

Die Sedimentbildung im Bodensee

GERMAN MÜLLER*

Mineralogisch-Petrographisches Institut der Universität, Laboratorium für Sedimentforschung, Heidelberg

Bisherige Untersuchungen

1960 wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft das „Bodensee-Projekt“ in den Schwerpunkt „Wasserforschung“ aufgenommen mit dem Ziel, genaue Angaben über die hydrodynamischen und biologischen Vorgänge im Bodensee, die Wassermenge und Wassergüte des Bodensees und seiner Zuflüsse sowie die Gewässernutzung, insbesondere zur Trinkwasserversorgung, zu erhalten. Da zwischen Wasserkörper und Bodensediment eines Gewässers zahlreiche Wechselwirkungen bestehen, die zu Reaktionen im Grenzbereich Sediment-Wasser führen, erschien es wünschenswert, die Sedimente des Bodensees in diese Untersuchungen einzubeziehen.

Der Bodensee ist seit dem Ende des letzten Jahrhunderts in stärkerem Maße naturwissenschaftlich erforscht worden, wobei der Schwerpunkt eindeutig auf den biologischen Gebieten lag. Unter den bis 1952 erschienenen etwa 1650 Veröffentlichungen befassen sich nur sehr wenige mit der Sedimentbildung: so etwa die Arbeiten von BAUMANN [2] und SCHMIDLE [9] über die Bildung der „Schnegglisande“ im Untersee sowie eine Arbeit von HUMMEL [3] „Über Sedimentbildung im Bodensee“.

Die Untersuchungen HUMMELs basieren auf etwa 70 (die genaue Zahl wird nicht angegeben) Sedimentproben aus dem Obersee. Da Angaben über Entnahmeort, Wassertiefe, Granulometrie usw. fehlen und auch keinerlei Zahlenangaben für Einzelproben gemacht werden, kommt den mehr summarischen Ausführungen HUMMELs leider nur wenig Bedeutung zu.

1956 wurde von SEIBOLD aus 13 m Seetiefe 160 m landab etwa 2 km südöstlich von Sipplingen ein einziger Kern von 1,5 m Länge auf Korngrößenverteilung, Wasser- und Carbonatgehalt untersucht und mit einem Adria-Kern verglichen.

Ebenfalls 1956 untersuchte ZÜLLIG [13] im Rahmen einer größeren Arbeit über Sedimente der Alpenseen den Chemismus eines 70 cm langen Sedimentkernes aus dem Obersee (Höhe Arbon, Seemitte, 170 m tief). Seine Angaben können nicht mit unseren Ergebnissen verglichen werden, da sie sich auf das entkalkte Sediment beziehen.

Allgemeine Angaben

Der Bodensee ist mit einer Oberfläche von 539 km² nach dem Genfer See (582 km²) der zweitgrößte der

Alpenseen; ihm folgt der Gardasee mit 390 km². Mit der größten Tiefe von 252 m liegt er hinter Comersee (440 m), Gardasee (346 m), Lago Maggiore (372 m) und Genfer See (310 m) an fünfter Stelle. Der Rauminhalt des Bodensees beträgt 49 km³, er liegt hier an 3. Stelle hinter dem Genfer See (89 km³) und Gardasee (50 km³). Die längste Entfernung zwischen Bregenz und Stein am Rhein beträgt 69 km, die größte Breite zwischen Kressbronn und Rorschach ist nahezu 15 km.

Der Bodensee hat die Form eines Stiefelziehers (s. die Karten). Streng genommen besteht er aus zwei Seebecken: Dem Obersee (oder Bodensee im engeren Sinne) und dem Untersee. Biologische, chemische und nicht zuletzt die mineralogisch-sedimentpetrographischen Untersuchungen zeigen, daß diese Trennung nicht nur morphologisch zu Recht besteht. Der Obersee liegt bei Mittelwasser 395,0 m über N. N., der Untersee 30 cm tiefer bei 394,7 m. Die größte Tiefe im Obersee beträgt 252 m, im Untersee nur 46 m, die Zahlen für die mittleren Tiefen sind 100 bzw. 28 m.

Entstehung des Bodensees

Der Bodensee ist ein verhältnismäßig junges Gebilde. Nach WAGNER [11] ist das Bodenseebecken in erster Linie das Werk des großen Rheingletschers, der während der Würm-Eiszeit bis an die Donau vorgestoßen war.

Vor etwa 18000 Jahren bildeten sich beim Rückgang des Gletschers zwischen der äußeren Jung-Endmoräne und dem neuen Gletscherrand Stauseen, die zunächst noch durch die alten Gletschertore nach Norden zur Donau hin entwässerten, bis bei weiterem Rückzug ein tieferer Weg vor dem Eisrand nach Westen gefunden wurde und der Rhein alle Schmelzwässer nach Westen hin abführte.

Es kann kein Zweifel bestehen, daß das Bodenseebecken nicht nur durch glaziale Erosion geformt wurde, sondern daß auch tektonische Kräfte wirksam waren: So verlaufen die wichtigsten Bruchsysteme im Uferbereich mehr oder weniger im Streichen der Längerstreckung des Bodenseebeckens.

Mit dem Rückzug des Rheingletschers füllte sich das Bodenseebecken. Als der Gletscher bis hinter das Alpentor abschmolz, folgte ihm der See bis über 70 km von der heutigen Rheinmündung nach Süden. Als tiefer Fjord ragte vor etwa 15000 Jahren der Bodensee in den Alpenraum hinein und hatte eine Ausdehnung von etwa 1200 km², war also mehr als doppelt so groß wie heute.

* Dem Altmeister der Bodensee-Forschung, Herrn Prof. Dr. MAX AUERBACH gewidmet.

Durch die starke Verschüttung mit Sedimentmaterial wanderte das Rheindelta rasch nordwärts bis zu seiner heutigen Lage.

Morphologie des Seebodens

Entsprechend der Gliederung der Ozeanböden in Schelf, Kontinentalabhang und Tiefseebecken kann auch das Seebecken des „Schwäbischen Meeres“ in drei Regionen aufgeteilt werden: Den Bereich der Uferbank, der Halde und des Schwebs.

Die Uferbank oder „Wysse“ (=Weisse) wird ungefähr durch den Verlauf der 10 m-Tiefenlinie begrenzt. Sie wurde durch die Wirkung der Wellen im Uferbereich gebildet und ist dort besonders stark ausgebildet, wo das Ufergelände flach in den See übergeht. Die „Wysse“ reicht bei Friedrichshafen bis etwa 1000 m in den See hinein; zwischen Rheinspitz und Rohrspitz, im Delta-gebiet des Alpenrheins, sind es sogar bis 2000 m. Im Steilufergebiet ist die Wysse sehr schmal, 20–30 m sind dort die Regel.

Im Durchschnitt liegt die Breite der Uferbank bei einigen Hundert Metern.

Die Halde (vergleichbar mit dem Kontinentalabhang) schließt mit scharfer Grenze an die Wysse an. Sie hat meist ein stärkeres Gefälle und endet in den zentralen Bodensee-Bereichen in den flachen „Schweben“, in denen sich in erster Linie das feinkörnigste Material absetzt.

Der Neigungswinkel der Halde ist örtlich verschieden: In der Bregenzer Bucht werden max. 15°, vor Rorschach max. 7–8° erreicht. Die flachsten Neigungswinkel treten im Untersee auf.

Im westlichen Obersee (Überlinger See) mit seinen Steilufern ist das Gefälle entsprechend steiler; es beträgt vor Meersburg und Überlingen 22–26°, vor Mainau 17°. Der höchste Wert wird bei Wallhausen vor dem „Teufelstisch“ mit 60° erreicht.

Zuflüsse, Strömungsverhältnisse

Mit Abstand der größte Zufluß des Bodensees ist der Alpenrhein, der mit einer mittleren Wasserführung von 227 m³/sec etwa 73 % am Gesamtzufluß des Bodensees ausmacht.

Die übrigen Zuflüsse — mit Ausnahme vielleicht der Bregenzer Ach — treten in ihrer Wasserführung stark zurück (Tabelle 1).

Tabelle 1. Mittlere jährliche Wasserführung (in m³/sec) wichtiger Bodenseezuflüsse (nach [4])

Alpenrhein	227,0	Schussen	9,0
Bregenzer Ach	48,8	Dornbirner Ach	3,0
Argen	17,4	Seefeldler Ach	2,9
Radolfzeller Ach	9,8		

Insgesamt entwässert der Alpenrhein ein Einzugsgebiet von 6500 km², die übrigen Zuflüsse zusammen 4340 km².

Die jährliche Gesamtwasserzufuhr beträgt 12 km³, bei einem Rauminhalt von knapp 50 km³ würde es also etwas mehr als 4 Jahre dauern, das Bodenseebecken neu zu füllen.

Die vorherrschende Strömungsrichtung im Bodensee wird durch den größten Zufluß, den Alpenrhein, in-

duziert. Von der Mündung des Flusses verläuft die Hauptströmung an Lindau vorbei nahe dem deutschen Ufer nach NW bis zur Konstanzer Bucht und in den Überlinger See hinein.

Die Untersuchung der Sedimente

1. Probenahme

Während der letzten 3 Jahre wurden im Bodensee 79 Sedimentproben aus dem Uferbereich und 143 Proben aus dem See selbst entnommen. Die Probenahme bei wasserbedeckten Sedimenten geschah mit Hilfe eines Bodengreifers nach AUERBACH-WIPPERMANN [1], der nach dem Stechkastenprinzip arbeitet. Mit seiner Hilfe war es möglich, etwa 15 cm lange Sedimentprismen mit einer Grundfläche von 10 × 10 cm völlig ungestört aus dem Seeboden zu entnehmen. Untersucht wurden jeweils die obersten 5 cm des Sediments.

