© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Gewässerforschung am Bodensee

Von *Kurt Prandner*, Lindau

Inhalt

1. Der See und seine Zuflüsse
2. Grundvorgänge im Stoffwechselgeschehen des Sees
3. Seenalterung
4. Die biologischen Veränderungen im Bodensee
5. Zur Verölung des Bodensees
6. Der Bodensee als Trinkwasserspeicher
7. Zusammenfassung

1. Der See und seine Zuflüsse

Erst in den letzten Jahren ist der Bevölkerung des Bodenseeraumes und den vielen Gästen, die die Bodenseelandschaft als Erholungsraum schätzen, bewußt geworden, welche Gefahr dem größten deutschen See droht.

Wahrscheinlich haben wir es hauptsächlich der Tatsache, daß der See als Trinkwasserspeicher dient, zu verdanken, daß in letzter Minute Maßnahmen ergriffen worden sind, um den Bodensee zu retten.

Wenn wir auf die Probleme des Bodensees eingehen wollen, müssen wir uns zuerst mit Art und Größe dieses Gewässers und mit seinen Zuflüssen befassen.

Der Bodensee besteht aus dem Obersee und dem Überlinger See mit einer Fläche von zusammen 476 km² und dem Untersee mit einer Fläche von 62 km². Die maximale Tiefe des Obersees beträgt 252 m, die mittlere Tiefe 100 m und der Inhalt 47,6 km³. Der Untersee besitzt eine maximale Tiefe von 46 m, eine mittlere Tiefe von 13 m und einen Inhalt von 1,8 km³. Der Rhein verbindet die beiden Seeteile.

Als typischer Alpenrandsee verdankt der Bodensee seine Entstehung den Eiszeiten und wird als solcher von zahlreichen Flüssen und Bächen gespeist.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Die Mittelwasserführung der wichtigsten Zuflüsse ist aus nachstehender Aufstellung ersichtlich:

Alpenrhein	226 m³/sec
Bregenzer Ach	47,1 m³/sec
Alter Rhein	21,1 m³/sec
Argen	18,6 m³/sec
Schussen	10,5 m/³sec
Dornbirner Ach	8,8 m³/sec
Seefelder Ach	2,8 m³/sec
Leiblach	1,9 m³/sec
Stockacher Ach	1,7 m³/sec
Rotach	1,6 m³/sec
Goldach	0,7 m³/sec
Steinach	0,4 m³/sec
Salmsach	0,3 m³/sec

Zusammen mit noch anderen kleinen Bächen werden dem See aus einem Niederschlagsgebiet von insgesamt 11 068 km² im Jahresmittel 11,9 Milliarden m³ Wasser zugeführt. Die jahreszeitlich bedingten Unterschiede in der Wasserführung der Zuflüsse verursachen Seespiegelschwankungen von 1 m bis über 3 m.

Die Pegelstände des Bodensees schwankten in den Jahren 1871—1965 im Mittel zwischen 2,81 m und 4,33 m.

Die Niederschlagsmenge bezogen auf die Wasserfläche des Bodensees lag im langjährigen Mittel bei 840 mm im Jahr und schwankte zwischen 43 und 110 mm in den einzelnen Monaten. Im Jahre 1970/1971 betrug sie 886 bzw. 599 mm.

Die Abflußmenge aus dem Bodensee, gemessen am Pegel bei Rheinklingen, betrug im Mittel aus den Jahren 1945 bis 1971: 365 m³/sec (im Jahre 1970: 465 m³ sec, 1971 nur 257 m³/sec).

Zu bemerken ist noch, daß die Zuflüsse (besonders Alpenrhein, Bregenzer Ach, Argen, Schussen und Leiblach) dem See große Mengen an Geschieben und Schwebstoffen zubringen, insgesamt etwa 4—5 Millionen m³/Jahr.

Die see-eigenen physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge werden somit sehr stark durch seefremde Einflüsse gestört oder geändert.

2. Grundvorgänge im Stoffwechselgeschehen des Sees

a. Der mechanische Kreislauf

Durch die verstärkte Sonneneinstrahlung ab Frühjahr wird die Seeoberfläche zunehmend erwärmt. Die windbedingten Wasserbewegungen transportieren die erwärmten Wasserteilchen soweit in die Tiefe, bis die Windkraft nicht mehr ausreicht, um die Differenz der Dichte gegenüber dem Tiefenwasser zu überwinden.

