildung.

Eine der wichtigsten Feststellungen aus jener Zeit ist, dass gelöste anorganische Phosphate im freien Wasser nie und über Grund nur viermal in Spuren nachgewiesen wurden. P war also der produktionsbeschränkende Minimumstoff. Das im Plankton gebundene P machte  $1,5 \text{ mg/m}^3$  P aus. Im Untersee wurden immer 1—2 mg, bei  $O_2$ -Schwund sogar bis 170 mg vorgefunden. — Stickstoffverbindungen waren in reichlichen Mengen vorhanden, wenn auch Ammonium mit 20 bis 40 mg an der Nachweisbarkeitsgrenze lag. Nitrate hatten allgemein Konzentrationen von rund 600 mg. Das Absinken der Nitratwerte im Epilimnion während des Sommers um 75 % ist weniger auf Assimilation als vielmehr auf Verdünnung mit nitratarmem Rheinwasser zurückzuführen. Stickstoff war also seit jeher kein Minimumstoff.

Ueber die verschiedenen Arten des pflanzlichen Planktons, über ihr räumliches und jahreszeitliches Auftreten liegen schon Untersuchungen von Hofer sowie von Schröter und Kircher aus dem vorigen Jahrhundert vor. Dann folgten in den zwanziger und dreissiger Jahren auch quantitative Arbeiten von Auerbach und Mitarbeiter, Elster und Gessner und Grim. Letzterer konnte den Bodensee auf Grund einer kleinen Kieselalge noch als oligotrophen Cyclotellensee bezeichnen.

Sehr wichtig für die Beurteilung des Zustandes ist die Arbeit Lundbecks über die Besiedlung des Bodens. Bodentiere charakterisieren in quantitativer und qualitativer Hinsicht die Güte eines Wassers. Lundbek kam 1936 selbst bei einer weiteren Aufteil-

lung der Oligotrophie in zwei Gruppen zum Schluss, dass der Bodensee-Obersee als einziger von allen Alpenrandseen zur ersten, reinsten, oligotrophen Klasse gehöre. Der Ueberlinger Seeteil galt bei ihm zwar noch als oligotroph, aber als Uebergangstyp zur Mesotrophie! Der Untersee gehörte auf Grund seiner Bodenfauna schon damals zum eutrophen, wenn auch mässig eutrophen Seetyp.

## II.

Da primär wohl chemische oder physikalische Veränderungen als Ursache für biologische Veränderungen gelten müssen und nicht umgekehrt, wäre es logisch, mit diesen zu beginnen. Es zeigt sich nun aber, dass selbst unsere feinsten chemischen Methoden viel später Veränderungen anzeigen, als die Organismen selbst. Daher sei in der Betrachtung lieber historisch vorgegangen und mit den biologischen Veränderungen begonnen.

Anschliessen möchten wir uns den kritischen Be trachtungen Grims (1955): Die qualitativen Veränderungen sind zwar schlechthin durch Eingriffe des Menschen bedingt und deuten eine unerwünschte Entwicklungstendenz an, wir wissen aber im einzelnen über die direkten Beziehungen und Ursachen meist sehr wenig. In diesem Sinne müssen wir das Auftreten neuer Formen im pflanzlichen Plankton oder das Vordringen anderer Formen aus dem eutrophen Ufergebiet oder aus dem Untersee in die Mitte des Obersees bewerten. Weit besser lassen die quantitativen Veränderungen des pflanzlichen Planktons eine künstliche Eutrophierung erkennen. Eine bildliche Darstellung zeigt hier mehr als alle Worte. Anzeichen für diese Veränderungen konstatierte Grim schon 1935. Erwähnt sei, dass Auerbach, Märker und Schmalz als grösste Dichte von Algen 440 000/l fanden und dieses fast für unglaublich hielten. Dieselbe Form stieg 1950 auf das Sechsfache und eine früher seltene Cyclorella nach Lehn (1950) sogar auf 9 Mio/l. Betont sei, dass diese Veränderungen nicht die Uferregion, sondern den freien See betreffen. Im ganzen mag die organische Produktion um das Zwanzigfache zugenommen haben. Wasser- und Vegetationsblüten, die definitionsgemäss den eutrophen See charakterisieren, wurden von Grim und Muckle im vorigen Jahr monateng lang beobachtet.