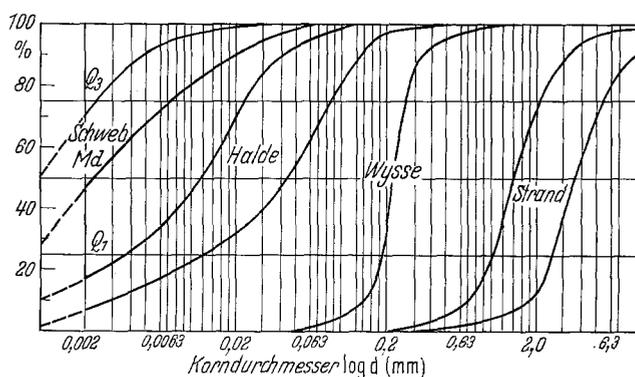


Fig. 1. Typische Kornverteilungskurven für Sedimente der Uferzone, der Wysse, der Halde und des Schwebs

Vom 1. 10. 1962 bis zum 30. 9. 1963 wurden außerdem am Alpenrhein bei Lustenau/Vorarlberg und Seerhein bei Konstanz durch Probenehmer täglich Wasserproben entnommen, die im Laboratorium auf ihren Gehalt an mineralischem Schwebgut untersucht wurden. Außerdem wurden an jedem fünften Tag die wichtigsten Ionen dieser Wässer bestimmt, um Angaben über die Hydrochemie des Bodensees zu erhalten. Die Ergebnisse wurden kürzlich publiziert [6c, e].

2. Granulometrie

a) Korngröße und Korngrößenverteilung, Sedimenttypen

Korngröße und Korngrößenverteilung sind die wichtigsten Eigenschaften klastischer* Sedimente, sie sind der Ausdruck der physikalischen Bedingungen im Transport- und Sedimentationsraum.

Auch für den Bodensee gilt generell das „klassische“ Prinzip, daß die Korngröße vom Ufer nach uferfernen, tieferen Gebieten abnimmt. Fig. 1 zeigt typische Kornverteilungskurven aus den verschiedenen Bereichen des Bodensees, welche die Abnahme der durchschnittlichen Korngröße (= Medianwert Md, Schnittpunkt der 50%-Linie mit den Kornverteilungskurven) vom Strandbereich bis zum Schweb deutlich erkennen läßt. Vom Strand zur Wysse, von der Wysse zur Halde

* Klastisch sind Gesteine, die durch vorwiegend mechanische Zerstörung älterer Gesteine oder von Hartteilen von Organismen entstanden sind; griech. κλαστος = gebrochen, von κλάω = brechen, zerbrechen. Unter Detritus versteht man das zerriebene Material, welches die klastischen Gesteine aufbaut; lat. detritus = zerrieben, von detere = abreiben, zerreiben.

und von der Halde zum Schweb nimmt die durchschnittliche Korngröße jeweils um etwa den Faktor 10 ab.

In Fig. 2 ist der Medianwert gegen die Seetiefe aufgetragen. Zwischen 0 und 100 m Wassertiefe ist eine Relation — wenn auch mit großen Variationsbereichen für die Einzelwerte — deutlich zu erkennen.

Die Korngrößenverteilung und daraus abzuleitende Parameter in einem klastischen Sediment können stark vereinfacht — eine ausführliche Darstellung soll demnächst an anderer Stelle folgen — durch das Verhältnis Sand:Silt:Ton ausgedrückt werden, wobei unter „Sand“, „Silt“ und „Ton“ hier die Korngrößenbereiche von 2,0 bis 0,063, 0,063 bis 0,002 bzw. <0,002 mm verstanden werden (vgl. hierzu [6a]). Diese Ausdrucksweise bietet die Möglichkeit der einfachen Darstellung der mechanischen Zusammensetzung eines Sediments als Punkt in einem Konzentrations-Dreieck mit Sand—Silt—Ton als Eckpunkten (Fig. 3). Nach den bei Fig. 3 für die einzelnen Felder festgesetzten Gesteinsbezeichnungen ist dann die Benennung des Sediments (z. B. tSSi = toniger Sandsilt) gemäß seiner Anteile an Sand, Silt oder Ton möglich. Zur Darstellung der Verteilung der verschiedenen Sedimenttypen im Bodensee (Fig. 4) wurden jeweils mehrere Felder des Dreiecks zusammengefaßt und mit einer gemeinsamen Signatur versehen. Es lassen sich folgende Sedimenttypen voneinander unterscheiden:

- Sedimenttyp I: Sand (z. T. tonig, siltig)*
- Sedimenttyp II: Siltsand + Sandsilt (z. T. tonig)
- Sedimenttyp III: Silt (z. T. tonig, sandig)
- Sedimenttyp IV: Tonsilt (z. T. sandig)
- Sedimenttyp V: Siltton (z. T. sandig).

Mit der Ausnahme von zwei Sedimentproben (s. Fig. 3) können alle Sedimente des Bodensees mit dieser Typisierung erfaßt werden.

Betrachtet man die regionale Verteilung der einzelnen Sedimenttypen in Fig. 4, so ist eine regelmäßige Abfolge der Typen in Zonen ± parallel zum Ufer in Richtung zur Seemitte zu beobachten.

Typ I ist auf die Flachwasserzone im unmittelbaren Uferbereich und auf die zeitweilig wasserbedeckten Deckschichten des Rheindeltas begrenzt.

Typ II ist das typische Sediment der Wyse und des ufernahen Bereiches der Halde, wie auch der Deckschichten der Deltas nahegelegenen Vorschüttungsschichten (foreset beds).

Typ III stellt im Obersee ein typisches Übergangssediment zwischen Typ II und Typ IV dar und besitzt nur eine sehr geringe flächenhafte Ausdehnung im oberen Bereich der Halde.

In den Deltas (vor allem Alpenrhein, Alter Rhein) ist er das typische Sediment der den Deckschichten ferngelegenen Vorschüttungsschichten und eines Teils der Basisschichten (bottomset beds) des Alpenrheindeltas (Bereich Rheinmündung — Lindau, Fig. 4).

* Die eigentlichen Ufersedimente sind nicht in Fig. 3 und 4 einbezogen, bei ihnen handelt es sich vorwiegend um Sande, Kiessande und Sandkiese (Kies = Fraktion > 2,0 mm), also um Mischungen aus Sand und Kies in wechselnden Anteilen. Bezieht man diese reinen Ufersedimente in das Schema ein, so wäre Sedimenttyp I sinngemäß in Sandkies + Kiessand + Sand (z. T. siltig, tonig) zu erweitern.

Abweichend vom Obersee ist im Untersee Typ III das mit Abstand vorherrschende Sediment. Es stellt hier keinen Übergangstypus sondern den Normaltypus dar (Fig. 14).

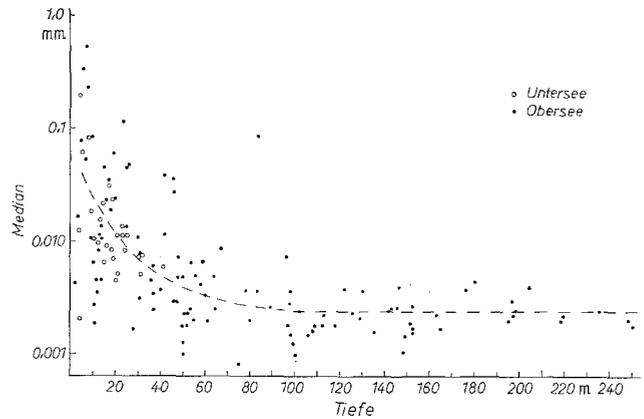


Fig. 2. Beziehungen zwischen der durchschnittlichen Korngröße (Md = Median) und der Tiefenlage eines Sediments im See

Typ IV und V sind im Obersee mit Abstand die häufigsten Sedimenttypen. Sie bedecken nahezu die gesamte Fläche des zentralen Bodensees und sind charakteristisch für die mittleren und tiefen Bereiche der Halde sowie der Schweb.

