

# Zum Stoffhaushalt des Bodensees

Autor(en): **Müller, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK =  
Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **87 (1989)**

Heft 1: **Lebensraum Bodensee = L'espace vital du lac de Constance**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-234018>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

mit dem Europadiplom und intensiv betreut von den Leuten des Naturschutzentrums des Deutschen Bundes für Vogelschutz. Das Gebiet wird dem interessierten Naturfreund dank zahlreicher Führungen durch Fachleute gut erschlossen. Bekannte Vogelreservate sind auch auf der schilfbewachsenen Halbinsel Mettnau zwischen dem Gnadensee und dem Zellersee und im Mündungsbereich der Seefelder Aach zu finden. Berühmt sind ausserdem das Naturschutzgebiet «Rheinspitz» am oberen Ende des Bodensees sowie das Pendant dazu auf Schweizer Seite, das Reservat «Alten Rhein».

Der Pflanzenfreund wird sowohl in den Streuwiesen, die praktisch alle unter Schutz stehen, wie auch in den Trockenrasen der Steilhänge (z.B. am Überlinger See) oder in den tiefeingeschnittenen Schluchten (z.B. Hödinger Tobel) viele Entdeckungen machen können. Im Interesse der Flora des Bodenseeraumes ist allerdings zu hoffen, dass er nicht ein «so genannter Pflanzenfreund» ist, der seltene Arten lieber im eigenen Herbarium oder im Garten sieht als am Wuchsort.

Von grossem wissenschaftlichen Interesse sind die Strandrasen (Abb. 2) am Bodensee, die einst an wellenschlagexponierten Kiesufern bei grosser Nährstoffarmut und temporärer Überflutung anzutref-

fen waren. Heute sind diese Strandrasen mit den lückig stehenden, niederwüchsigsten Spezialisten (einige wurden im vorherigen Kapitel als ausgestorben oder höchst bedroht bezeichnet) fast ganz verschwunden, überdünnt von Schwemmgut (Algenwatten) und von nährstoffbedürftigeren Arten überwuchert (Abb. 3).

Es wird eine der vornehmsten Aufgaben der Naturschutzbestrebungen am Bodensee sein, diese Strandlingsgesellschaften mit ihren Bodenseearten vor dem endgültigen Untergang zu retten. Dazu sind nicht nur die Pflegemassnahmen einiger naturbegeisterter Freizeitidealistinnen und das Verständnis der Seefreunde nötig, sondern es braucht das beherzte Engagement der Politiker. Nur die weitere Reduktion des Phosphorgehaltes des Seewassers und die Einrichtung von speziellen Schutzgebieten kann auf die Dauer die wirksame Massnahme sein.

Sanft gewellte Hügel, bemerkenswert dichtbeieinanderliegende, langgezogene Bergrücken (Drumlins), vermoorte Senken und zahlreiche Kleinseen kennzeichnen die Hügel-Stufe im nördlichen Bodenseegebiet. Ihre typische, reinste Ausprägung mit wärmeliebenden Waldgesellschaften und gut erhaltenen Flach- und Übergangsmooren findet sie im Bereich des Bodanrücks.

So wie es uns ein Anliegen ist, die grosse kulturelle Vielfalt des Bodenseeraumes zu erhalten und zu pflegen, so muss es uns allen auch Verpflichtung sein, die standörtliche Vielfalt zu erhalten und, wo sie verloren ging, so gut wie möglich wieder herzustellen. Dann wird dieser Raum auch weiterhin eine Heimat für ein vielfältiges Leben sein und auch für den Menschen erlebnisreich und lebenswert bleiben.

#### Literatur:

Klötzli F., Schläfli A.: Vegetation und Fauna des Festlandes und Naturschutz am Bodensee. In: Der Bodensee in der erhaltenswerten Landschaft, Rorschach 1980.

Lang, G.: Vegetations- und Standortuntersuchungen in der Grenzzone des Bodenseeuferes. Ber. dt. bot. Ges. 75, 366–377, 1962.

Thomas P. et al., Strandrasen des Bodensees. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg 62, 325–346, 1987.

#### Adresse des Verfassers:

August Schläfli, Dr. rer. nat.

