

2.3 Seeboden und Sedimente

2.3.1 Charakteristik und gegenwärtiger Zustand

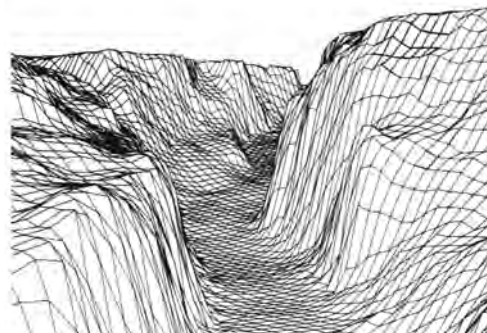
Der Seeboden ist als Oberfläche des Sediments an den Stoffkreisläufen des Bodensees beteiligt. Die Sedimente – das „Gedächtnis“ des Sees – geben durch ihre Beschaffenheit und Schichtung Auskunft über frühere Umweltbedingungen wie auch über den gegenwärtigen Zustand des Sees. Der Seeboden ist Lebensraum einer an die speziellen Verhältnisse angepassten Organismengemeinschaft.

Morphologie

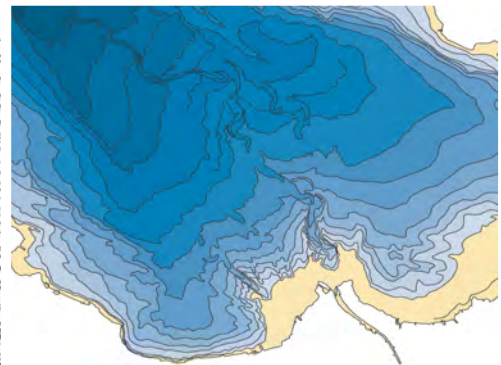
Die Seebodenareale mit Wassertiefen über 10 m nehmen im Obersee eine Fläche von rund 440 km² und im Untersee von rund 53 km² ein [1]. Glaziale Prozesse wie Gletscherbewegungen und Schmelzwasserflüsse prägten großräumig die Morphologie des Bodenseebeckens [2]. Diese wurde durch lokale Ablagerungen von Feststoffeinträgen der Zuflüsse weiter differenziert. Lokal zeigt der Seegrund eine Vielzahl kleinräumiger junger Strukturen. Im zentralen Obersee-Becken beispielsweise zeigt sich eine „hügelige“ Oberfläche mit kleinräumigen Strukturen im cm- bis dm-Bereich [3]. In der Umgebung der alten Rheinmündung zwischen Rorschacher Bucht und Rohrschpitz finden sich bis zu 70 m tief eingeschnittene Schluchten. Diese Canyons wurden durch lawinenartige Trübestrome (Turbidite) geschaffen, welche vor der Rheinmündungsverlegung (1900) Material aus dem Deltabereich des Rheins bis zum Beckenzentrum verfrachteten. Seit der Mündungsverlagerung des Rheins unterbleibt diese Turbiditsedimentation. Das flussbürtige Sedimentmaterial akkumuliert seither in einem durch die Maßnahmen der Rheinverbauung gelenkten, rasch fortschreitenden Delta, das die derzeit größten morphologischen Veränderungen des Seebodens bewirkt [4].

Sedimente sind das „Gedächtnis“ des Bodensees

Canyons unter Wasser



Ein Ausschnitt aus dem stark überhöhten Tiefenprofil des Bodensees verdeutlicht die Bedeutung des Tiefenbodens als Sedimentfalle [1]



Die Ausbildung von Canyons durch lawinenartige Trübestrome zeigt sich im Verlauf der Tiefenlinien vor der alten Rheinmündung

Sedimente

In den Sedimenten des Bodensees sind allochthone, aus dem Einzugsgebiet stammende und autochthone, durch biologisch-chemische Prozesse im See selbst gebildete Anteile zu unterscheiden. Der größte Teil der Sedimente des Bodensee-Obersees besteht aus Einschwemmungen der Zuflüsse, ca. 75% davon stammen aus dem Alpenrhein (Abb. 2.3-1).

In den Tiefenbereichen des westlichen und zentralen Obersees finden sich vorwiegend feinkörnige Sedimente, welche hier ungestört dem Untergrund aufliegen. In