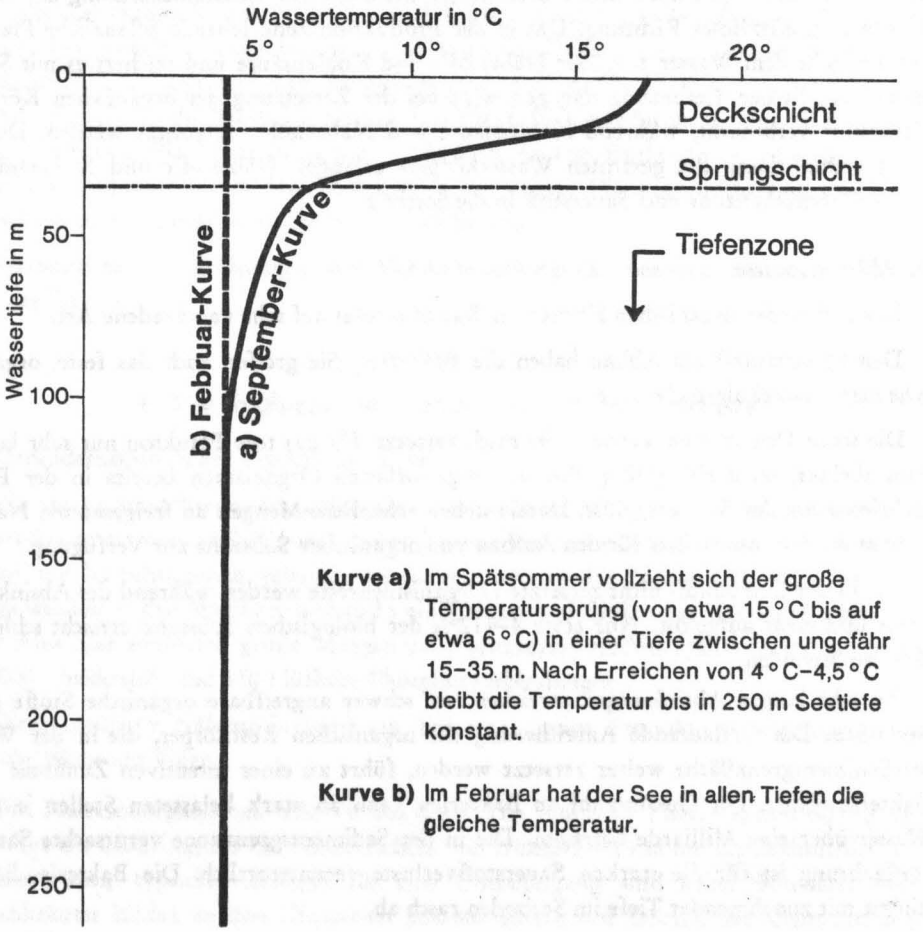
Es bilden sich so drei Stockwerke:

a. die warme D e c k s c h i c h t mit geringem Temperaturgefälle (im Herbst bis ca. 30 m in die Tiefe reichend);

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

b. die Sprungschicht, eine schmale Zone unterhalb der warmen Deckschicht, in der die Temperatur sprunghaft abfällt;

c. die über 200 m mächtige Tiefenschicht. In dieser bleibt die Temperatur während des ganzen Jahres nahe der maximalen Dichte des Wassers bei +4° C (siehe Abbildung).



Durch diese Schichtung wird die Tiefenzone von Mitte April bis Ende Januar von der Oberfläche abgeschnitten. Mit der Abkühlung der Deckschicht im Herbst und im Winter verliert die Schichtung allmählich ihre Stabilität und wird abgebaut. Starke Sturmlagen können in der Oberflächenzone des Sees großräumige horizontale Schwingungen auslösen. Hat die Deckschicht schließlich das Dichtemaximum des Wassers erreicht, wird der ganze See durch Konvektion und windbedingte Wasserbewegung umgeschichtet und das Tiefenwasser zur Oberfläche transportiert (Vollzirkulation von Ende Januar bis Mitte April).