Leiter Naturmuseum des Kantons Thurgau  
CH-8500 Frauenfeld

---

## Zum Stoffhaushalt des Bodensees

H. Müller

**Der Bodensee gilt zur Recht als einer der bestuntersuchten Seen. Seine Erforschung hat eine lange Geschichte. Schon 1886 trat auf Veranlassung des damaligen württembergischen Ministerpräsidenten von Mittnacht eine internationale wissenschaftliche Kommission in Friedrichshafen zusammen und entwarf ein Programm zur physikalisch-geographischen und biologischen Untersuchung des Sees. Dies war der Auslöser für viele grundlegende Arbeiten über die Natur des Sees und die darin ablaufenden physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse.**

***Il est exacte de dire que le lac de Constance est l'un des lacs le mieux analysés. Ses recherches ont une longue histoire. Déjà en 1886, sur l'initiative du ministre-président du Wurtemberg, von Mittnacht, une commission internationale scientifique a été réunie à Friedrichshafen, elle a ébauché un programme sur une recherche physico-géographique et biologique du lac. Ainsi a été déclanchée une série de travaux fondamentaux sur la nature du lac et du déroulement des processus physiques, chimiques et biologiques.***

Mit der Erforschung des Sees eng verbunden ist das Institut für Seenforschung und Fischereiwesen (ISF), das bereits 1920 durch einen heute noch bestehenden Verein der Freunde als Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung gegründet wurde. Es entwickelte sich – zusammen mit der 1919 ins Leben gerufenen Anstalt für Bodenseeforschung der Stadt Konstanz – zu einem Schwerpunkt der limnologischen und fischereibiologischen Forschung im wissenschaftlichen Raum. Nach einer wechselvollen Geschichte wurde es 1975, als in Baden-Württemberg die Landesanstalt für Umweltschutz als Beratungsstelle der Landesregierung in Umweltfragen gegründet wurde, als Abteilung 5 in diese Anstalt eingegliedert.

Schon immer wurde im ISF besonderer Wert darauf gelegt, die aus wissenschaftlicher Grundlagenarbeit gewonnenen Erkenntnisse im Bereich der Seenkunde zur Lösung anwendungsbezogener Fragen

einzusetzen, nicht zuletzt auch auf fischereichem Gebiet. So nimmt es nicht wunder, dass das Institut von der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes Baden-Württemberg immer stärker in die Beurteilung limnologischer und fischereibiologischer Fragestellungen einbezogen wurde und auf diesem Weg Grundlagen zur Entscheidung über Art und Umfang von Reinhaltmassnahmen lieferte. Seit bald drei Jahrzehnten fliessen auch wesentliche Teile der Institutsarbeit in die Zusammenarbeit rund um den See in der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) ein, wo es um Fragen des Seezustandes und der Gesunderhaltung des Sees geht.

Im Zentrum stehen dabei Arbeiten zum Stoffhaushalt des Sees, denn ohne eine Grundkenntnis der vielfältigen stofflichen Zusammenhänge zwischen dem See und seinem Einzugsgebiet einerseits und zwischen den verschiedenen im See ablaufenden Prozessen andererseits ist eine zielgerichtete Seesanie rung nicht möglich. Im folgenden werden einige wichtige Aspekte des Stoffhaushalts des Bodensees geschildert, die wesentlich auch im ISF bearbeitet wurden [1].

## Die Stoffzufuhr zum See

Der See lebt überwiegend von dem, was ihm von aussen zugeführt wird. Er ist ein natürliches Sammelbecken für die aus dem grossen Einzugsgebiet von rund 11 000 km<sup>2</sup> zugeführten Stoffe. Auch über die Atmosphäre werden Stoffe eingetragen. Entscheidend sind aber die über die Zuflüsse kommenden Feststoffe und die im Zuflusswasser gelösten Substanzen. Für das Zustandsbild des Sees besonders wichtig sind diejenigen Komponenten, welche das pflanzliche Wachstum fördern. Hier sind vor allem die Düngestoffe zu nennen, welche gelöst oder an Schwebstoffe angelagert den See erreichen. Eine Schlüsselrolle spielt dabei der Phosphor, da er als Minimumstoff ein wichtiger Regulator des Algenwachstums ist.