Der Hauptteil der Oberseesedimente stammt aus dem Alpenrhein

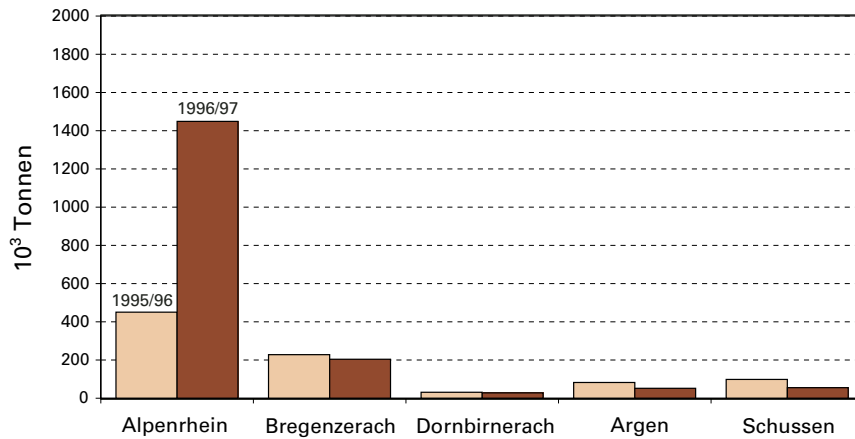


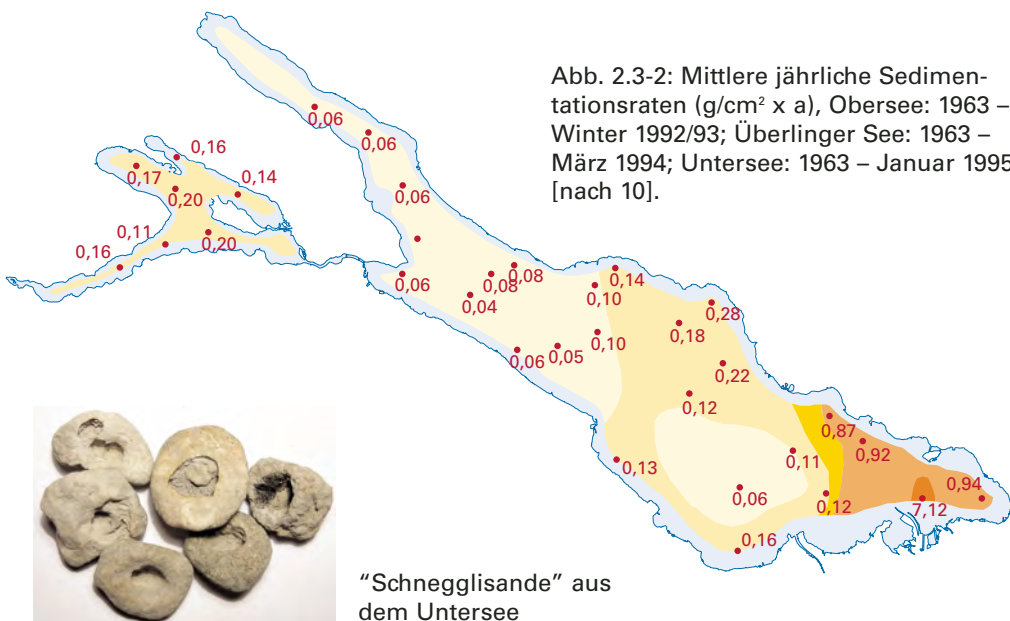
Abb. 2.3-1: Schwebstoffeintrag durch die wichtigsten Bodenseezuflüsse in einem Niedrigwasserjahr (1995/96) und einem Mittelwasserjahr(1996/97) [nach 5, 6]

den Flachwasserbereichen hingegen ergibt sich durch Erosion bzw. Resuspension und Verfrachtung eine tiefenabhängige Abfolge von gröberem zu feineren Fraktionen [7, 8].

Im *Obersee* ist der Sedimentzuwachs im alpenrheinbeeinflussten östlichen Bereich am stärksten, während die Sedimentationsraten im westlichen Teil wegen des Fehlens größerer, feststoffführender Zuflüsse sehr viel geringer sind (Abb. 2.3-2). Das jahreszeitliche Sedimentationsgeschehen in Seemitte unterliegt einer regelmäßigen Abfolge: im Juni werden durch die hohe Wasserführung des Alpenrheins große Mengen silikatischer Partikel eingetragen, im Juli mit Beginn der maximalen Algenentwicklung kommt es zu verstärkter biogener Calcitfällung während im Winter nur eine sehr geringe Sedimentation stattfindet [9].

In den Flachwasserzonen vor allem des *Untersee* trägt die große biologische Aktivität mit autochthoner Karbonatbildung erheblich zur Bildung der Sedimente bei. Im Gnadensee stellt diese Fraktion den Hauptanteil der Sedimente [11]. Eine besondere Sedimentform des Untersees sind die durch Karbonatausfällung unter Mitwirkung von Blaualgen gebildeten erbsen- bis nussgroßen „Schneggliande“.

Die Sedimentation zeigt eine jahreszeitliche Dynamik



Organische Substanzen als Bestandteile der Bodensee-Sedimente entstammen der Primärproduktion oder den Einträgen durch Zuflüsse. Ausgehend vom Alpenrhein bis weit in den zentralen See hinein herrschen Sedimente mit einem organischen Kohlenstoffgehalt um 1 % vor. Höhere Gehalte werden flächenhaft im Untersee (Gnadensee, Mündung Radolfzeller Aach) erreicht, lokal auch im Obersee (z.B. vor Langenargen) und Überlinger See (z.B. vor Mündung Stockacher Aach).

Einflussfaktoren

Das Seebodenmaterial besteht einerseits aus den durch die Zuflüsse eingetragenen Feststoffen, andererseits aus Ausfällungen der Flach- und Freiwasserzone und abgesunkenem organischem Material. Mit den Feststoffen werden auch Nähr- und Schadstoffe am Seegrund abgelagert. Der Zustand des Seebodens ist somit weitgehend vom Nährstoff- und Energietransport aus den Zuflüssen, dem Litoral und dem Freiwasser abhängig. Auch die Sauerstoffversorgung erfolgt durch seeinterne Strömungen, vor allem aber durch die winterliche Durchmischung des Sees [12].