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

b. Der biologische Kreislauf

Nur in der vom Sonnenlicht erfaßten Oberflächenzone können die im Wasser schwebenden pflanzlichen Organismen mit Hilfe der Sonnenenergie, der im Wasser vorhandenen Nährstoffe und der Kohlensäure ihre körpereigenen Substanzen aufbauen. Die Produktionszone fällt im Sommer weitgehend mit der thermisch bedingten Deckschicht des Sees zusammen. In der Tiefenschicht überwiegen dagegen die Abbauprozesse. Produktion und Abbau der organischen Stoffe beeinflussen die chemische Zusammensetzung des Wassers in gegensätzlicher Richtung. Das in der Produktionszone lebende pflanzliche Plankton entzieht dem Wasser tagsüber Nährstoffe und Kohlensäure und reichert es mit Sauerstoff an. In der Tiefenzone dagegen wird bei der Zersetzung der organischen Körper Sauerstoff verbraucht, während Kohlensäure und Nährstoffe freigesetzt werden. Durch die Durchmischung des gesamten Wasserkörpers gelangen Nährstoffe und Kohlensäure in die Oberflächenzone und Sauerstoff in die Seetiefe.

c. Abbauprozesse

Der Abbau der organischen Körper im Wasser erfolgt auf sehr verschiedene Art.

Den Hauptanteil am Abbau haben die Bakterien. Sie greifen auch das feste, organische makromolekulare Gerüst an.

Die toten Organismen werden sehr rasch zersetzt. Da das tote Plankton nur sehr langsam absinkt, wird ein großer Teil der abgestorbenen Organismen bereits in der Produktionszone des Sees aufgelöst. Damit stehen erhebliche Mengen an freigesetzten Nährstoffen wieder unmittelbar für den Aufbau von organischer Substanz zur Verfügung.

Die in der Deckschicht nicht zersetzten Organismenreste werden während des Absinkens mehr und mehr aufgelöst. Nur etwa 4—12% der biologischen Substanz erreicht schließlich den Seeboden.

Bei sehr langen Absinkwegen erreichen nur schwer angreifbare organische Stoffe den Seeboden. Die fortlaufende Anreicherung der organischen Restkörper, die in der Wasser-Sedimentgrenzfläche weiter zersetzt werden, führt zu einer intensiven Zunahme der Bakteriendichte. Die Gesamtzahl an Bakterien kann an stark belasteten Stellen je cm^3 Wasser über eine Milliarde betragen. Die in der Sedimentsgrenzzone verursachte Sauerstoffzehrung ist für die starken Sauerstoffverluste verantwortlich. Die Bakteriendichte nimmt mit zunehmender Tiefe im Seeboden rasch ab.

3. Seenalterung

Produktion und Abbau bestimmen in hohem Maße den Entwicklungszustand eines Sees. In seiner Jugendzeit ist ein See meist durch geringen Nährstoffgehalt und schwache Planktonproduktion in der Oberflächenzone gekennzeichnet.

Mit fortschreitendem Alter beeinflußt bei steigender Produktion und vermehrtem Abbau auch der Nährstoffnachschub aus dem Tiefenwasser und dem Bodensediment zunehmend dem Stoffkreislauf. Der See gerät allmählich in eine Übergangsphase vom nährstoffarmen zum nährstoffreichen Typ (mesotropher See).

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Je nach den hydrographischen Verhältnissen (Zu- und Abflußgrößen, Volumen des Tiefenwassers, Stabilität und Dauer der Schichtung, Nährstoffzufuhr von außen usw.) steht am Ende einer tausende oder zehntausende von Jahren währenden Entwicklung, der nährstoffreiche (eutrophe) See. In diesem verlaufen die durch die hohe Produktion verursachten Zersetzungsvorgänge so intensiv, daß der Sauerstoff des Tiefenwassers während der Stagnationsperiode völlig aufgebraucht wird. Es erfolgt eine Anhäufung organischer Stoffwechselzwischenprodukte auf dem Seeboden (Faulschlamm). Im Sediment geht die Zersetzung verstärkt weiter und führt zur Bildung von Faulgasen (Methan, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Kohlensäure). Diese gelangen schließlich mit den organischen Lösungen und den Phosphor- und Stickstoffverbindungen als zusätzliche Nährstoffquelle in die Produktionszone. Das führt dann wiederum zu einer Kettenreaktion (vermehrte Planktonproduktion → erhöhte Sauerstoffzehrung → vermehrte Freigabe von Nährstoffen aus dem Sediment → vermehrte Planktonproduktion usw.) und schließlich zu rasch steigender Trophie (Produktivität).

Fortschreitende Auffüllungen und Verlandungsvorgänge beenden schließlich das Leben des Sees.