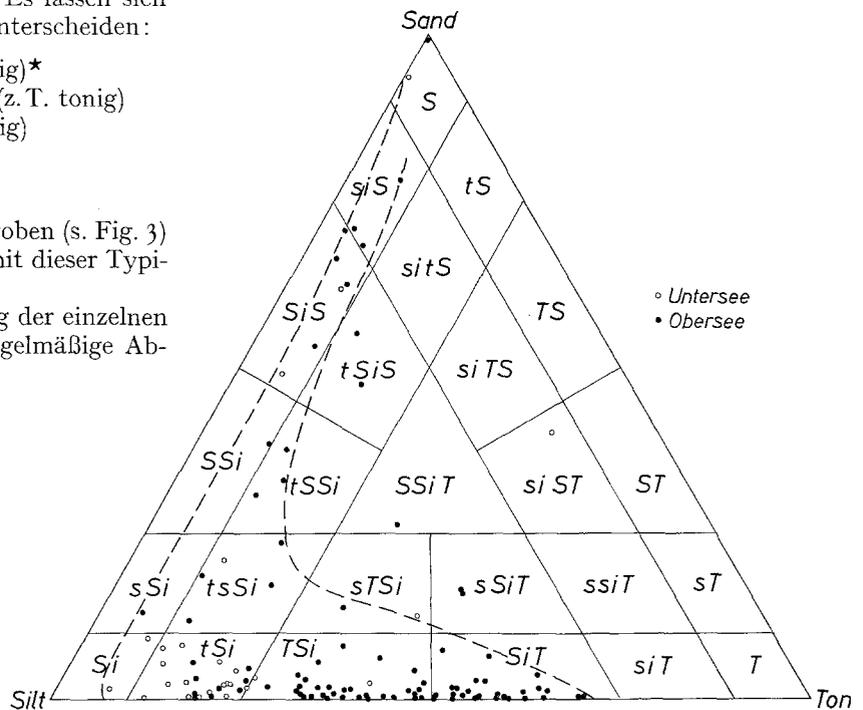


Fig. 3. Mechanische Zusammensetzung der Bodensee-Sedimente, dargestellt im Sand-Silt-Ton-Dreieck. Benennung der Sedimente nach MÜLLER [6b]. Es bedeuten: S = Sand, s = sandig, Si = Silt, si = siltig, T = Ton, t = tonig, Beispiel: tSSi = toniger Sandsilt; tsSi = tonig sandiger Silt

Im Untersee treten diese Typen lediglich in einer schmalen Rinnenzone im Gnadensee (nördlicher Untersee) auf.

Während bei den Typen I—III eine mehr oder weniger regelmäßige Anordnung bzw. Abfolge in bezug auf die Uferlinien zu beobachten ist, trifft dies für die Sedimenttypen IV und V nur bedingt zu. So nimmt der Tonsilt-Bereich (Typ IV) im nordwestlichen Obersee eine weit größere Fläche als im südlichen Seeteil ein, er ragt außerdem zwischen Friedrichshafen und Meers-

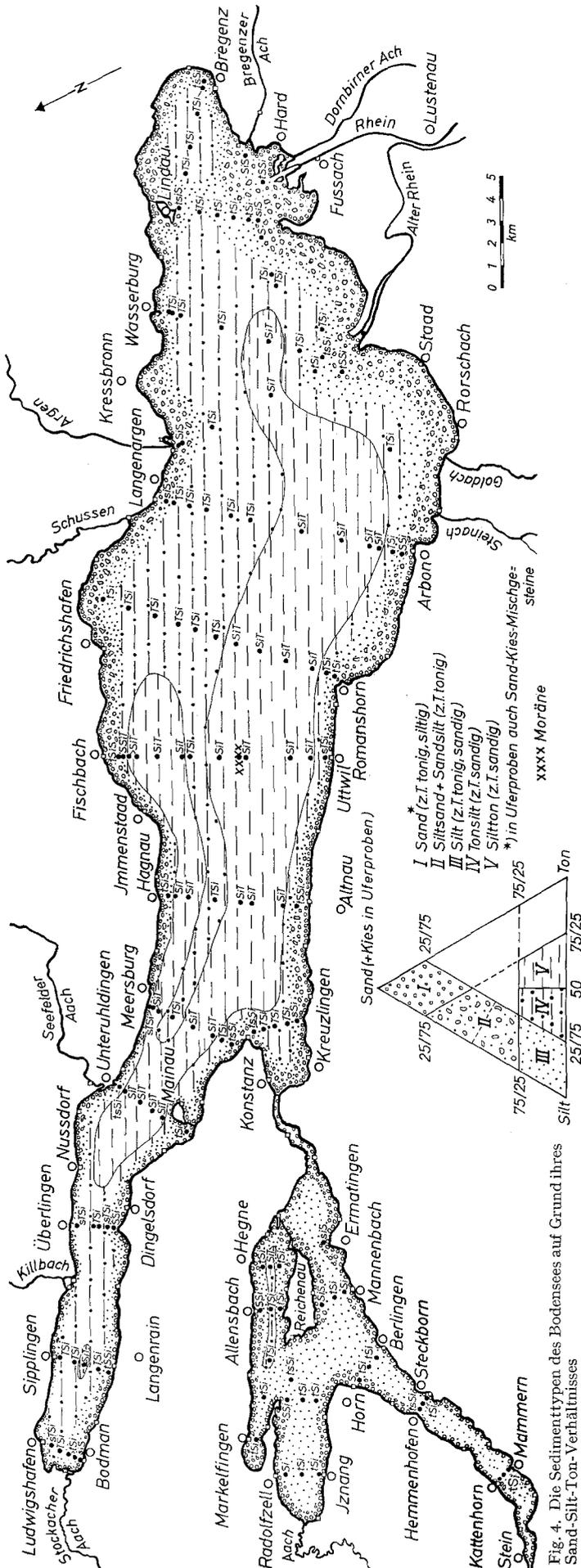


Fig. 4. Die Sedimenttypen des Bodensees auf Grund ihres Sand-Silt-Ton-Verhältnisses

burg weit in den Siltton-Bereich (Typ V) hinein und gliedert diesen in einen nördlichen und südlichen Bereich auf.

Wir glauben, daß diese unregelmäßige, asymmetrische Sedimentverteilung in erster Linie durch die im Bodensee herrschenden Strömungsbedingungen verursacht wird und sich in ihr die hydrodynamischen Verhältnisse widerspiegeln. Es kann erwartet werden, daß im Hauptströmungsbereich vor allem das gröber-klastische Material absinkt. Die feinstkörnigen Partikeln

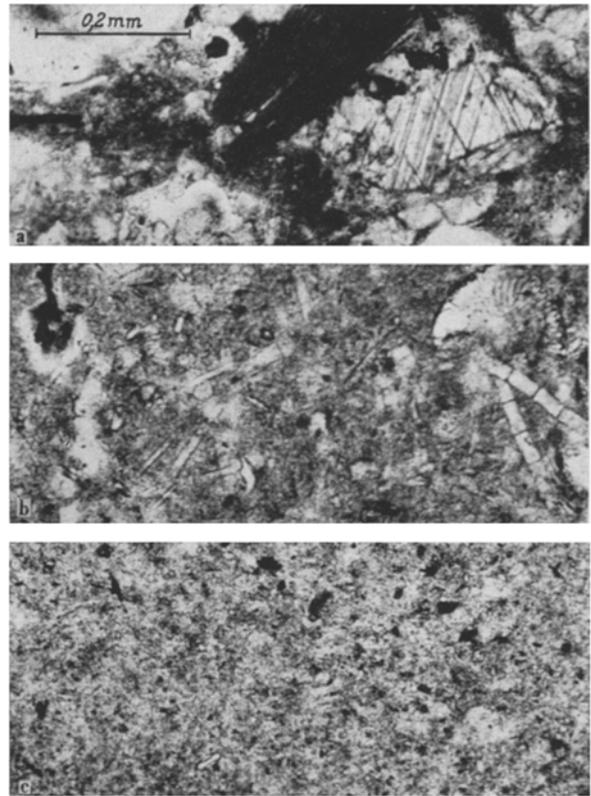


Fig. 5a—c. Dünnschliffbilder vorwiegend aus klastischem Material aufgebauter Sedimente des Obersees. a Toniger Siltsand (Probe Uttwil-Fischbach 12). Bei den größeren Sandkörnern handelt es sich um Quarz, Feldspat, Calcit und Glimmer. b Sandiger Tonsilt (Probe Uttwil-Fischbach 1) mit reichlich Diatomeen. c Siltton (Probe Uttwil-Fischbach 8)

bleiben zum großen Teil in Schwebe, um in den Seengebieten mit geringerer Strömungsgeschwindigkeit zum Absatz zu kommen oder wohl auch zum geringen Teil durch den Seerhein aus dem Obersee herauszuzugelen.

In Fig. 5 sind wichtige Sedimenttypen des Obersees im Dünnschliff-Bild wiedergegeben.

Auf eine wichtige Beobachtung soll hier noch aufmerksam gemacht werden: Auf dem Profil Uttwil—Fischbach wurde im Bereich der Uttwiler Halde anstehende Moräne gefunden (Fig. 4). Dieser Bereich stellt somit ein Gebiet ohne See-Sedimente dar. Wahrscheinlich verhinderte hier das Gefälle der Halde eine Sedimentakkumulation [6b].

b) Sortierung der Sedimente

Mit Ausnahme der Ufersande und der strandnahen Wysse-Sedimente zeigen die eigentlichen See-Sedimente eine schlechte Sortierung. Diese schlechte Sortierung wird z. T. nur vorgetäuscht, weil es methodisch

nicht möglich ist, wirklich die einzelnen Schichten (Phasen), die einem bestimmten Ereignis im Sedimentationsraum zukommen, getrennt zu erfassen. Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß die während der Hochwasserperiode des Alpenrheins abgesetzten Teilchen bedeutend größer sind als solche, die während Niedrigwasser abgesetzt wurden.

Da es innerhalb eines jeden Jahres zu extremen Schwankungen in der Wasserführung des Alpenrheins kommt und hierdurch auch die Strömungsgeschwindigkeiten im Bodensee beeinflusst werden (die wiederum für die Größe der absinkenden Teilchen verantwortlich sind), besteht eine Jahresschicht aus vielen, nur Bruchteile von mm dicken Einzelschichten, die in sich sicherlich weit besser sortiert sind als die Summe der Einzelschichten.

Als weitere Ursache der schlechten Sortierung kommt noch die Überlagerung der normalen Sedimentation klastischer Partikeln durch biogene Ausscheidungen (s. unten) hinzu, die in bezug auf die Korngrößenverteilung und die hieraus abzuleitende Sortierung als Störfaktoren wirken.