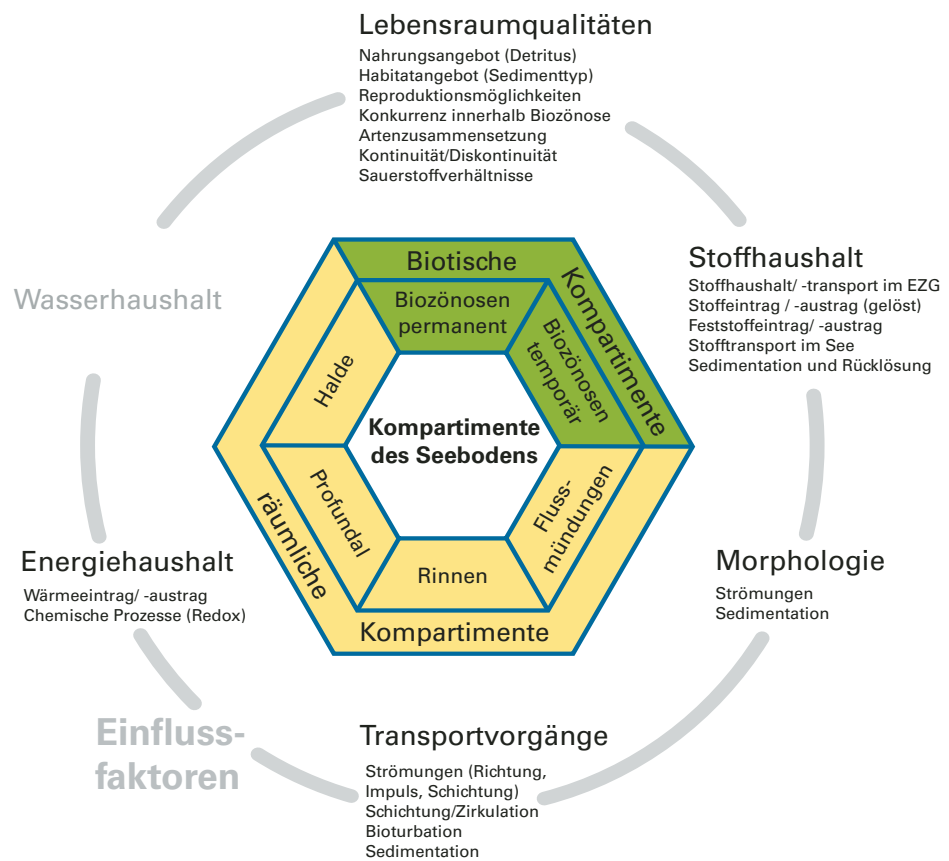


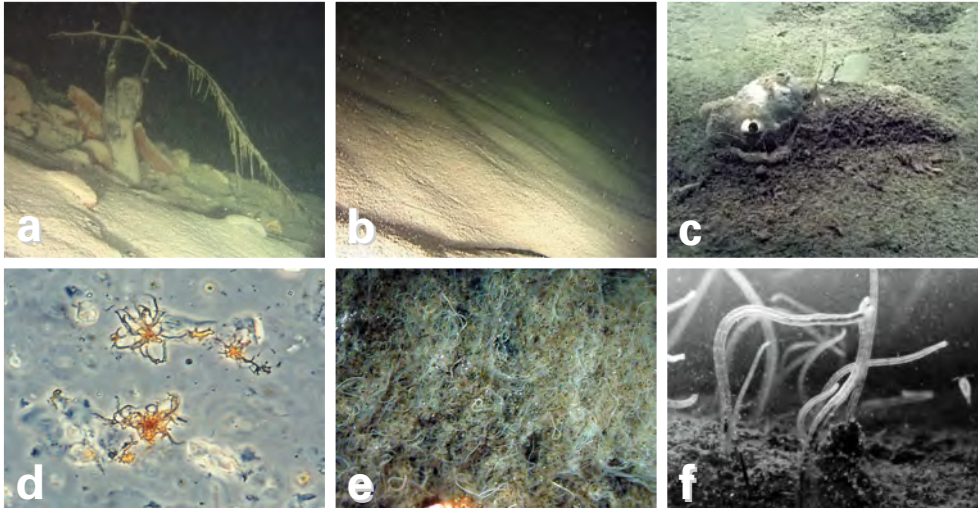
Abb. 2.3-3: Einflussfaktoren auf das Kompartiment „Seeboden“

Biozönosen

Die am tiefen Seeboden, dem Profundal, lebende Konsumenten- und Destruenten-gemeinschaft - Pflanzen können hier mangels Lichtangebot nicht existieren - ist abhängig von der Energie- und Stoffzufuhr aus dem Pelagial und Litoral. Im Profundal wird absinkende Biomasse zersetzt und mineralisiert. Der Seeboden dient als temporärer Entwicklungsraum von Dauer- und Jugendstadien (Planktonkrebse, Felcheneier) und als dauernder Lebensraum einer charakteristischen Fauna: Larven von Zuckmücken, Büschelmücken und Schlammfliegen, Erbsenmuscheln, Strudel-

Auf dem Seeboden wird die Biomasse abgebaut

würmer, Wenigborster (Oligochaeten), Fadenwürmer (Nematoden). Die Besiedlungsdichte im Profundal ist sehr ungleichmäßig, im Obersee ursprünglich eher gering [13], im produktiveren Untersee und an den Flussmündungen aufgrund des besseren Nahrungsangebotes deutlich höher.



Sediment und Lebewelt des Bodensee-Profundals

- a) Seeboden in 100 m Tiefe
- b) Seeboden in 200 m Tiefe
- c) Fischkadaver
- d), e) Bakterien
- f) Schlammröhrenwürmer

Fotos a, b, c [i]; Fotos d, e, f, [a]

Die Zusammensetzung der Profundal-Lebensgemeinschaft erlaubt Rückschlüsse auf den Belastungszustand bzw. den Trophiezustand des Sees. Insbesondere die Oligochaetenfauna (Würmer) dient als biologischer Indikator der Belastung mit abbaubaren organischen Stoffen. Hohe Individuendichten finden sich im Sedimentationsbereich von Zuflüssen. Anhand der Oligochaetenfauna des Seebodens wurde 1972–78 überwiegend eine mittlere, in Tiefen über 100 m allerdings eine geringere organische Belastung der Sedimente festgestellt. Deutliche Belastungen fanden sich vor allem im Einflussbereich der größeren Zuflüsse Alpenrhein, Alter Rhein und Argen [14, 15]. Bei neueren Untersuchungen wurde 1992/94 und 1999 eine zunehmende Verschiebung des Artenspektrums zugunsten anspruchsvollerer Arten und ein Rückgang der Individuendichten beobachtet [16]. Dies kann als Erfolg der verbesserten Abwasserreinigung im Einzugsgebiet gewertet werden.