4. Die biologischen Veränderungen im Bodensee

a. Veränderungen in der Produktionszone

Die starke Bevölkerungszunahme am Ufer und im Hinterland führt seit mehreren Jahrzehnten zu einer ständig steigenden Zufuhr von Abwässern in den See. Über Zuflüsse und Kanalisationen gelangen sie meist direkt in die Produktionszone. Nur etwa 30% werden in den Stoffkreislauf nicht einbezogen und fließen bei Konstanz wieder ab. Die Abwässer enthalten große Mengen an Pflanzennährstoffen (Jahresfracht z. Z. über 10 000 t Stickstoff- und 850 t lösliche Phosphorverbindungen).

Diese intensive Nährstoffanlieferung hat eine riesige Produktionssteigerung in der Seeoberfläche zur Folge.

Die Planktonorganismen nehmen stark zu. Die intensive Planktonentwicklung vermindert die Eindringtiefe des Sonnenlichtes von früher 5—16 m um durchschnittlich 2 m. Wasserblüten, typische Anzeiger für eine Überdüngung sind keine Seltenheit mehr. Laichkräuter bilden an den Uferzonen zusammenhängende Gürtel, die allein am deutschen Ufer eine Fläche von 500 ha einnehmen.

Durch die starke Zunahme der pflanzlichen Organismen haben sich seit etwa 15 Jahren auch die planktischen Krebse auf das 10- bis 15-fache vermehrt.

Die Fische, als Endglieder in der Nahrungskette, sprechen besonders stark auf die Produktionssteigerung im See an. In den Jahren 1930 bis 1938 betrugen die gesamten Fangerträge im Bodensee im Durchschnitt 253 t/Jahr, zwischen 1952 und 1960 bereits 508 t/Jahr. Bei den Blaufelchen, die sich ausschließlich von tierischem Plankton ernähren, betrugen die Jahreserträge 1910: 120 t und 1956: 870 t.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Aber mit der zunehmenden Felchenzahl änderten sich bedeutsame Eigenschaften dieser Fische: Gewichtszunahme, erhöhter Fettansatz, Wachstumsbeschleunigung (gegenüber den 30iger Jahren verdoppelt), Vorverlegung der Geschlechtsreife von 4 auf 3 Jahre, Zunahme der Eizahl, aber Verminderung der Eigröße und höhere Defekte bei geschlüpften Larven.

Die physiologischen Umstellungen bewirkten, zusammen mit einer intensiven Befischung, daß ab 1960 vor allem die Altersklassen I und II statt wie 1930 die Altersklassen III und IV gefangen wurden.

Nach einjähriger Fangpause (1964) und Erhöhung des Schonmaßes war nach empfindlichem Rückgang der Fangerträge (1960: 680 t, 1961: 408 t, 1962: 280 t, 1963: 100 t) bis 1970 wieder ein Anstieg der Felchenfänge festzustellen. Gegenwärtig (1972) sind sie aber wieder stark rückläufig.

Mit dem Rückgang der Felchen verschob sich auch die Artenzusammensetzung des Gesamtbestandes zu Gunsten der Weißfische und Barsche (1930: 58% Blaufelchen und 28% Barsche — 1960: 28% Blaufelchen und 53% Barsche).

b. Veränderungen in der Tiefenzone

Durch den verstärkten Abwärtstransport von organischen Stoffen erhöht sich auch die Bakteriendichte in der Tiefenzone. Die Zahl der Bakterien stieg in den letzten 10 Jahren in dieser Zone um das 10fache.

Es entstand ein erhebliches Sauerstoffdefizit. Zur Zeit verliert die Tiefenzone im Mittel bis zu 50% Sauerstoff, in der bodennahen Wasserschicht bis zu 70%. **Der See ist nicht mehr in der Lage, diese Sauerstoffverluste während der Zirkulationsperiode vollständig auszugleichen.**

c. Die Belastung der See-Sedimente

Vor allem im Mündungsbereich der Zuflüsse und in den Buchten kommen durch die Abwässer erhebliche Mengen an fäulnisfähigen Sinkstoffen zum Absatz. Durch Sedimentbohrungen wurde festgestellt, daß z. B. der Gesamtphosphorgehalt in den letzten 10—15 Jahren um 300—400% angestiegen ist. Die Bakteriendichte an der Sedimentoberfläche in Seemitte bei 250 m Tiefe betrug 1967 ca. 270 000/g, in 38 m Tiefe vor der Schussenmündung 430 000/g, in der wenig belasteten Uferzone bei Güttingen in nur 4 m Tiefe ca. 100 000 /g Sediment.

Untersuchungen haben ergeben, daß am Obersee z. Z. über 40 km² des Seebodens durch Abwässer intensiv verunreinigt werden.