Die grössten Stoffzufuhren kommen über die beiden bedeutendsten Zuflüsse, den Alpenrhein und die Bregenzerach in den See. Sie liefern aus ihrem alpinen Einzugsgebiet rund zwei Drittel der gesamten eingetragenen Feststoffe. Die Frachten aller mitgeführten Stoffe schwanken allerdings über die Jahreszeiten und auch von Jahr zu Jahr abflussabhängig sehr stark. Maxima treten in Hochwasserperioden auf. So kann z.B. aus der Wasserführung des Alpenrheins bei dem extremen Hochwasser vom 18. bis 20. Juli 1987 abgeschätzt werden, dass damals bereits am ersten Tag zwischen 1 und 2 Millionen Tonnen Schwebstoffe (d.h. der feineren Fraktion der Feststoffe) in den See gelangten. Die Summe beider Tage entsprach etwa

der Hälfte des Eintrags an Schwebstoffen in einem mittleren Abflussjahr.

Eine genaue Bilanz der Zufuhr fester und gelöster Stoffe ist zur Beurteilung der im See stattfindenden Stoffumsätze und der Entwicklung des Seezustandes wesentlich wichtig. Dies setzt eine genaue Kenntnis der Wasserbilanz und damit auch des derzeitigen Seevolumens voraus. Hier zeigt sich bereits der Stellenwert der neuen Tiefenvermessung des Sees für weiterführende Untersuchungen.

Regelmässige Stoffbilanzierungen mit Hilfe zuverlässiger Mess- und Registrierungseinrichtungen an den Zuflüssen und zahlreicher chemischer Laboranalysen wurden in den letzten Jahrzehnten durchgeführt. Mit Hilfe eines mathematischen Modells ergab sich daraus z.B. für den Eintrag von Abwasserphosphat als wichtigster Ursache für das in den vergangenen Jahren übermässige Algenwachstum im See ein Gesamteintrag wie folgt:

Anfang der dreissiger Jahre	rund 300 t P
Anfang der vierziger Jahre	rund 350 t P
Mitte der fünfziger Jahre	rund 500 t P
Mitte der sechziger Jahre	rund 1000 t P
Im Jahre 1972	rund 1400 t P
Im Jahre 1980	rund 1100 t P

Eine 1985/86 für die IGKB durchgeführte neue Zuflussbilanzierung ist noch in Arbeit, zeigt jedoch jetzt schon eine erhebliche Abnahme des zugeführten Phosphors seit 1980 [2, 3].

## Stoffumsatz im See

Seen, insbesondere grosse wie der Bodensee, sind in ihren Teilen sehr vielgestaltig. Dies trifft auch auf Art und Umfang der Stoffumsätze in den verschiedenen Seeteilen zu. Beim Bodensee muss man im wesentlichen unterscheiden zwischen den Bereichen von Freiwasser, Seeboden und Flachwasserzone.

Das **Freiwasser** als Gesamtheit des uferfernen – beim Obersee mit Tiefen bis 252 m auch recht tiefen – Wasserkörpers ist der Lebensraum meist mikroskopisch kleiner Schweborganismen (Plankton) und mehrerer Fischarten. Hier spielen sich die quantitativ wichtigsten chemischen und biologischen Umsatzprozesse ab. Auf der Grundlage der dem See zugeführten Pflanzennährstoffe mit Phosphor als entscheidender Komponente wachsen hier in der obersten, lichtdurchfluteten Wasserschicht in jahreszeitlich stark wechselnder Menge die Schwebalgen (Phytoplankton). Sie liefern die Grundlage für die Existenz zahlreicher weiterer Organismenarten des Sees, die über ein vielmaschiges Nahrungsnetzwerk miteinander in Beziehung stehen. So werden z.B. Planktonalgen von Wasserflöhen als Konsumenten gefressen, die ihrerseits räuberischen Planktonformen und verschiedenen Fischarten, beispielsweise dem Felchen,

als Nahrung dienen. Alle diese Organismen leben von der durch die Planktonalgen eingefangenen Sonnenenergie und bauen dabei die gefressene organische Substanz ganz oder teilweise wieder ab. So werden die von den Algen in ihrer Körpersubstanz eingebauten Stoffe zu einem Teil wieder freigesetzt und in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Der andere Teil sinkt mit den Organismenresten in grössere Wassertiefen und schliesslich zum Seeboden ab. Dabei erfolgt ein weiterer Abbau durch Bakterien und andere Mikroorganismen unter Sauerstoffverbrauch. Die in die Tiefe transportierten Stoffe sind damit dem Nährstoffkreislauf vorläufig entzogen.