Neben den wirbellosen Tieren kommen am Seegrund auch Fische bis in beträchtliche Tiefen vor. Nicht nur die bodenorientierte Trüsche ist hier zu finden, sondern auch Fische des Litorals suchen die bodennahe Tiefenzone als Ruheraum auf. Beeinträchtigt, wenn nicht gefährdet, wurden die Bestände dieser Fische durch die Sauerstoffarmut der bodennahen Tiefenzone während der Eutrophierungsphase. Die in tiefen Regionen laichenden Seesaiblinge und Trüschchen gingen im Bestand zurück oder verlegten ihre Laichplätze in flachere Bereiche [17], und auch die natürliche Entwicklung der auf den Seegrund absinkenden Blaufelcheneier war gefährdet. Heute herrschen am Seeboden für alle diese Fischarten wieder deutlich bessere Entwicklungsbedingungen [18].



Fische auf dem Grund des Bodensees

- a) Trüsche
- b) Aal
- c) Seesaibling

Fotos a, b [b]; c [i]



Abb. 2.3-4: Anthropogene Einflüsse und Nutzungen im Kompartiment Seeboden (das räumliche Kompartiment Litoral ist in Kap. 2.1 dargestellt)

2.3.2 Belastungen und Defizite

Der Seeboden wird vor allem durch nutzungsbedingte Stoffeinträge aus dem Einzugsgebiet belastet. Die Sedimente des Sees wirken als Senke für die eingetragenen Nähr- und Schadstoffe. Die im Sediment angereicherten Stoffe können jedoch unter bestimmten chemisch-physikalischen Verhältnissen wieder freigesetzt werden und zu einer Belastung angrenzender Lebensräume führen.

Direkt auf das Seesediment ausgerichtete Nutzungen wie Baggerungen oder Depositionen sind heute weitgehend eingestellt. Einzig das Wiedereinbringen von unbelasteten Seesedimenten findet an wenigen Stellen (z. B. Mündungsbereich des Alpenrheins) noch in begrenztem Ausmaß statt. Der Seeboden wird allerdings beeinflusst durch den Eintrag von Schadstoffen über Zuflüsse oder die Atmosphäre, durch Eingriffe in den Stoffhaushalt (z.B. Geschieberückhalt, Eutrophierung) und durch Änderungen der Zuflussmengen und -wege (z. B. Rheinvorstreckung). Diese Einflüsse sind vielfach durch Ablagerungen im Sediment dokumentiert (vgl. Kap. 2.4).

Eutrophierung, Reoligotrophierung

Der trophische Zustand des Bodensees spiegelt sich auch in seinen Sedimenten wider. Durch die Untersuchung von Sedimentkernen aus dem Bodensee und die zeitliche Einordnung unterschiedlicher Schichten lassen sich sowohl klimatische Veränderungen wie auch Belastungen des Sees rekonstruieren.

Der Sauerstoffgehalt über Grund schwankt saisonal, mit minimalen Gehalten im Herbst und einem deutlichen Anstieg im Winter, wenn abgekühltes sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die Tiefe verfrachtet wird. Im Frühsommer wird der O₂-

Der Seeboden wird indirekt durch Nutzungen im Einzugsgebiet belastet

Sedimente sind Kalendarien der Belastungsgeschichte

Gehalt des Tiefenwassers möglicherweise auch durch den Zufluss des O₂-reichen Alpenrheinhochwassers beeinflusst.

Niedrige O₂-Konzentrationen am Seegrund gefährden die Organismen, die dort einen Teil ihres Lebenszyklus durchlaufen, wie z. B. die Blaufelcheneier, die sich im Winter in den Tiefen des Obersees entwickeln. Außerdem beschleunigen Sauerstoffmangelsituationen die Bildung unerwünschter Abbauprodukte und die Rücklösung von Nähr- und Schadstoffen aus dem Sediment.

Kritische Sauerstoffgehalte über Grund treten vor allem gegen Ende einer Stagnation auf. Zu ausgeprägtem O₂-Mangel kam es zur Zeit der stärksten Eutrophierung im Tiefenwasser des Bodensees. Die geringsten Sauerstoffgehalte in Grundnähe wurden nach der Seegrörne des Jahres 1963 (< 4 mg/l), in der ersten Hälfte der 1970er-Jahre (< 3 mg/l) und Ende der 1980er-Jahre (< 5 mg/l) gemessen (Abb. 2.3-5). Im isolierten Becken des Untersee-Gnadensees treten auch heute natürlicherweise noch regelmäßig Sauerstoffmangelsituationen auf.

Die niedrigsten im See einen Meter über Grund gemessenen Sauerstoffgehalte liegen seit 1995 permanent über den für die Entwicklung der Felcheneier erforderlichen 6 mg/l. Auch im Zeller See (Teil des Untersees) tritt seit 1993 kein vollständiger Sauerstoffschwund mehr auf [22]. Diese ausreichende Sauerstoffversorgung ist allerdings nur gewährleistet, solange nicht die vollständige Durchmischung des Sees mehrere Jahre nacheinander ausfällt [19].

Wenn Ablagerungen organischen Materials so mächtig sind, dass sie von neuen Sedimenten überlagert werden, bevor sie abgebaut werden können, oder wenn zu wenig Sauerstoff zu ihrem Abbau zur Verfügung steht, bilden sich im Sediment durch Eisensulfid schwarz gefärbte Reduktionshorizonte. Während diese 1985 an der tiefsten Stelle des Obersees noch knapp unterhalb der Sedimentoberfläche auftraten, sind die obersten Sedimentlagen seit 1995 wieder zunehmend oxidiert [21].