Physikalische Eigenschaften

Farbe

Die Sedimente variieren in der Farbe je nach ihrem Anteil an biogenem Calcit oder Hydrotroilit zwischen grauweiß und nahezu schwarz in nassem Zustand. Im Normalfall überwiegen jedoch mittelgraue bis schwach bräunliche Farbtönungen.

Wassergehalt (bez. auf Naßgewicht)

Der Wassergehalt der Sedimente ist äußerst hoch, er liegt zwischen etwa 35 % in Ufersanden und über 70 % in ton- oder karbonatreichen Sedimenten.

Die Abhängigkeit des Wassergehaltes von der Höhe des Tongehaltes ist in Fig. 6a dargestellt.

Betrachtet man die Punkteverteilung insgesamt, so ist die zu erwartende Abhängigkeit vom Tonanteil nur wenig ausgeprägt. Gliedert man jedoch die Probenpunkte in solche vom Obersee und andere vom Untersee auf, so ist zu erkennen, daß nunmehr bei den Sedimenten des Obersees eine gewisse Abhängigkeit vom Tonanteil besteht, bei den Untersee-Proben hingegen bereits ab 10% Tonanteil fast ausnahmslos ein hoher Wassergehalt unabhängig vom Tongehalt vorhanden ist. Trägt man in Fig. 6b den Wassergehalt gegen den Carbonat-Gehalt auf, so zeigt sich, daß bei den Proben des Untersees die Höhe des Wassergehaltes an die Höhe des Carbonat-Gehaltes gebunden ist. Aus Untersuchungen an rezenten Flachwasser-Carbonat-Schlammern südlich von Florida ist bekannt, daß hier ähnlich hohe und z. T. noch höhere Wassergehalte als in silikatischen Tonen auftreten.

Wir können also annehmen, daß ein hoher Carbonat-Gehalt in den Bodensee-Sedimenten sich ähnlich auf die Wassergehalte der Sedimente auswirkt wie ein hoher Tonmineralanteil.

Dichte der Sedimente

Die Dichte der Sedimente liegt im Obersee deutlich höher als im Untersee: Die 13 Proben des Profils Uttwil—Fischbach besitzen Dichten, die zwischen 2,61 und

2,83 liegen, im Untersee variieren die Dichtewerte im Profil Gnadensee (8 Proben) zwischen 2,11 und 2,32. Diese Unterschiede sind in erster Linie wohl auf den im Untersee höheren Gehalt an organischer Substanz zurückzuführen.

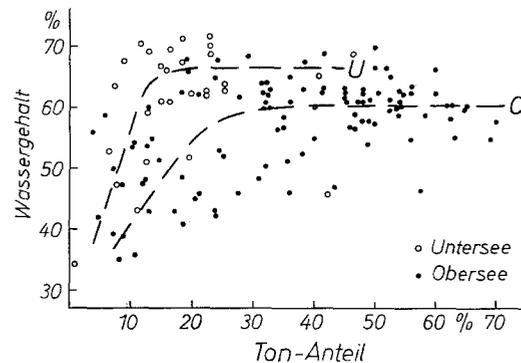


Fig. 6a. Abhängigkeit des Wassergehaltes der Sedimente vom Ton-Anteil

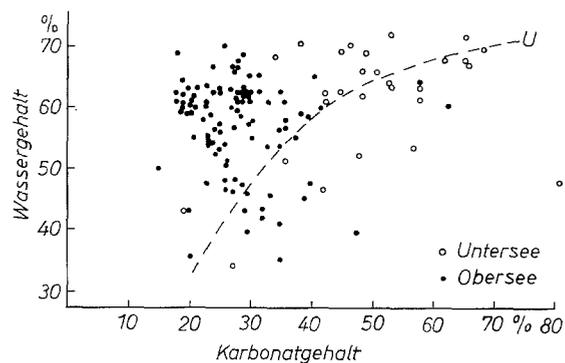


Fig. 6b. Abhängigkeit des Wassergehaltes der Sedimente vom Carbonat-Anteil

Zusammensetzung der Sedimente

Die Sedimente des Bodensees werden aus einer Vielzahl von Mineralien bzw. Stoffen aufgebaut, die nach ihrer Herkunft bzw. Entstehung in drei Gruppen aufgeteilt werden können (Tabelle 2).

Tabelle 2. Stoffliche Zusammensetzung der Bodensee-Sedimente

A. natürlich-detritische Bestandteile	hauptsächliche Verbreitung in Sedimenttyp:	B. detritische Abfallstoffe	hauptsächliche Verbreitung in Sedimenttyp:
„Sand-Komponenten“ Gesteinsfragmente Quarz Kalifeldspat Saure Plagioklase Muskowit Biotit Schwerminerale	I—II	Kohle Schlacken Gläser Baumaterialien	I—II
Calcit Dolomit	I—V	Calcit Aragonit	II—III I—II
„Ton-Komponenten“ Kaolinit Glimmertone Chlorit quellfähige Tonminerale und mixed-layer Tonminerale	IV—V	Opal Hydrotroilit Organische Substanzen	III—V III—V I—V

Während in den Sedimenten des Obersees die Mineralien (+ Gesteinsfragmente) der Gruppe A mit großem Abstand überwiegen, bestehen die Sedimente des Untersees vorwiegend aus Mineralien und Stoffen der Gruppe C. Die Zusammenhänge zwischen der stofflichen Zusammensetzung der Sedimente und dem Sedimenttyp sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die natürlich-klastischen Bestandteile

Die nicht-carbonatischen Bestandteile der Gruppe A werden in Tabelle 2 nach dem bevorzugten Auftreten der jeweiligen Komponente in der Sand- oder Ton-

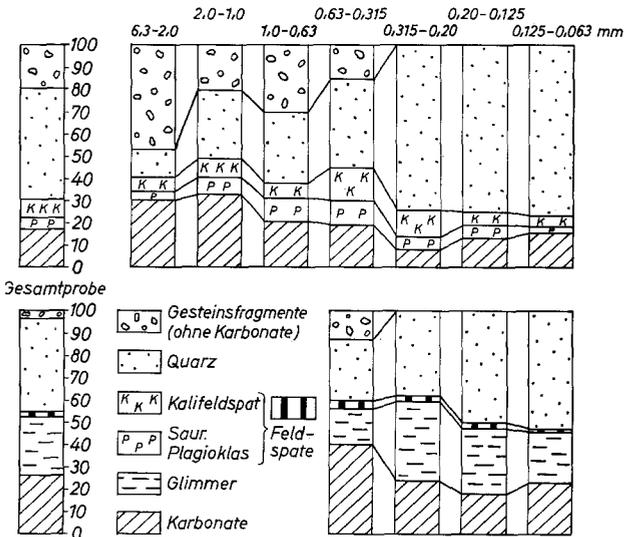


Fig. 7. Mineralbestand zweier Ufersande. In den Siebfractionen der Proben nimmt mit abnehmender Korngröße der Quarzgehalt zu, der Feldspatgehalt und der Anteil an Gesteinsbruchstücken ab. Oben: Probe 11 (Fischbach), unten: Probe 27 (Alpenrhein)

fraction als „Sand“- oder „Ton“-Komponenten bezeichnet. Tatsächlich bestehen die detritischen nicht-carbonatischen Anteile der Ufersande des Obersees ausschließlich aus „Sand“-Komponenten, wohingegen

die feinstkörnigen Sedimenttypen stets auch größere Mengen von Quarz und Feldspaten enthalten. Der Sedimenttyp III (Silt) stellt im Obersee ein Mischsediment aus vorwiegend „Sand“- und „Ton“-Komponenten dar.

Die detritischen Carbonate sind unabhängig vom Median in allen Sedimenttypen des Obersees in etwa gleich hohen Anteilen enthalten, sie machen etwa $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{3}$ am Gesamtsediment aus. Im Untersee treten die detritischen Carbonate sehr stark zurück.

Vergleicht man die Zusammensetzung zweier Ufersande (Fig. 7), so zeigt sich, daß Gesteinsfragmente, Quarz, Feldspate und Glimmer, sowie Carbonate an deren Aufbau beteiligt sind. In der Probe Fischbach fehlen die Glimmer völlig, in der Alpenrheinprobe machen sie etwa 25 % des Sandes aus. Für beide Proben ist charakteristisch, daß bei einer Aufteilung in verschiedene Kornklassen der Gehalt an Gesteinsfragmenten und an Feldspaten mit abnehmender Korngröße ab-, der Quarzgehalt dagegen stark zunimmt.

Bei noch kleineren Korngrößen geht der Quarzgehalt dann auf Kosten des Tonmineralanteils stark zurück. Geht man vom Ufer in Richtung Seemitte (Fig. 8, Profil Uttwil-Fischbach), so beobachtet man mit abnehmender Korngröße, die sich in der Veränderung des Sand-Silt-Ton-Verhältnisses ausdrückt, die Abnahme des Quarz- und Feldspatgehaltes sowie das völlige Verschwinden der Gesteinsfragmente bei gleichzeitiger Zunahme der eigentlichen Tonminerale (Phyllosilikate).