Seit Hofer (1896) hatten die fortlaufenden Untersuchungen bis 1925 keine artenmässige Verschiebung im Zooplankton feststellen können. Heute sind nach Muckle und Kiefer zu den vor 100 Jahren bekannten neun Arten fünf hinzugekommen. Gleich einer Kettenreaktion wirkt sich dieses nun wiederum als grösseres Nahrungsangebot für die Fische aus. Nach Kriegsmann und Nümann sind die jährlichen Felchenfänge seit 1910—1915 von durchschnittlich gut 100 000 kg heute auf gut 700 000 kg mit Spitzenleistungen von über 800 000 kg angestiegen. Die Felchen erreichen in weniger als zwei Jahren die Grösse, die sie früher in drei Jahren erlangten. Die hiemit verbundene Frühreife ist eines der grössten Probleme in der Fischerei.

Ein Wechsel in der Vergesellschaftung mit relativem Vordringen minderwertiger Weissfische wies Kriegsmann nach. Friedfische und Barsche dringen aus der Uferregion ins Pelagial vor.

Am Seeboden liessen Bohrprofile von Züllig 1956 erkennen, dass Pigmentstoffe der Organismen in den letzten zehn Jahren um das Zwanzigfache angestiegen sind. In gleichem Sinne stieg die Menge an Schalen von Kieselalgen, Silikat und Phosphat im Sediment an. Die biogene Entkalkung als Maßstab der organischen Produktion liess eine Zunahme an Ca-Ablagerung von 10 mg/Jahr erkennen.

Die Bodenfauna hat nach Wachek (1958) seit Lundbecks Untersuchungen (1936) um das zehnfache zugenommen. Während der westliche Obersee und der Ueberlingersee heute günstiger als der eigentliche Obersee gestellt sind, lagen die Verhältnisse zu Lundbecks Zeiten noch umgekehrt.

Chemische Veränderungen als Ursachen für die gewaltige biologische Umstellung konnten erst nach 1950 nachgewiesen werden. Der bisher als Bremse in der Produktion organischer Substanzen und als Minimumstoff wirkende Phosphor wurde zunächst mit 2 bis 3 mg/m<sup>3</sup> in anorganischen gelösten Verbindungen bestimmt. Fast fand später 3 bis 4 mg und Kliffmüller zur Zirkulationszeit 1958 8 mg und 1959 9 mg.

Auch im Sommer wurden in der Produktionszone fast immer gut nachweisbare Mengen festgestellt. *Die Bedeutung von P als produktionsbeschränkender Faktor hat also aufgehört!* Ein Anstieg des Ammoniums von 40 auf 100 mg, vielleicht auch ein entsprechender bei den Nitraten ist bedeutungslos, da Stickstoff immer im Überschuss vorhanden war. Weitere chemische Veränderungen als Ursache für die biologischen Umstände sind noch nicht nachgewiesen. Wohl aber hat die vermehrte Produktion an organischer Substanz sich sekundär wieder auf den Chemismus ausgewirkt. Weniger bedeutungsvoll ist die häufigere Übersättigung des Epilimnions mit O<sub>2</sub> infolge stärkerer Assimilationstätigkeit der Organismen. Schwerwiegender wird jedoch das ständig zunehmende O<sub>2</sub>-Defizit in der Sprungschicht und über Grund. Hatten Auerbach und Märker als maximales Defizit über Grund 1924 22 % gefunden, so konstatierte Grim heute schon ein Defizit von 50 % in der Sprungschicht. Früher regenerierte der See sein natürliches Defizit während der Vollzirkulationszeit hundertprozentig. Heute wird das neue Jahr mit einem zehnprozentigen Defizit von Oberfläche bis Grund begonnen (Muckle, Wachek). *Die jährliche Ueberlagerung dieser Defizite birgt eine unübersehbare Gefahr in sich, die plötzlich zu einer Katastrophe führen könnte.*