Sedimentkern aus dem tiefsten Bereich des Sees
Foto [a]

Schwankender Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser

Die Sauerstoffsituation über Grund hat sich in einem ökologisch günstigen Bereich stabilisiert

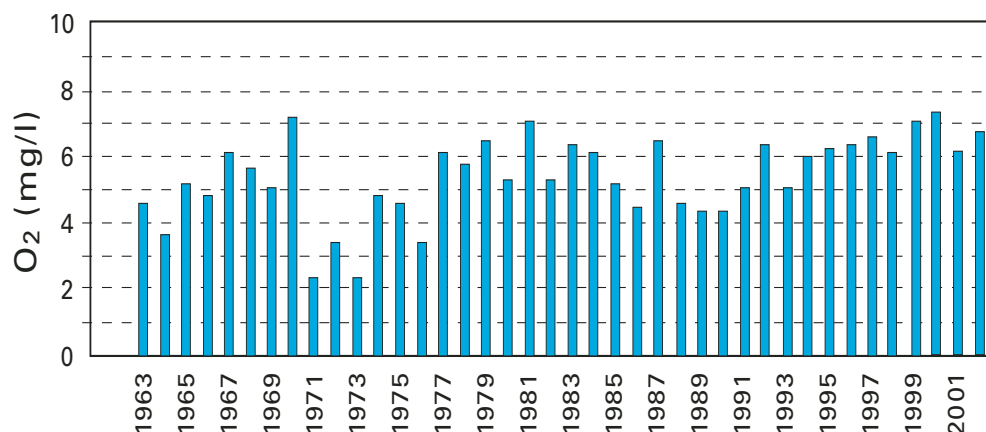


Abb. 2.3-5: Minimale Sauerstoffkonzentrationen 1 m über Grund, 1963-2001 [20, ergänzt]

Der Mangangehalt ist ein Zeiger für die Sauerstoffversorgung am Seeboden

Als Indikator für die Redoxverhältnisse und die Sauerstoffversorgung am Seeboden dient der Gehalt an Mangan in der untersten Wasserschicht, dem tiefen Hypolimnion. Manganablagerungen werden bei niedrigem Redoxpotential, d. h. bei Sauerstoffmangel gelöst, der Mangangehalt des Wassers steigt somit an. Seit 1990 zeigt der Mangangehalt des Tiefenwassers einen deutlichen Rückgang (Abb. 2.3-6). Diese Abnahme, die auf eine grundlegende Verbesserung der Redoxverhältnisse am Seeboden hinweist, korreliert mit dem Rückgang der Biomassen seit 1990 [23].

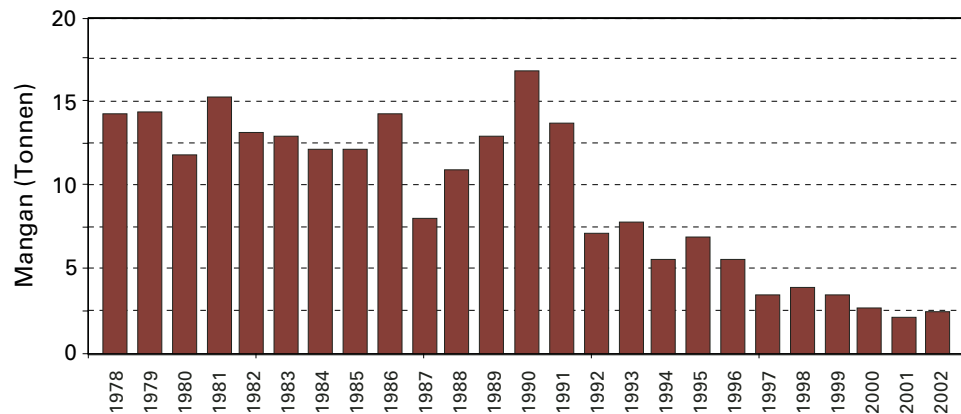


Abb. 2.3-6: Jahresmittelwerte der errechneten Manganinhalte der Wasserschicht von 200 – 254 m Tiefe des Bodensee-Obersees [nach 23, ergänzt]

Phosphor

Phosphor gelangt durch das Absinken organischen Materials, durch Mitfällung im Calcit oder an Schwebstoffe der Zuflüsse adsorbiert ins Sediment. In der Seemitte des Obersees und im Überlinger See findet der Großteil der autochthonen P-Sedimentation durch das Absinken von organischer Substanz oder von Kotpellets des Zooplanktons statt.

Die Sedimente des Bodensees zeigen seit 1900 eine Zunahme der P- Gehalte. Auch heute werden an der Sedimentoberfläche trotz des Rückgangs der sedimentierten Phosphatmengen noch relativ hohe P-Gehalte gemessen (Abb. 2.3-7), wobei jedoch die Gehalte in tieferen Sedimentschichten deutlich zurückgehen. Die Ursache hier-

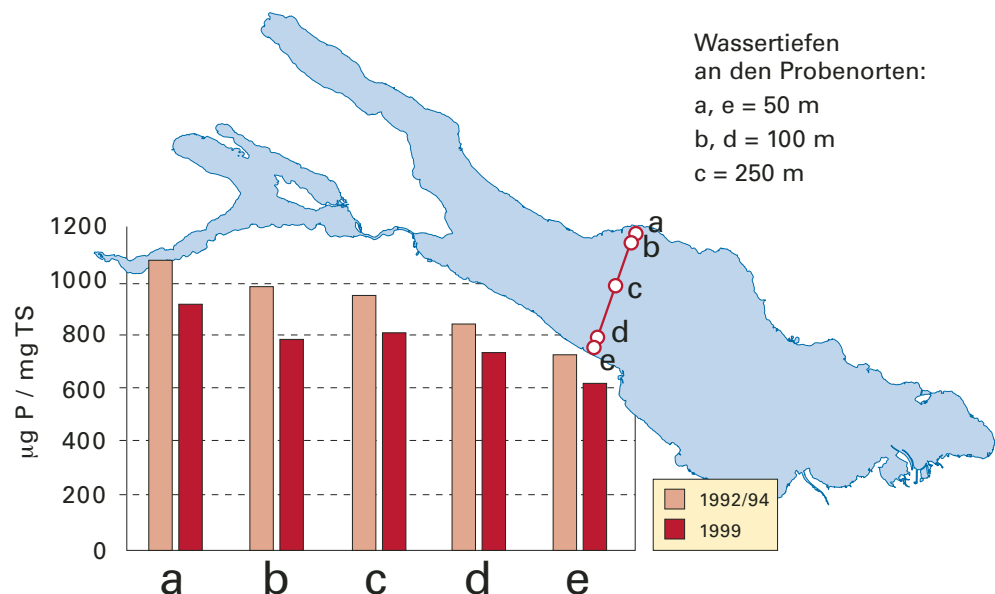


Abb. 2.3-7: Vergleich der Gesamt-P-Gehalte in den oberen 4 cm Sedimentschichten des Querprofils Fischbach-Uttwil [16]. TS = Trockensubstanz