Diese Tonminerale machen in den Sedimenten des Typs IV und V bis zu über 50% der Mineralsubstanz aus, wobei Kaolinit und Glimmertone mit Abstand überwiegen, ihnen folgt Chlorit. Die Kombination Kaolit-Glimmertone-Chlorit tritt in allen Seesedimenten auf, es ist die typische Tonmineral-Kombination des vom Alpenrhein in den Bodensee gelieferten Detritus. Quellfähige Tonminerale (in erster Linie Vermiculit) und Tonminerale mit unregelmäßiger Wechsellagerungsstruktur mit quellbarem Anteil (die vor allem

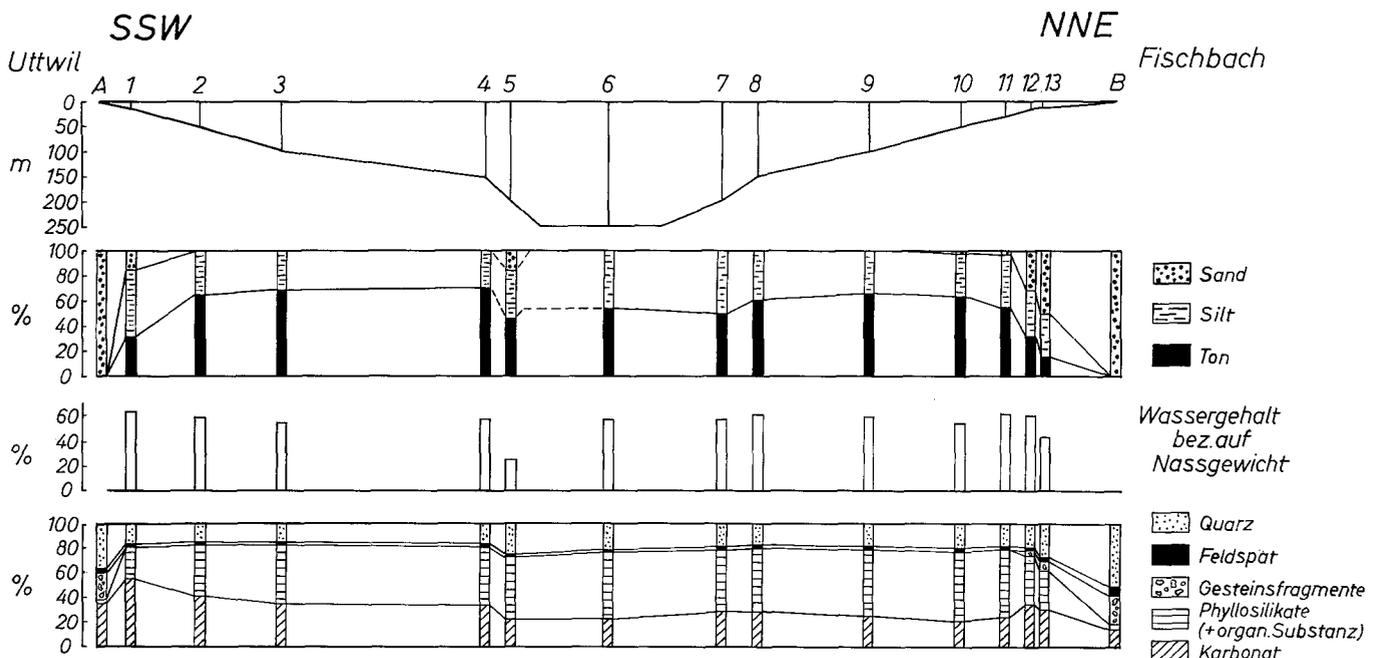


Fig. 8. Beziehungen zwischen Granulometrie (Sand-Silt-Ton-Verhältnis), stofflicher Zusammensetzung der Sedimente sowie Wassergehalt und der Lage im Profil Uttwil-Fischbach. Probe 5: anstehende Moräne

aus den Gesteinen der Molasse und der vulkanischen Hegau-Provinz stammen) treten quantitativ völlig zurück, lokal können sie jedoch angereichert sein. An anderer Stelle soll ausführlicher hierüber berichtet werden.

Bei den Glimmertonen liegt nach röntgenographischen und lichtoptischen Untersuchungen sowohl normaler dioktaedrischer Illit als auch der seltenere trioktaedrische Glimmertone (Ledikit) vor. Die Basisreflexe der Glimmertone zeigen gegenüber Muskowit und Biotit eine schwache Linienverbreiterung.

Bei der Untersuchung der von den Zuflüssen in den See gebrachten Schwebstoffe zeigte sich, daß der trioktaedrische Glimmertone nur durch den Alpenrhein in den Bodensee gebracht wird, er somit ein Leitmineral für den Alpenraum darstellt. Im See selbst ist eine rasche Abnahme des Ledikit-Gehaltes von der Rheinmündung zum Überlinger See festzustellen.

Bei den im Schwebgut des Alpenrheins und in den Bodensee-Sedimenten anzutreffenden Glimmertonen handelt es sich um mechanisch zerkleinerte Muskowit- und Biotitblättchen, bei denen durch Aquatolyse während des Transportes [6f] ein Teil der Alkalien durch $(H_3O)^+$ ersetzt wurde.

Schüttelt man getrocknetes Schwebgutmaterial des Alpenrheins mit dest. Wasser, so kann man bereits nach kurzer Schüttelzeit einen hohen Kaliumgehalt im Wasser feststellen. Das hohe K/Na-Verhältnis im Wasser des Alpenrheins selbst [6e] deutet ebenfalls stark auf diese Reaktion der Glimmerminerale mit Wasser hin.

Vergleicht man die relativen Anteile der einzelnen Tonminerale in den Proben aus verschiedenen Seeteilen miteinander, so ist auch beim dioktaedrischen Illit eine Abnahme vom Alpenrhein in Richtung auf Überlinger See festzustellen.

Der Abnahme der Glimmertone entspricht eine relative Zunahme des Chlorit- und Vermiculit-Anteils: Die höchsten Anteile finden sich vor der Mündung der Stockacher Aach, die geringsten vor der Alpenrheinmündung (Fig. 9). Der graduelle Übergang einer Alpenrhein-Provinz in eine Molasse-Provinz (vertreten durch die Sedimente der Stockacher Aach sowie Sedimentmaterial, das direkt den am Seeufer anstehenden Molasse-Schichten entstammt) mit einem höheren Chlorit + Vermiculit:Glimmertone-Verhältnis wird so deutlich dokumentiert.

Der Carbonatanteil

Da es nicht möglich ist, den detritischen Carbonatanteil von dem im See gebildeten biochemischen Carbonat abzutrennen, soll hier zunächst auf die Gesamtcarbonat-Verteilung eingegangen werden.

Fig. 10 zeigt die regionale Verteilung des Carbonatgehaltes, der zwischen den Extremwerten 8 und 89% liegt.

Die größte Fläche im Obersee wird von Sedimenten eingenommen, die einen Carbonatgehalt von 20–30% aufweisen. Abweichend hiervon sind die sehr hohen — durchweg über 40% — Carbonatwerte im Untersee sowie in einer flachen, ufernahen Zone entlang des südlichen Ufers des Obersees. Die niedrigsten Werte

im See (18–19%) liegen im zentralen Obersee sowie in zahlreichen Ufersanden.

Am Aufbau des Carbonatanteils der Bodensee-Sedimente sind — in abnehmender Reihenfolge angeordnet — Calcit, Dolomit und Aragonit beteiligt.

Während für Dolomit und Aragonit die Herkunft eindeutig ist — Dolomit ist detritisch und entstammt dem durch die Zuflüsse aus dem Hinterland angelieferten oder direkt vom Ufer erodierten klastischen Material [7, 8]; Aragonit ist biogen-detritisch und wird bei der Zerstörung der Hartteile der im Flachwasserbereich lebenden Aragonit-Schaler (vor allem Gastropoden, in geringerem Umfang auch Muscheln) geliefert, ent-

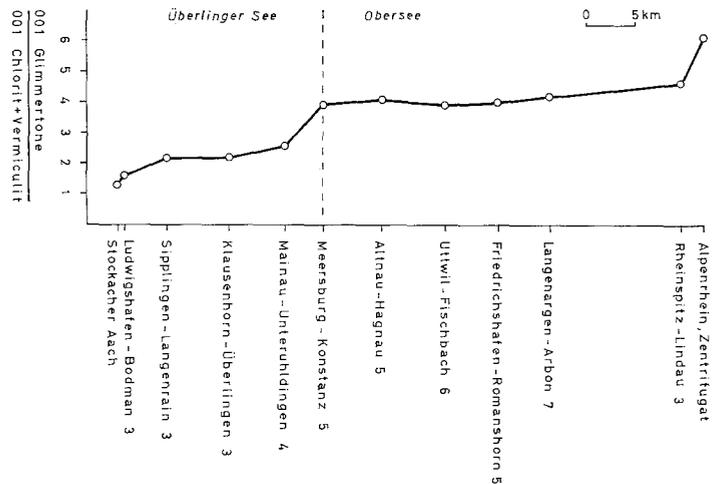


Fig. 9. Verhältnis der gemessenen Intensität der 001-Reflexe von Glimmertonen (bei etwa 10 Å) und Chlorit + Vermiculit (bei etwa 14 Å) in einem Profil Stockacher Aach-Alpenrhein

stammt also im Gegensatz zum Dolomit aus dem Bildungsraum der Bodensee-Sedimente, — gibt es für den Calcit zwei Möglichkeiten der Entstehung bzw. Herkunft:

- Calcit ist ebenfalls detritisch und hat dieselbe Herkunft wie Dolomit
- Calcit wird im Seebecken selbst durch biologisch-chemische Prozesse gebildet.