Der Untersee ist in allem schon einen Schritt weiter. Völliges O<sub>2</sub>-Defizit, H<sub>2</sub>S-Bildung, Fischsterben haben sich schon an einzelnen Stellen gezeigt.

## III.

Die Veränderungen im See können nur äussere Ursachen haben, sie müssen von der Uferregion, speziell von den Zuflüssen kommen. Das zeigen die Güte-

karte Wacheks und die Untersuchungen von Ritzi und Vogel, die die schlechtesten und am stärksten veränderten Zonen vor den Flussmündungen, Städten und in flachen Buchten feststellten. Wetzel konnte auf Grund eigener Untersuchungen aus den Jahren 1926 und 1950 an der Schussen vergleichend nachweisen, dass dieser Fluss bei einem Sapropiensystem von vier Klassen um eine ganze Klasse auf die unterste gesunken ist. Der O<sub>2</sub>-Gehalt fiel von 9 mg auf 0,1 mg/l. Wachek stellte ein Gütebild auch für die Mündungen der 16 Hauptzuflüsse des Sees auf. Die Bakterienzahl beträgt nach Fast und nach unveröffentlichten Untersuchungen von Deufel in der Seemitte selten 100/cm<sup>3</sup>, vor Flussmündungen aber 10 000/cm<sup>3</sup>. Coliforme Bakterien gibt es selten 2 bis 3/100 cm<sup>3</sup> in der Seemitte, vor den Flussmündungen aber bis zu 10 000/100 cm<sup>3</sup>.

Kliffmüller untersuchte 1958/59 an 22 Untersuchungsserien unter Berücksichtigung der Wasserführung die Gesamtbelastung an Schmutz-, Dünge- und Giftstoffen des Bodensees, die ihm durch 16 Zuflüsse zuteil werden, und zog eine Bilanz zu den Mengen, die abfliessen. An organischer Substanz wird dem See eine Belastung zugeführt, die als BSB<sup>2</sup> ausgedrückt 450 g/s O<sub>2</sub> entspricht. Da der See aber schon eine grosse Eigenbelastung hat, beträgt der Zusatz-BSB-Wert effektiv 95 mg/s. Der Rhein mit seiner absolut höchsten Fracht an organischer Substanz wirkt hierbei wegen seiner stärkeren Wasserführung trotzdem für den See verdünnend. Alle Flüsse zusammen belasten den See mit einem BSB-Wert von 4800 t jährlich. Wenn aber im Hypolimnion jährlich mindestens schon 100 000 t O<sub>2</sub> gezeehrt werden, so ist die Eigenproduktion an organischer Substanz im gesamten See also schädlicher als die Zufuhr vom Lande her, wenn diese sich natürlich in den Ufergebieten auch verheerend auswirkt.

Die Gesamtstickstoffbilanz zeigt eine Jahreszufuhr von 9500 t und einen Abfluss von 8400 t. Ob eine wirkliche Anreicherung stattfindet oder ob Denitrifikationsvorgänge eine Rolle spielen, kann nicht gesagt werden.