für ist ein Aufstieg gelösten Phosphats aus tieferen (sauerstofffreien) Sedimentschichten und eine Anreicherung an der Oberfläche unter sauerstoffreichen Verhältnissen durch Ausfällung mit Eisenionen [21].

In den Sedimenten des Obersees nahm der Gehalt an *organischem Kohlenstoff* zwischen 1962/63 und 1985 um ca. 60% zu, während er im Untersee mehr oder weniger unverändert blieb [21]. Die maximale Belastung mit organischen Kohlenstoffverbindungen war 1978/80 erreicht. Seither hat die Kohlenstoffsedimentation um mehr als die Hälfte abgenommen [9].

Verstärktes Pflanzenwachstum während der Eutrophierung führte zu einer Zunahme der *biogenen Kalksedimentation* im See. Die Sedimente des Obersees erfuhren eine Zunahme des Karbonatgehaltes von 1962/63 bis 1985 um fast 40 %. Das hohe Calcit/Dolomit-Verhältnis (> 10) belegt die see-eigene Herkunft dieser Karbonatzunahme [21].

Anhand von Diatomeenschalen (Kieselalgenschalen), die im Sediment abgelagert wurden, kann die Entwicklung der Trophie des Sees verfolgt werden [24]. Beispielhaft ist dies an Sedimentkernen aus der Friedrichshafener Bucht in Kapitel 2.2 besprochen.

Schadstoffe im Sediment

Durch Ablagerung, Ausfällung oder Adsorption werden viele Stoffe - darunter auch Schadstoffe - im Sediment angereichert. Die Untersuchung von Sedimenten ermöglicht somit Aussagen zu Ursachen, Ausmaß und Entwicklung einer Belastung. Dies gilt für feststoffgebundene Substanzen, die keiner wesentlichen chemisch-physikalischen Veränderung unterliegen, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Schwermetalle und Radioisotope [10, 25, 26].

Bereits in den 1970er Jahren wurde im Bodensee vielerorts eine erhebliche Belastung der obersten Sedimentschichten mit Kohlenwasserstoffen festgestellt. Deutliche Anreicherungen fanden sich vor Zuflussmündungen [30]. Maximale Gehalte an Kohlenwasserstoffen (300 mg/kg Alkane und Alkene) wie auch an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (ca. 5,5 mg/kg TG) wurden in den um 1956–1963 sedimentierten Schichten festgestellt. Die Hauptmenge des PAK-Eintrags stammte aus der Kohlefeuerung und Industrie und wurde direkt durch die Luft oder über Zu-

Schadstoffe	im Wasser [ng/l]	im Sediment [mg/kg]	Verhältnis der Konzentrationen Sediment : Wasser
Kohlenwasserstoffe	1 000	100	100 000
polycyclische aromat. Kohlenwasserstoffe	60	1,2	20 000
organische Halogenverbindungen:			
Chloroform	10	0,002	200
Tetrachlorethen (Per)	10	0,002	200
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	n.n.	0,006	
Schwermetalle:			
Cadmium	20	0,4	20 000
Blei	300	30	100 000

Tab. 2.3-1: Größenordnungen von Stoffkonzentrationen im Wasser und in Sedimenten des Bodensees (ROSSKNECHT, unpubl. Daten); n.n. = nicht nachweisbar

Organischer Kohlenstoff und Karbonatgehalt

Diatomeen

Schadstoffe reichern sich im Sediment an

flüsse in den See eingetragen [25]. Auch durch Emissionen des seenahen Straßenverkehrs und der Motorschifffahrt findet ein Eintrag von Kohlenwasserstoffen statt (s. Kap. 3.4).

Höchstwerte für Pflanzenschutzmittel - mit Ausnahme von Heptachlor und DDT - wurden in Sedimentlagen der Jahre 1963-81 erreicht, während zahlreiche Verbindungen in älteren Schichten unter der Nachweisgrenze lagen. In der obersten Sedimentschicht wurden noch 1976-1981 Lindan, DDT, DDE und DDD in relativ hohen Konzentrationen gemessen [26]. Sedimentuntersuchungen aus dem Jahr 1991 deuten auf einen leichten Rückgang dieser Belastungen [27].

Die meisten Schwermetalle (besonders As, Pb, Zn) erreichen in den auf 1956-63 zu datierenden Schichten des Bodenseesediments Höchstwerte. Von allen Schwermetallen wurde Blei am stärksten (Maximum um 1961) gegenüber dem Hintergrundgehalt von 1890 angereichert (Faktor > 5). Die maximale Konzentration an Zink wurde gegenüber dem Pb-Maximum um 2-3 Jahre verschoben in den Schichten von 1963 gemessen. Die Verschiebung ist vermutlich durch das Löslichkeitsverhalten von Zn im Sediment, nicht durch den Zeitpunkt der Sedimentation zu erklären [28]. Der Cadmium-Gehalt der Sedimente erreichte Anfang bis Mitte der 70er Jahren ein Maximum. Hohe Belastungen der Sedimente wurden in den Mündungsbereichen von Schussen und Argen gemessen. Seit 1995 liegen die Schwermetallgehalte der obersten Sedimentschichten wieder weitgehend im Bereich des geogenen Hintergrunds [29].