Zur Klärung der Frage, wie weit der in den Sedimenten enthaltene Calcit detritisch oder biogen-chemischen Ursprungs ist, wurde der durch die Zuflüsse in den Bodensee gelieferte Carbonatanteil der Schwebstoffe sowie das Calcit:Dolomit-Verhältnis bestimmt: Da der Alpenrhein mit sehr großem Abstand der wichtigste Sedimentlieferant für den Bodensee ist, wurden aus ihm mehr als 150 Zentrifugate bei verschiedenstem Wasserstand entnommen und auf ihren Gesamtcarbonatgehalt sowie ihr Calcit-Dolomit-Verhältnis untersucht (in Bearbeitung). Die Untersuchungen ergaben, daß die Mehrzahl der Alpenrhein-Sedimente einen Calcitanteil von 20–30% und einen Dolomitgehalt von 5–10% besitzt, woraus ein mittleres Calcit:Dolomit-Verhältnis von 3–4 resultiert. Alle anderen Zuflüsse — mit Ausnahme der Bregenzer Ach — liefern Sedimente mit geringerem Gesamtcarbonatanteil [8] und Calcit:Dolomit-Verhältnissen, die zwischen 1,5 und 8,0 liegen.

Aus diesen Beobachtungen folgt, daß der detritische Carbonat-Anteil der Bodensee-Sedimente bei etwa 20–35% und das Calcit:Dolomit-Verhältnis unter 10 liegen sollte. Dies trifft tatsächlich für die meisten Bodensee-Sedimente zu.

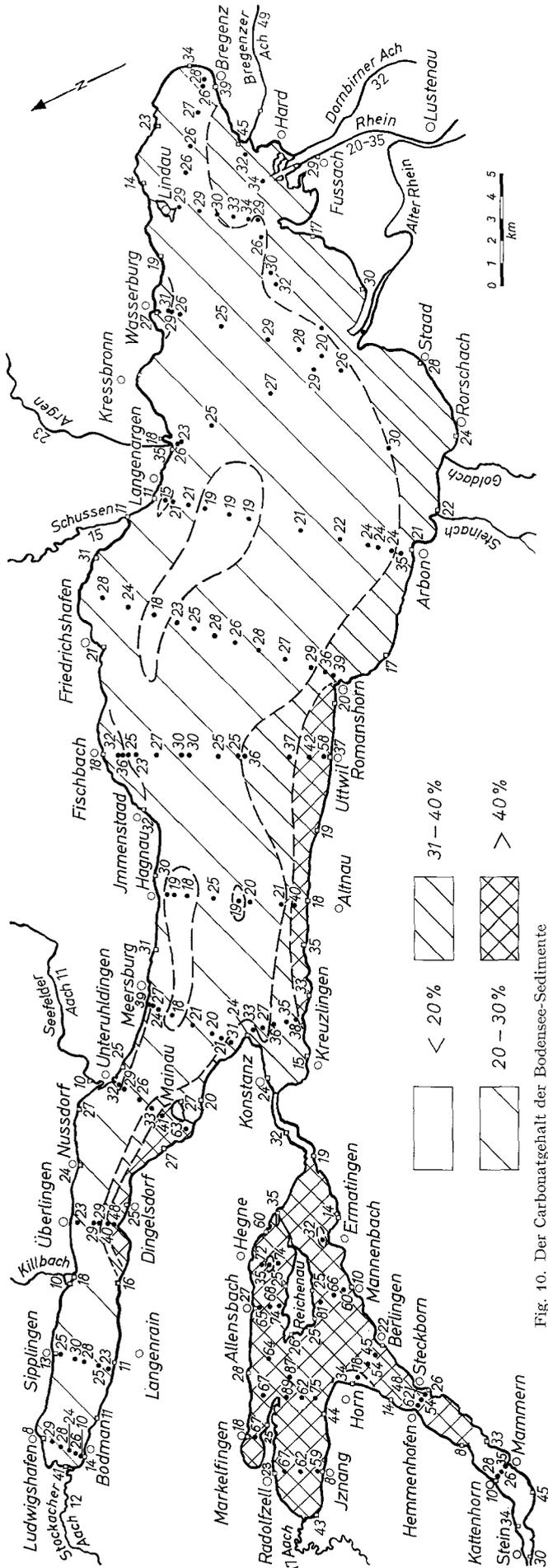


Fig. 10. Der Carbonatgehalt der Bodensee-Sedimente

Bei Sedimentproben mit höherem Gesamtcarbonatgehalt zeigt sich, daß mit ansteigendem Gesamtcarbonatgehalt das Calcit:Dolomit-Verhältnis abnimmt und auf über 10 ansteigt. Im Untersee werden Werte von > 50 erreicht. Der Anstieg des Verhältnisses zeigt deutlich, daß zusätzlicher Calcit dem Sediment zugeführt worden sein muß.

Chemische Untersuchungen der Zuflüsse des Bodensees und seines Abflusses in den Untersee, des Seerheins, ergaben [6e], daß weit weniger Bicarbonat den Obersee verläßt als in ihn hineingelangt: Im Laufe eines

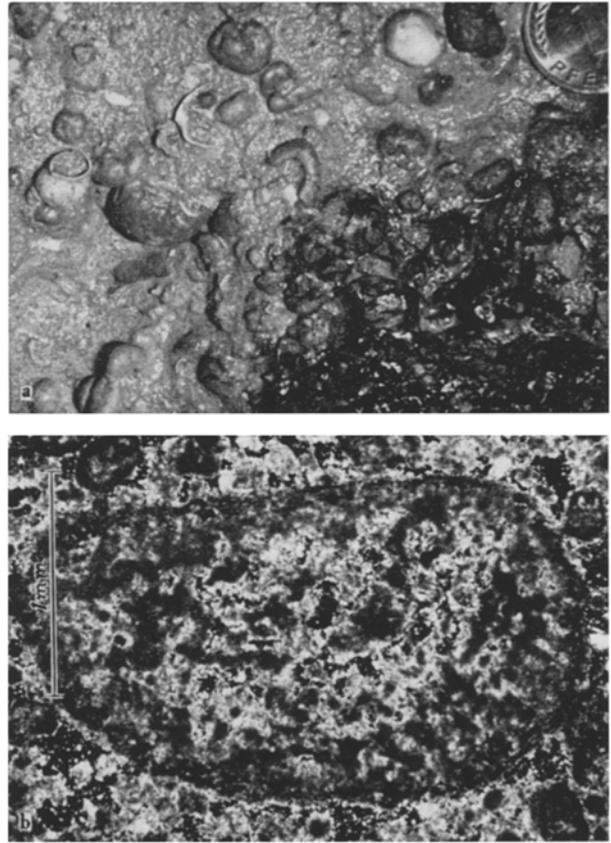


Fig. 11. a Oberfläche eines carbonatreichen Sediments aus dem Untersee. Von Spaltalgen erzeugte Knollen (z. T. umkrustete Muschel- und Schneckenschalen) wachsen auf krümeligem kalkigem Substrat. b Dünnschliffbild des „onkolithischen Krümelkalkes“

Jahres beträgt die rechnerisch ermittelte Calcit-Menge, die allein im Obersee zur Abscheidung gelangen muß, mehrere Hunderttausend Tonnen.

Die Beschaffenheit der Sedimente selbst liefert schließlich den Beweis für die zusätzliche biogene Calcit-Zufuhr: Carbonatreiche Sedimente des Untersees und einiger ufernaher Bereiche des Obersees entsprechen dem Typus der Seekreide (bzw. Seemergel), darüber hinaus treten im Flachwasser des Untersees die bereits von BAUMANN [2] beschriebenen „Schneggilande“ auf, die nach der heutigen Carbonatgesteins-Nomenklatur als „onkolithische Krümelkalk“ bezeichnet werden müssen (s. Fig. 11a u. b) und unter Mitwirkung von Spaltalgen gebildet wurden. Über die biogene Carbonatabscheidung im Bodensee soll an anderer Stelle ausführlich berichtet werden; in einer Dissertation beschäftigt sich SCHÖTLE speziell mit der Entstehung der Carbonat-Sedimente des Gnadensees im Untersee.

Müll und Abfallstoffe

Es ist zu erwarten, daß in die Sedimente der in dicht besiedelten Gebieten gelegenen Flüsse und Seen je nach Bevölkerungszahl und Stand der Industrialisierung auch nicht-mineralische, vom Menschen gewonnene oder hergestellte Erzeugnisse eingehen. Diese absichtlich oder unabsichtlich in die Gewässer gelangten Materialien unterliegen dann den gleichen mechanischen und chemischen Prozessen wie die natürlichen mineralischen oder organischen Komponenten: Die stabilsten unter ihnen werden zu echten Bestandteilen des Sediments. Aus ihrer Häufigkeit lassen sich Rückschlüsse auf die Verschmutzung der Uferzonen durch Abfallstoffe ziehen.

Zu den weniger schönen Erscheinungen im Landschaftsbild des Bodensee-Gebietes gehören die Ablagerungen von Haushalts-, Bau- und Industrie-Abfällen in unmittelbarer Nachbarschaft des Sees oder an den Ufern der dem See zufließenden Bäche und Flüsse. Diese Abfälle wurden z. T. bewußt am Seeufer zur Landgewinnung (!) aufgeschüttet; nach KNORR [5] sind allein am Nordufer des Überlinger Sees insgesamt 16 Hektar natürlichen Seeufers durch derartige Aufschüttungen verschwunden. Es kann keinerlei Zweifel bestehen, daß Ablagerung von Müllstoffen am oder im Bodensee bzw. an oder in seinen Zuflüssen eine ernste Gefahr für die Güte des Bodensee-Wassers darstellt.