Die von den Planktonalgen produzierten Stoffmengen sind ungeheuer gross:

Aus umfangreichen Untersuchungen der Algenproduktion, die in den letzten Jahren beim ISF durchgeführt wurden, lässt sich errechnen, dass im Bodensee – Obersee grössenordnungsmässig jährlich um die 2 Millionen Tonnen Planktonalgen entstanden sind, berechnet als Frischgewicht.

Obwohl der überwiegende Teil dieser Algenmassen bereits in den obersten, sauerstoffreichen Wasserschichten wieder abgebaut wird, genügt der in grössere Tiefen absinkende Rest, um dort eine erhebliche Sauerstoffzehrung zu bewirken. Die Mengen an Sinkstoffen konnte mit Hilfe von im See ausgesetzten Sedimentfallen genauer bestimmt werden. In der Zeit stärkerer Phosphorbelastung des Sees sanken die Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe auf Werte, die nur noch ca. 20% der Sauerstoffsättigung entsprachen. Inzwischen hat sich die Sauerstoffsituation am Seegrund in der Folge der Sanierungsmassnahmen wieder deutlich verbessert (vgl. auch Beitrag von J. Zihler).

Am **Seeboden** lagern sich die mit den Zuflüssen zugeführten Schwebstoffe ab. Aus Stoffbilanzen lässt sich ableiten, dass mindestens 90% der in den See gelangenden Schwebstoffe, eher sogar noch mehr, im See verbleiben. Während ihres Absinkens greifen sie in den Stoffhaushalt des Sees ein. So adsorbiert z.B. das Material aus Neuem Rhein und Bregenzerach Phosphat, während Schwebstoffe aus anderen, stärker belasteten Zuflüssen Phosphat abgeben. Im Vergleich zum Gesamtumfang des Phosphathaushaltes scheint jedoch dieser Austausch unbedeutend zu sein [2].

Zu den von aussen zugeführten Schwebstoffen kommen am Seeboden Substanzen, die im See selbst ausgefällt wurden (z.B. Kalkteilchen) und die abgesunkenen Organismenreste. Diese Ablagerungen spiegeln die Vorgänge im Freiwasser und in den Zuflüssen als Gesamtwirkung über längere Zeit hinweg – gleichsam summiert – wider. Aus Sedimentuntersuchungen kann man daher viele Rückschlüsse auf

die bisherige Entwicklung des Sees ziehen.

Sinkstoffe organischen Ursprungs, vor allem aus Abwässern, Abschwemmungen und der organischen Produktion des Sees, werden hier weiter abgebaut. Neben den entscheidend daran beteiligten Mikroorganismen haben auch Bodentiere, vor allem die Schlammröhrenwürmer (Tubificiden) dabei eine wichtige Funktion. Organische Substanz ist für sie Nahrung. So kamen z.B. im gemeinsamen Sedimentationsbereich von Bregenzerrach, Dornbirnerach und Alpenrhein zu Beginn der achtziger Jahre bis über 300 000 Tiere pro m<sup>2</sup> vor. Durch ihre Fress- und Wühltätigkeit verändern sie tiefgreifend die Struktur des Seebodens bis zu einer Sedimenttiefe von 10 bis 13 cm. Dabei tragen sie Sauerstoff aus dem überstehenden Wasser ins Sediment ein und fördern damit auch den aeroben mikrobiellen Abbau organischer Substanz. So dürfte im Bodensee schätzungsweise jährlich mehr als 500 000 m<sup>3</sup> Sedimentmaterial umgearbeitet und in der Sediment-Wasser-Grenzschicht erneut dem Abbau unterworfen werden. Der Seebodenzustand ist daher für den Gesamtzustand des Sees sehr bedeutungsvoll [3, 4]. Es hat sich gezeigt, dass der Seeboden viel stärker gegliedert ist, als man früher annahm. Daraus entstanden in zahlreichen Fällen starke Streuungen in der Qualität von Seebodenproben aus vermeintlich gleichartigen Stellen. Für eine zielgerichtete und reproduzierbare Entnahme solcher Seebodenproben wird daher die neue detaillierte Tiefenvermessung des Sees ebenfalls sehr hilfreich sein.