Aus den Beobachtungen, dass die Belastungs-Maxima von Blei und Zink im gesamten See im selben Zeitraum liegen und die Zu- und Abnahme der Maximal-Gehalte Ende der 1950er bis Anfang der 1960er Jahre erfolgte, kann auf einen überwiegend atmosphärischen Eintrag dieser Stoffe geschlossen werden [28].

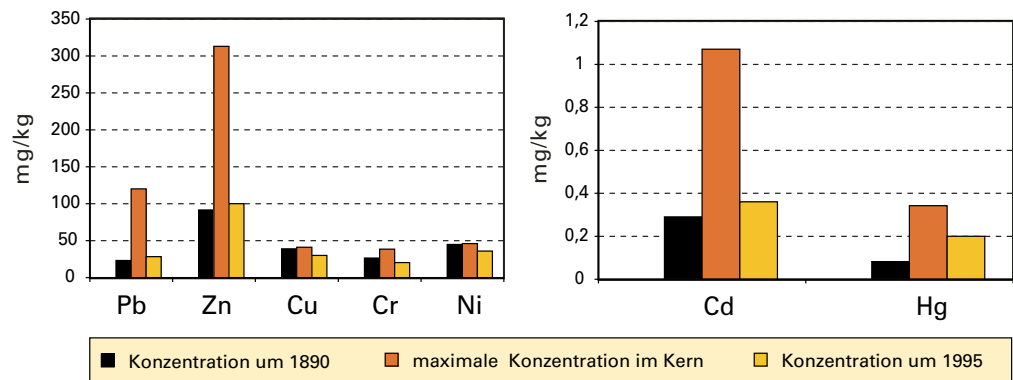


Abb. 2.3-8: Konzentrationen von Schwermetallen in jüngeren (1995) und älteren (1890) Schichten und Maximal-Konzentrationen in einem Sedimentkern aus dem zentralen Bodensee, Wassertiefe 252 m [nach 29]. Pb=Blei; Zn=Zink; Cu=Kupfer; Cr=Chrom; Ni=Nickel; Cd=Cadmium; Hg=Quecksilber.

Radioaktive Stoffe

Einträge radioaktiver Stoffe in den Bodensee erfolgten durch die Kernwaffentests in den 1950/60er Jahren und den Unfall im Reaktor Tschernobyl am 26.4.1986. Im zentralen Becken des Obersees spiegelt die ¹³⁷Cäsium (Cs)-Aktivität im Sedimentprofil die Entwicklung des ¹³⁷Cs-Eintrags über die Atmosphäre wider. Das Maximum des Kernwaffentest-Cäsiums lag in den untersuchten Sedimentkernen im Jahr 1998 in ca. 10 cm Sedimenttiefe, das sehr scharfe und hohe Maximum des Tschernobyl-Cäsiums in ca. 3 cm Tiefe [10]. Die hohe Bindungskapazität des partikulären Materials im Bodensee, insbesondere der Tonminerale, für Cs-Radionuklide bewirkte eine fast voll-

Der Schwermetallgehalt im Sediment liegt wieder im Bereich des geogenen Hintergrunds

Radioaktive Stoffe bleiben im Sediment gebunden

ständige Festlegung im Sediment, wodurch eine Schädigung der Biosphäre verhindert wurde. Hierdurch wurde die Gefährdung der Organismen durch radioaktive Stoffe deutlich verringert (s. auch Kap. 2.2 und 3.10).

2.3.3 Angestrebter Zustand

Die vor allem seit den 1970er Jahren ergriffenen Maßnahmen zur Bekämpfung der Eutrophierung trugen erfolgreich zur Reduktion der organischen Belastung der Sedimente und der Gefahr von Sauerstoffdefiziten in den obersten Sedimentschichten bei. Die Belastung mit Kohlenwasserstoffen und Schwermetallen konnte nicht zuletzt durch gezielte Luftreinhaltemaßnahmen verringert werden. Es verbleiben jedoch noch zahlreiche Stoffgruppen, deren Verhalten und Auswirkungen auf den Seegrund noch weitgehend unbekannt sind.

- Es dürfen keine Anreicherungen schwer bzw. nicht abbaubarer hormonaktiver oder toxischer Stoffe im Sediment stattfinden.
- Biologische Aktivität und Abbauleistung im Seeboden dürfen nicht durch sauerstoffzehrende oder toxische Einflüsse beeinträchtigt werden.
- Die Sauerstoff- und Redoxverhältnisse im Seeboden sollen dauerhaft auf ein Niveau gebracht werden, das die Freisetzung von Schadstoffen und größeren Mengen an Nährstoffen verhindert.
- Die Sauerstoffverhältnisse am Seegrund sollen eine ungestörte, natürliche Entwicklung der Bodenorganismen und des Fischlaichs ermöglichen.
- Zur Aufrechterhaltung aerober Lebensbedingungen muss die Sauerstoffkonzentration in den grundnahen Wasserschichten ganzjährig über 6 mg/l liegen. Dieser Wert soll auch in einer Folge von Jahren mit ungünstiger Zirkulation nicht unterschritten werden.
- Prozesse am Seeboden, die zur Festlegung oder Freisetzung von Stoffen führen, sollen intensiver untersucht werden.
- Anreicherungen persistenter organischer Schadstoffe im Sediment sollen verfolgt und deren Auswirkungen abgeklärt werden.
- Der Einflusses der Rheinvorstreckung ist in Bezug auf die Lebensgemeinschaften, den Stoffhaushalt und die Morphologie des Seebodens zu untersuchen.