Weniger auffällig als die Müllberge sind diejenigen Abfallstoffe, die sich nach mechanischer Zerkleinerung in Flüssen oder in der Uferzone des Sees mit dem natürlichen (vorwiegend mineralischen) Gesteinsmaterial der Bodensee-Sedimente vermischen und zu einem bleibenden Bestandteil dieser Sedimente werden. Echte Sedimentbildner sind in erster Linie solche Materialien, die eine gewisse Festigkeit besitzen und gegenüber chemischen und biologischen Einwirkungen resistent sind. Hierzu gehören vor allem Gläser, verschiedene Baumaterialien und Schlacken sowie Steinkohle. Textilfasern, Cellulose, Leder, Holz und metallisches Eisen, die den Hauptteil des häuslichen Mülls darstellen, verschwinden verhältnismäßig rasch aus den Sedimenten infolge biologischer Zersetzung und Oxydation.

Fig. 12 zeigt die hier aufgeführten nichtmineralischen Anteile der Fraktion 0,315—0,63 mm (Hauptfraktion der meisten Sande) von insgesamt 73 Ufersanden; die Werte schwanken zwischen 0,8 und 23,8 Kornzahlprozent, als Mittelwert errechnet sich 8,60% [6c]. Gegenüber diesem Mittelwert zeigen sich deutlich regionale Abweichungen sowohl in der Höhe des Gesamt-

Tabelle 3. Regionale Verteilung der nichtmineralischen Anteile in den Ufersanden des Bodensees. Hier % = Vol.-% der Fraktion 0,315—0,63 mm

Probenzahl	Nichtmineralische Stoffe				Summe %	
	Kohle %	Schlacke %	Ziegelst. %	Gläser %		
Bodensee, insgesamt	73	0,57	4,48	2,74	0,81	8,60
Überlinger- und Obersee, Nordufer	21	1,43	5,90	2,20	1,08	10,61
Obersee, österr. Ufer	3	0,07	7,13	3,23	0,74	11,17
Obersee, Südufer	12	0,41	3,81	2,33	0,42	7,34
Überlinger See, Südufer	10	0,23	3,14	2,61	1,28	7,26
Untersee	27	0,19	3,94	3,55	0,61	8,39

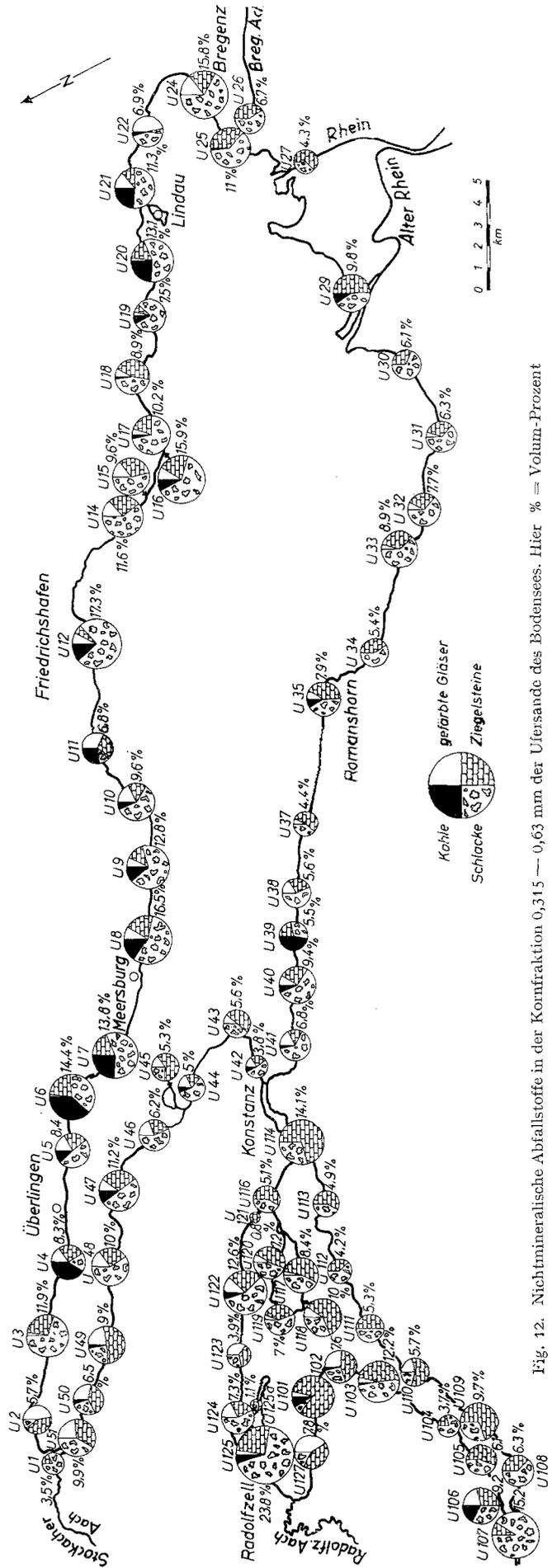


Fig. 12. Nichtmineralische Abfallstoffe in der Kornfraktion 0,315 — 0,63 mm der Ufersande des Bodensees. Hier % = Volum-Prozent

anteils als auch dem Anteil einzelner Komponenten (Tabelle 3). Das Südufer des westlichen Obersees (Überlinger Sees) weist den niedrigsten Gesamtanteil, aber den höchsten Anteil an gefärbten Gläsern auf; das österreichische Ufer hat den höchsten Gesamtanteil bei höchstem Schlackengehalt, jedoch niedrigsten Kohlen-Anteil.

Die stärksten Unterschiede sind beim Kohle-Anteil zu beobachten: Das Nordufer des Überlinger- und Obersees hat einen 6- bzw. 3-fach höheren Kohlen-Anteil als die gegenüberliegenden südlichen Uferregionen; im Vergleich zum österreichischen Ufer ist dieser Anteil sogar etwa 20mal höher. Wir möchten annehmen, daß der wesentliche Lieferant der Kohle am Nordufer des Überlinger- und Obersees (also auf deutschem Gebiet)

die bis vor wenigen Jahren vorwiegend auf Kohlebasis betriebene Eisenbahn ist, deren Schienenstränge über lange Strecken unmittelbar am Seeufer entlanglaufen. Auf den elektrifizierten schweizerischen und österreichischen Bahnstrecken entfällt diese Liefer-Möglichkeit.

Biogene Bildungen und Umbildungen im Sediment

Auf die mit Abstand wichtigste Neubildung im Seegebiet, die biogene Abscheidung von Calcit und (in geringerem Umfang) Aragonit wurde bereits eingegangen.

An weiteren mineralischen Bildungen, die mengenmäßig jedoch sehr stark zurücktreten, sind noch Opal und Hydrotroilit ($FeS \cdot nH_2O$) zu nennen.