5. Zur Verölung des Bodensees

Am Beispiel der zunehmenden Verölung des Bodensees läßt sich anschaulich darstellen, wie ganz allgemein der Eintrag von Schadstoffen in den Bodensee erfolgt und welche Auswirkungen diese Fremdstoffe für den See haben.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Nachstehend seien die wichtigsten Quellen für die Ölverunreinigung des Bodensees genannt:

a. Durch das Niederschlagswasser werden dem See über die Atmosphäre Kohlenwasserstoffe zugeführt, die zu einem erheblichen Teil nicht aus dem Einzugsgebiet des Bodensees stammen.

b. Ferner erfolgt ein nicht unbedeutender Öleintrag durch die Abgase (Industrie, Autoverkehr).

c. Hinzu kommt die Abschwemmungen von Restölanteilen von Straßen, Parkplätzen und Industriegelände.

d. Durch die Verwendung von oberflächenaktiven Stoffen finden sich heute im Ablauf der Ölabscheider häufig größere Konzentrationen an emulgierten Restölanteilen.

e. Eine besondere Rolle spielt auch der Öleintrag durch Ölunfälle, die allerdings in den letzten 10 Jahren durch die Vorsorgemaßnahmen im Einzugsgebiet sehr stark zurückgegangen sind. Dazu besteht heute eine sehr effektiv arbeitende Ölwehr mit zahlreichen Stützpunkten am gesamten Bodenseeufer.

f. Schließlich ist der Bootsverkehr zu nennen, durch den nicht unerhebliche Ölmengen (vor allem durch Zweitakt-Außenbordmotoren mit Gemischschmierung) in den See gelangen.

Die dem See aus dem Einzugsgebiet über die Zuflüsse zugeführten Kohlenwasserstoffe sind im wesentlichen an die Schwebstoffe gebunden und werden von diesen verhältnismäßig rasch auf den Seegrund transportiert.

Von Bootsmotoren ausgeworfene Kohlenwasserstoffanteile werden durch Verwirbelungen und windabhängige Wasserbewegungen sehr rasch, zum Teil bis zur echten Emulsion dispergiert und dann an die anorganischen und organischen Schwebstoffe (Plankton) angeheftet. Diese verlieren damit ihre Schwebefähigkeit und sinken ebenfalls ab.

Etwa maximal 70% der leichten und 10% der schweren Kohlenwasserstoffe werden in Stunden bis Wochen von den Bakterien abgebaut. Die verbleibenden Restölanteile, die eine hohe chronische (bleibende) Giftigkeit aufweisen, gelangen auf den Seeboden. Bei den in den großen Seetiefen herrschenden niedrigen Temperaturen (4—6° C) ist der bakterielle Abbau stark vermindert, so daß dort eine zunehmende Akkumulation der Kohlenwasserstoffverbindungen erfolgt.

Die im Freiwasser vorhandenen Anteile schädigen bereits bei geringer Konzentration die im See lebenden Organismen (pflanzliches Plankton ab 1—50 mg/l, tierisches Plankton ab 10—150 mg/l und Fische ab 200 mg/l) (Blumer 1970, Zahner 1962). Geschmacksbeeinflussungen des Fischfleisches sind ab etwa 0,2 mg Altöl/l Wasser nachweisbar (English, Surber und McDermot 1961; Kempf, Lüdemann und Pflaum 1967).

Am Gewässerboden wird die biologisch aktive Schicht bei starker Verölung mehr oder minder stark von der Sauerstoffzufuhr aus dem bodennahen Tiefenwasser abgeschnitten.

Dadurch erhalten in der verölten Bodenzone die anaeroben Abbauprozesse die Oberhand. Der Sauerstoffabschluß aber führt zur Anhäufung von giftigen Stoffwechselprodukten und Faulgasen. Hinzu kommen die vom Öl ausgehenden spezifischen Giftwirkungen, die unmittelbar die in der oberflächennahen Bodenzone lebenden Organismen schädigen.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

6. Der Bodensee als Trinkwasserspeicher

Dem Bodensee kommt als Trinkwasserspeicher für Millionen von Menschen eine entscheidende Bedeutung zu. Die Verschmutzungsherde dringen immer näher in die Bereiche der Trinkwasserversorgung vor. Dadurch entstehen schließlich Gefahren für die einwandfreie Wasserbeschaffenheit und zwingen alle maßgebenden Stellen zu entsprechenden Maßnahmen.