Qualitätsziele

Forschungsbedarf

Literatur

- [1] BRAUN, E. & SCHÄRPF, K. (1994): Internationale Bodensee-Tiefenvermessung 1990. - Landesvermessungsamt Baden-Württemberg, 98 S., Anlagen u. Karten
- [2] SCHRÖDER, H. G., WESSELS, M. & NIESSEN, F. (1998): Acoustic facies and depositional structures of Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 351-368
- [3] WAGNER, B., SCHRÖDER, H.G., GÜDE, H., SANZIN, W. & ENGLER, U. (1998): Zustand des Seebodens 1992-1994, Sedimentinventare - Phosphor – Oligochaeten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 47, 46 S., Eigenverlag
- [4] BiCON AG, Kreuzlingen (2000): Das Rheindelta im Bodensee. Seegrundaufnahme von 1999. - Internationale Rheinregulierung, Bauleitung Lustenau
- [5] WAGNER, G. & BÜHRER, H. (1989): Die Belastung des Bodensees mit Phosphor- und Stickstoffverbindungen, organisch gebundenem Kohlenstoff und Borat im Abflussjahr 1985/86. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 40, 52 S. + Sonderband (Messdaten), Eigenverlag
- [6] BÜHRER, H., KIRNER, P. & WAGNER, G. (2000): Dem Bodensee in den Abflussjahren 1996 und 1997 zugeführte Stofffrachten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 53, 42 S., Eigenverlag

- [7] MÜLLER, G. (1966): Die Sedimentbildung im Bodensee. - Die Naturwissenschaften 53: 237-247
- [8] SCHMIEDER, K. (1998): Submerse Makrophyten der Litoralzone des Bodensees 1993 im Vergleich mit 1978 und 1967. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 46, 171 S., Eigenverlag
- [9] GÜDE, H. & SCHRÖDER, G. (1998/99): Leise rieselt im Bodensee - Sedimentfallenkampagne 1995/96. - 25 Jahre LfU - Jahresbericht 1998/99: 147-150
- [10] KAMINSKI, S., KONOPLEV, A., LINDNER, G. & SCHRÖDER, H.G. (1998): The fate of artificial caesium radionuclides in Lake Constance. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 369-409
- [11] SCHÖTTLE, M. (1969): Die Sedimente des Gnadensees. - Arch. Hydrobiol. Suppl. 35: 255-308
- [12] ROßKNECHT, H. (2003): Der Alpenrhein im Bodensee - Chemische Indikatoren zur Aufklärung physikalischer Verhältnisse. - Landesanstalt für Umweltschutz. Institut für Seenforschung, Berichte 41 S.
- [13] LUNDBECK, J. (1936): Untersuchungen über die Bodenbesiedlung der Alpenrandseen.- Arch. Hydrobiol., Suppl. 10: 207-358
- [14] ZAHNER, R. (1981): Zum biologischen Zustand des Seebodens des Bodensees in den Jahren 1972 bis 1978. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 25, 289 S., Eigenverlag
- [15] PROBST, L., WAGNER, B. & MEIER, A. (1988): Die Oligochaeten im Bodensee als Indikatoren für die Belastung des Seebodens (1972 bis 1978). - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 38, 69 S., Eigenverlag
- [16] IGKB (2000): Bericht über die Untersuchungen zum Seebodenzustand im Jahr 1999. - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 27, Eigenverlag
- [17] DEUFEL, J., LÖFFLER, H. & WAGNER, B. (1986): Auswirkungen der Eutrophierung und anderer anthropogener Einflüsse auf die Laichplätze einiger Bodensee-Fischarten. - Österreichs Fischerei 39 (12): 325-336
- [18] BADEN-WÜRTTEMBERG, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2002): Qualitative und quantitative Untersuchungen zur Entwicklung des Felchenlaichs im Bodensee. - LfU-Jahresbericht 2000/2001, S. 87-89. Karlsruhe
- [19] BÜHRER, H. (2001): Tolerierbare Phosphor-Fracht des Bodensee-Obersees. 2. Aufl. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 54, 78 S., Eigenverlag
- [20] IGKB (2000): 40 Jahre Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Eine Bilanz 1999. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 15 S., Eigenverlag
- [21] MÜLLER, G. (1997): Chronologie des anthropogenen Phosphor-Eintrags in den Bodensee und seine Auswirkung auf das Sedimentationsgeschehen. - S. 317-342 in: Geochemie und Umwelt, Springer, Berlin
- [22] IGKB (1998): Jahresbericht Januar 1997 bis März 1998 - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 25, Eigenverlag
- [23] ROßKNECHT, H. (1998): Langjährige Entwicklung chemischer Parameter im Bodensee-Obersee. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 48, 143 S., Eigenverlag
- [24] MOHAUPT, K. (1994): Rezente und subrezente Diatomeen im Sediment des Bodensee-Obersees als Abbild der Nährstoffbelastung. - Unveröff. Diplomarbeit Univ. Konstanz, Fak. Biol., 94 S.
- [25] MÜLLER, G., GRIMMER, G. & BÖHNKE, H. (1977): Sedimentary Record of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Lake Constance. - Naturwissenschaften 64: 427-431
- [26] ROßKNECHT, H. (1984): Schadstoffe in Bodensee-Sedimenten. - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee Bericht Nr. 31, 45 S., Eigenverlag
- [27] MÜLLER, H. (1994): Untersuchung von Schadstoffen in Bodensee-Sedimenten. - Jahresbericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee: Limnologischer Zustand des Bodensees Nr. 20, Eigenverlag
- [28] WESSELS, M. & SCHRÖDER, H.G. (1998): Lead and zinc in the sediments of Lake Constance, SW Germany. - Arch. Hydrobiol. Advanc. Limnol. 53: 335-349
- [29] MÜLLER, G. (1997): Nur noch geringer Eintrag anthropogener Schwermetalle in den Bodensee - neue Daten zur Entwicklung der Belastung der Sedimente. - Naturwissenschaften 84: 37-38
- [30] IGKB (1975): Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees (Stand 1974). - Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee - Bericht Nr. 16, 33 S., Eigenverlag