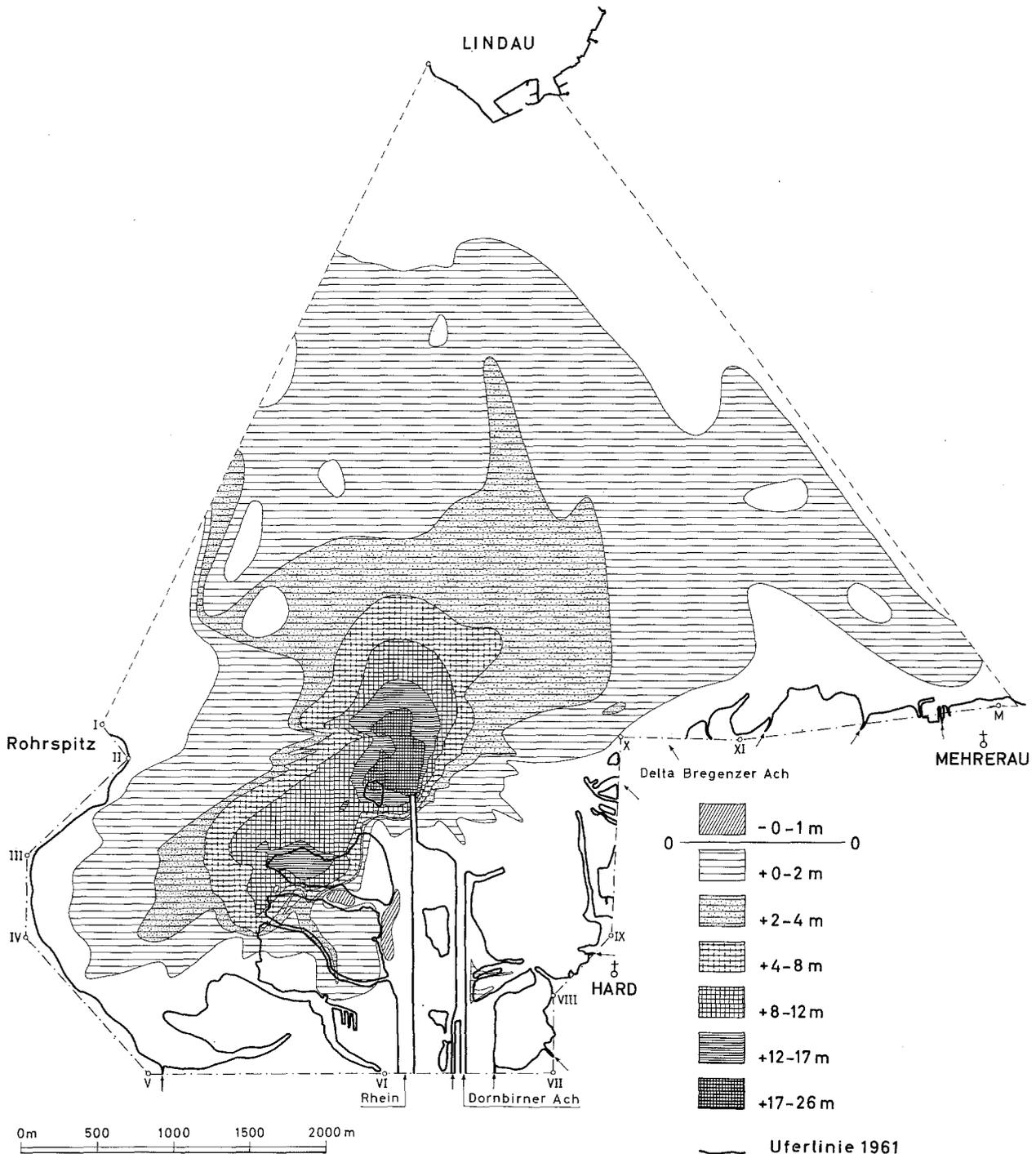


Fig. 13. Im Laufe von 10 Jahren (1951—1960) abgelagerte Sedimentmächtigkeiten im Bereich des Deltas von Alpenrhein und Bregenzer Ach [12b]

Im Phytoplankton des Bodensees tritt eine große Artenzahl von einzelligen Kieselalgen (Diatomeen) auf. Jede der Zellen scheidet durch das Protoplasma ein zierliches Skelett aus Opal ab, das nach dem Absterben der organischen Substanz zu Boden sinkt und Bestandteil des Sediments wird.

Fig. 5 zeigt ein Dünnschliffbild eines diatomeenreichen Sediments (sandiger Tonsilt) vor Uttwil, in dem der Opalgehalt über 1% liegt.

In zahlreichen Gebieten des Unter- und Obersees, vor allem vor den Einmündungen abwasserbelasteter Zuflüsse, zeigen die Sedimente eine Schwarzfärbung, die durch Eisenmonosulfid ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$), Hydrotroilit, hervorgerufen wird. Die im Bodensee gefundenen FeS-Gehalte liegen zwischen 0,00 und 1,13%. Das Auftreten von Hydrotroilit, der unter anaeroben Bedingungen gebildet wird, deutet auf mangelnden Sauerstoff im überstehenden Wasser hin.

Die organische Substanz bildet eine wesentliche Komponente in vielen Bodensee-Sedimenten [6h]. Besonders hohe Gehalte treten im Untersee auf, wo der durchschnittliche Gehalt der Sedimente an organisch gebundenem Kohlenstoff (für die Umrechnung auf organische Substanz ist der Faktor 2—3 anzuwenden) bei 3,68% im Vergleich zum Obersee mit nur 1,50% liegt. Häufig weisen Zonen hohen Kohlenstoffgehalts auch einen hohen Hydrotroilit-Gehalt auf. Über die Zusammenhänge und über damit verbundene Fragen der Beziehungen zwischen Sediment und Wasserkörper soll demnächst in dieser Zeitschrift berichtet werden.

Jährliche Sedimentablagerung

Die Sedimentation im Obersee wird durch die Zufuhr klastischen Materials aus dem Alpenrhein und — bereits mit großem Abstand — aus der Bregenzer Ach beherrscht. Alle anderen Zuflüsse sowie das anstehende Gestein in Ufernähe liefern so geringe Sedimentmengen, daß ihr Einfluß — der sehr wohl örtlich deutlich ausgeprägt sein kann — völlig zurücktritt.

Tabelle 4. *Jährliche Jahresschlamm- und Geschiebefrachten in Mill. m³ (mittleres Raumgewicht 1,3)*

	Alpenrhein		Bregenzer Ach		Summe
	Schlamm	Geschiebe	Schlamm	Geschiebe	
1931—41	3,04	0,04	0,47		3,55
1942—50	1,67	0,02	0,26		1,95
1952—60	2,86	0,04	0,44		3,35

Genau Seegrundaufnahmen im Deltabereich des Alpenrheins und in der Bregenzer Bucht [12a, b] liefern die in Tabelle 4 wiedergegebenen jährlichen Schlamm- und Geschiebefrachten. Die sehr beträchtlichen Schwankungen auch noch im 9—11jährigen Mittel sind auf die von Jahr zu Jahr stark variierende Wasserführung des Alpenrheins zurückzuführen. Da bei starker Wasserführung der Anteil des mitgeführten Sedimentmaterials sehr stark ansteigt, kann ein einzi-

ges extremes Hochwasser zu einer starken Verschiebung des Mittelwertes beitragen. So wurden allein während eines Hochwassers am 22. und 23. August 1957 etwa 2,6 Mill. m³ Sediment in den Bodensee verfrachtet, was einer normalen Jahresfracht entspricht.

Wie zu erwarten, werden die im Alpenrhein und anderen Zuflüssen suspendierten Sedimente vor allem im Bereich der Deltas abgelagert.

Fig. 13 zeigt die während der Dauer von 10 Jahren (1951—1960) im näheren und fernerem Deltabereich des Alpenrheins abgelagerten Sedimentmächtigkeiten, die zu einem raschen Wachstum des Deltas in Richtung auf Lindau führen. Über die Sedimente des Rheindeltas soll an anderer Stelle berichtet werden [6g]. Auch in deltafernen Seebereichen, also z. B. im zentralen Obersee oder im Überlinger See ist die jährlich abgelagerte detritische Sedimentmenge noch beträchtlich, die dürfte im Durchschnitt bei etwa 1 mm pro Jahr liegen.

Die im Obersee biogen abgeschiedene Calcit-Menge kann grob mit 10—15% des klastischen Materials veranschlagt werden.

Im Untersee liegen die Verhältnisse umgekehrt. Hier überwiegt der biogene Sedimentanteil bei weitem den klastischen. Als jährliche Sedimentationsrate kann auch hier eine Sedimentschicht von etwa 1 mm angenommen werden, da im unmittelbar benachbarten Mindelsee, in dem ähnliche Verhältnisse wie in Teilen des Untersees herrschen, von LANG (frdl. mündl. Mitteilung) diese Sedimentationsrate beobachtet wurde. Genauere Angaben sind zu erwarten, wenn ein neues Untersuchungsprogramm, das die tieferen Sedimentschichten des Bodensees mit Kernen erfassen soll, abgeschlossen ist.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei an dieser Stelle sehr herzlich für die bisher gewährte Unterstützung gedankt. Dieser Dank gehört ebenfalls den Herren von der Anstalt für Bodenseeforschung in Konstanz (Direktor: Prof. Dr. KIEFER) sowie des Staatl. Instituts für Seenforschung in Langenargen (Direktor: Dr. NÜMANN) für Hilfeleistung bei der Probenahme (hier besonders Herrn Dr. LEHN, Konstanz) und zahlreiche Hinweise und Vorschläge während des Fortganges unserer Untersuchungen

- [1] AUERBACH, M.: Beitr. naturkundl. Forsch. Südwestdeutschl. **12**, 17—22 (1953). — [2] BAUMANN, E.: Arch. Hydrobiol., Suppl. **1**, 144—230 (1911). — [3] HUMMEL, K.: Geol. Arch. v. E. Kraus **2**, H. 1, 35—45 (1923). — [4] KIEFER, F.: Naturkunde des Bodensees. Lindau u. Konstanz: Thorbecke Verl. 1955. — [5] KNORR, M., in: Bodensee-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Erster Bericht. Wiesbaden: Steiner 1963. — [6] MÜLLER, G.: (a) Neues Jahrb. Mineral., Monatsh. **1961**, 148—173; — (b) Naturwissenschaften **50**, 350 (1963); — (c) Umschau in Wiss. u. Tech. **1964**, 117; — (d) Gas- u. Wasserfach **105**, 810 (1964); — (e) Fortschr. Wasserchemie **1965**, H. 2, 33—99; — (f) In: Diagenesis in Sediments. - Developm. Sedimentol. Hrsg. v. LARSEN u. CHILINGAR. (Im Druck); — (g) In: Symposiums-Bd. "The Geology of Deltas". Houston, Texas (im Druck); — (h) Gas- u. Wasserfach **107**, 364—368 (1966). — [7] MÜLLER, G., u. CH. HAHN: Neues Jahrb. Mineral., Monatsh. **1964**, 371. — [8] MÜLLER, G., u. M. SCHÖTTLE: Neues Jahrb. Mineral., Monatsh. **1965**, 26. — [9] SCHMIDLE, W.: Neues Jahrb. Mineral. Geol. II **1910**, 104—122. — [10] SEIBOLD, E.: Neues Jahrb. Geol. u. Paläontol. **1956**, 451—470. — [11] WAGNER, G.: Jahrb. des Vereins z. Schutze d. Alpenpflanzen und Tiere **27**, 1—17 (1962). — [12] WAIBEL, F.: Ber. öst. Rheinbauleiters 10 S., (a) 1952; (b) 1962. — [13] ZÜLLIG, H.: Schweiz. Z. Hydrol. **18**, 5—143 (1956).