Die wichtigste Feststellung ist wohl die, dass die Flüsse allein dem See schon 1800 t jährlich Gesamt-P zuführen, aber nur 700 t bei Konstanz abfliessen. Die Anreicherung wird damit erklärt, dass im Sommer das meiste zugeführte P an der warmen Oberfläche bleibt und dann meistens bei Konstanz abfliesst, im Winter hingegen bei der Durchmischung eine Anreicherung in der Tiefe stattfindet, während wiederum nur das Oberflächenwasser den See verlässt. Tatsächlich sind deswegen auch die Konzentrationen im Seerhein trotz stärkerer Wasserführung im Sommer höher als im Winter bei schwacher. Dasselbe gilt auch für andere Stoffe, z. B. beträgt die Zufuhr von Salzen 41 000 t Cl und der Abfluss nur 36 400 t. *Wir glauben daher, dass die Zufuhr und Speicherung von P hauptsächlich die Umstellung des Sees verursacht hat.*

Bei der Verschmutzung des Sees durch Oele und mit schädlicher Begleitproduktion haben wir nach

Kliffmüller eine Zufuhr von 59 t Phenolen bei einem Abfluss von 56 t. Wir sind uns aber bewusst, dass hierin auch andere Substanzen, die sich analytisch wie Phenole verhalten, inbegriffen sind.

#### IV.

An sich zeigen die bisherigen Untersuchungen gewaltige Veränderungen und die Entwicklungstendenz, aber auch die für die Praxis wichtigen Angriffspunkte zur Verhütung weiterer Schäden. Trotzdem ist eine fortgesetzte Ueberwachung des Sees, insbesondere des O<sub>2</sub>- und P-Gehaltes selbstverständlich notwendig. Sämtliche Zuflüsse müssen systematisch so untersucht werden, wie Schussen und Argen bereits durch das Institut von Prof. Pöpel und uns. Da wir die P-Zufuhr und -Anreicherung als Hauptursache für die Veränderungen ansprechen, muss noch festgestellt werden, welche Mengen auf das Konto der häuslichen, der industriellen Abwässer, insbesondere P-haltiger Detergentien, und der Landwirtschaft zu setzen sind. Trotz der Feststellung, dass die vermehrte P-Zufuhr und -Speicherung die notwendige Voraussetzung für die Veränderungen im See war, wissen wir noch nicht, ob sie auch eine hinreichende Voraussetzung ist. Es ist unbekannt, wie weit Spurenelemente und Wirkstoffe aus den Zuflüssen als Auslöser zusätzlich erforderlich sind. Das sind Probleme, deren Lösung für die Praxis einmal ungeheuer wichtig sein könnte. Urochrome und Fluor wurden schon unter einem andern Gesichtswinkel untersucht. Weiter müssen die Untersuchungen über Phenole, wie sie Prof. Holluta plant, über Detergentien oder über cancerogene Stoffe, die Prof. Knorr am See untersuchen will, durchgeführt werden. Damit wir nicht von den radioaktiven Stoffen überrannt werden, wie jetzt von den Abwässern, ist die schon eingeleitete Ueberwachung zu vertiefen.

Sodann wartet noch eine Reihe von Untersuchungen, die uns auch ins Laboratorium zur experimentellen Forschung führt. Wir kennen zwar global die Wirkung der Abwässer, wie sich aber bestimmte Faktoren auf die artenmässige Zusammensetzung der Organismen auswirken, und welche Organismen nun wieder ganz bestimmte Rückschlüsse auf den Chemismus zulassen, ist im Grunde sehr wenig bekannt. Das gilt für das Phytoplankton, wie Grim 1955 schon äusserte, das gilt ebenso für das Zooplankton und die Bodentiere, wenn wir sie als Testobjekte einspannen.

In kürzester Form ist hier ganz nüchtern ohne Dramatisierung ein Auszug aus dem bisher vorliegenden Datenmaterial vorgeführt, das den natürlichen Zustand und die gewaltigen Veränderungen des Bodensees inklusive seiner freien Wasserfläche zeigt. Die drohenden Gefahren kann sich jeder selbst ableiten. Betonen möchte ich abschliessend, dass der See sich unter diesen Umständen keine weiteren Gefahrenquellen mehr leisten kann. Die erste und wichtigste Aufgabe für den See ist, die Entwicklung möglichst bald zu stoppen oder gar wieder rückgängig zu machen.