Die **Flachwasserzone** des Sees umfasst den Bereich vom Ufer bis zur oberen Grenze der Seehalde (Haldenkante). Sie ist ein im Vergleich zum Freiwasserbereich und zum Seeboden äusserst vielgestaltiger und meist kleinräumig gegliederter Lebensraum. Wegen der dort herrschenden besonderen Bedingungen nimmt sie für den Stoffhaushalt des Sees eine Sonderstellung ein. Diese besondere Funktion der Flachwasserzone wurde erst im Zuge der verstärkten Forschungstätigkeit am

See in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr erkannt.

Für den Stoffhaushalt bedeutend sind im wesentlichen zwei Eigenschaften:

Zum ersten reicht das Licht im Gegensatz zu den Verhältnissen in der Freiwasserzone bis zum Seegrund. Dadurch ist eine vergleichsweise höhere und vielfältigere biologische Produktion möglich. Durch vorhandene Aufwuchsorganismen und die starke räumliche Differenzierung ist auch die Palette der beteiligten Lebensformen wesentlich vielfältiger als in den anderen Seebereichen. Dies führt z.B. dazu, dass die Flachwasserzone ein bevorzugtes Laich- und Aufwuchsgebiet für viele Fischarten ist.

Zum zweiten herrschen hier ideale Abbauvoraussetzungen für alle Arten organischer Stoffe. Sie entstehen durch das Zusammenwirken höherer Temperaturen in der warmen Jahreszeit im Vergleich zum Tiefenwasser, oftmals hoher wind- und strömungsbedingter Durchmischung bis in den Seeboden hinein und damit einer hohen Austauschrate von Sauerstoff und anderen Stoffen zwischen Sediment und Wasser und schliesslich einer hohen, auf kleinem Raum vereinten Organismenvielfalt bei hoher Organismendichte [5].

Die Bearbeitung dieser Zone ist jedoch gerade wegen dieser strukturellen Vielfaltigkeit viel schwieriger im Vergleich etwa zum Freiwasserbereich. Auch hier bietet die neue Vermessung eine wertvolle Hilfe, insbesondere im Hinblick auf die in jüngerer Zeit beobachteten verstärkten Erosionserscheinungen und Sedimentumlagerungen.

Abschliessend kann festgestellt werden, dass zwar die wichtigsten Prozesse des Stoffhaushaltes im Bodensee in grossen Zügen bekannt sind. In vielen bedeutsamen Bereichen ist unser Wissen jedoch noch viel zu gering für eine einigermaßen zuverlässige Beurteilung des Gewichtes einzelner Glieder im Gesamtökosystem See. Aus diesem Grund läuft seit einigen Jahren ein Sonderforschungsbereich «Stoffhaushalt des Bodensees» bei der Universität Konstanz, an dem im Rahmen

interdisziplinärer Zusammenarbeit auch das ISF beteiligt ist. Je genauer aber unsere Kenntnisse über die im See ablaufenden Vorgänge werden, umso besser muss auch die Struktur des Seebeckens, das als Teil des Lebensraumes wesentliche Rahmenbedingungen vorgibt, bekannt sein. Nur dann lassen sich auch verbesserte quantifizierende Aussagen treffen. Hier leistet die neue Tiefenvermessung des Sees einen wertvollen Beitrag.

#### Literatur:

- [1] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1985): 60 Jahre Stammhaus des Institutes für Seenforschung und Fischereiwesen in Langenargen am Bodensee.
- [2] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1983): Zweiter Umweltqualitätsbericht Baden-Württemberg 1983.
- [3] Ministerium für Umwelt und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1987): Umweltbericht 1987.
- [4] Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (1981): Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978. – Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 25.
- [5] Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (1987): Zur Bedeutung der Flachwasserzone des Bodensees. – Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 35.

Adresse des Verfassers:  
Dr. Helmut Müller  
Landesanstalt für Umweltschutz  
Baden-Württemberg:  
Institut für Seenforschung und  
Fischereiwesen  
Untere Seestrasse 81  
D-7994 Langenargen