Noch ist die Trinkwasserversorgung gütemäßig einwandfrei. Das Wasser wird in einer Tiefe von 30—60 m entnommen und kann ohne chemische Nachbehandlung verwendet werden. Es wird lediglich gefiltert, um Fremdstoffe zurückzuhalten und ozonisiert, um Bakterien abzutöten.

Die geförderte Wassermenge der bestehenden 18 Seewasserwerke betrug:

	Millionen m³ jährlich
1969	107
1970	113
1971	141

Voraussetzung für eine einwandfreie Beschaffenheit des Trinkwassers bleibt die Verwirklichung der Zielsetzung der internationalen Gewässerschutzkommission am Bodensee, nach der bis zum Jahre 1975/76 im gesamten Bodenseebereich in den Schwerpunkten der Belastung die erforderlichen Kläranlagen (mechanische und biologische Stufe) fertiggestellt werden und auch die 3. Reinigungsstufe, die nur zum Teil besteht, so rasch wie möglich gebaut wird.

7. Zusammenfassung

Der Bodensee gehörte einst wie fast alle Voralpengewässer zu den nährstoffarmen Seen mit klarem Wasser.

Der Grund lag hauptsächlich im Fehlen von Phosphor. Landwirtschaft und eine noch kleine Industrie schädigten den See kaum durch besonders gefährliche Abwässer. Vor dem 1. Weltkrieg betrug der Phosphorgehalt kaum 0,2 mg je m³, heute erreichen die gelösten anorganischen Phosphorverbindungen mehr als 50 mg je m³. Wenn auch die Trinkwasserqualität dadurch nicht beeinflußt wird, verändert sich die Zusammensetzung des Bodenseewassers erheblich. Der See reagiert mit einer vermehrten Produktion an pflanzlichem Plankton. Es gibt jetzt 20 mal soviel Algen wie vor 20 Jahren. Das Wasser ist trüber geworden. Der Sauerstoffhaushalt des Sees ist gestört. Mit dem Verschwinden des Sauerstoffs in der Seetiefe bildet sich eine ernste Gefahr für den See. Verantwortlich für die Zunahme des Phosphors sind die Abwässer. Nach neueren Untersuchungen enthält ein m² Seeboden durchschnittlich 1 g Mineralöl, d. h. insgesamt dürften 600 000 kg Öl auf dem Seeboden liegen. Das Öl bedeutet eine ernste Gefahr, die Folgen der Überdüngung sind z. Z. aber noch viel ernster.

© Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. download unter www.vzsb.de/publikationen.php und www.zobodat.at

Noch ist der Bodensee kein toter oder schwerkranker See, aber die Zeichen der Erkrankung mehren sich.

Der Bodensee ist als Erholungsraum und Trinkwasserspeicher langfristig nur dann zu erhalten, wenn seine zunehmende Verschmutzung und Überdüngung durch eine Stabilisierung des Abwassers-Aufkommens bei Kürzung der Zuwachsrate von Industrie und Bebauung im Umland des Bodensees sowie durch einwandfreie Klärung der Abwässer verhindert wird. Das kostet enorme Geldmittel und manch harte politische Entscheidung, aber daran kommen wir nicht vorbei. Unsere Kinder sollen uns nicht einmal verantwortlich machen, daß wir durch Versäumnisse ihnen einen sterbenden See hinterlassen haben!

Die Unterlagen zu diesem Bericht wurden in dankenswerter Weise von dem Staatlichen Institut für Seenforschung und Seenbewirtschaftung Langenargen und Konstanz (Direktor Dr. Rudolf Z a h n e r) sowie den Stadtwerken Lindau (Direktor Hubert B e c k) zur Verfügung gestellt.

Schrifttum

Barsch, Dr. Dietrich: Das Hochrheingebiet und das Problem der Hochrheinschiffahrt. Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere e. V. München, Jahrbuch 1968, Band 33.

Nümann, Dr. W.: Chronisch krank: Der Bodensee. Sonderdruck aus „Stadt Gottes" Okt. 1971.

Wagner, Prof. Dr. Georg: Zur Geschichte des Bodensees. Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -tiere e. V. München, Jahrbuch 1962, Band 27.

Zahner, Dr. Rudolf: Der Bodensee und seine Probleme. Naturschutz in Oberschwaben. Heft 1/2 März 1963.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere

Jahr/Year: 1974

Band/Volume: 39_1974

Autor(en)/Author(s): Prandner Kurt

Artikel/Article: Gewässerforschung am Bodensee 69-77