

Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee

Autor(en): **Sturm, Michael / Matter, Albert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **65 (1972)**

Heft 3

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164106>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee

Von MICHAEL STURM und ALBERT MATTER

Geologisches Institut der Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH–3012 Bern

ABSTRACT

Lake Thun is oligotrophic and the sedimentation is governed by a high influx of clastic detritus from several tributaries. On the basis of heavy minerals, clay minerals and the carbonate content of river and lake sediments, four sedimentary provinces are distinguished in the lake which correspond to four different source areas. Today the sediments from the river Kander are being deposited over a large part of the lake basin. The Kander river was deflected into the lake in 1714 and this event is recognized in the sediments by sedimentological, geochemical and pollenanalytical criteria.

Three lithofacies are recognized in the cores: turbidite, varve and sapropel facies. Their origin and distribution in the sediments of the lake is related to the formation of an undercurrent and to occasional turbidity currents by the inflowing dense river waters. The sedimentation rates since 1714 are 4 to 7,8 mm/year near the Kander delta, 1,7 to 4,8 mm/year on the shore terrace and 4 to 6 mm/year on the central plain.

ZUSAMMENFASSUNG

Der in der vorliegenden Arbeit untersuchte Thunersee ist ein tiefes, randalpines Seebecken mit oligotrophem Seemilieu und klastischer Sedimentation. In flacheren Seeteilen haben die Zuflüsse Deltas, an Steilufern dagegen subaquatische Schuttfächer aufgebaut. Die Oberflächensedimente des Sees werden auf Grund ihres Schwermineralgehalts in vier Schwermineralprovinzen gegliedert und den jeweiligen Liefergebieten des heterogenen geologischen Rahmens zugeordnet. Daraus, aus der Verteilung des Gesamtkarbonatgehalts und aus der Verteilung der Korngrössen der Oberflächensedimente ergibt sich, dass die Kander heute als einziger der Zuflüsse weiträumigen Einfluss auf das Sedimentationsgeschehen im Thunersee ausübt.

Im Vertikalprofil werden in den obersten 6 m der postglazialen Seesedimente drei verschiedene Lithofazies unterschieden: Die Turbiditfazies im Einflussbereich der Zuflüsse, die Warvenfazies der Seebodenebene und der Uferbank und die Reduktionsfazies des eutrophen unteren Seebeckens vor 1714. Die in diesem Jahr erfolgte Einleitung der Kander in den See wird in den Kolbenlotkernen sedimentologisch, geochemisch und pollenanalytisch nachgewiesen.

Nach der Datierung der Seesedimente mit Hilfe dieses «Kanderschnitts», der Warvenauszählung, der C^{14} -Methode und der Pollenanalyse beträgt die Sedimentationsgeschwindigkeit heute im Bereich des Kanderdeltas zwischen 4 und 7,8 mm/Jahr, auf der Uferbank zwischen 1,7 und 4,8 mm/Jahr und im Profundal zwischen 4 und 6 mm/Jahr.

Die Trübestrome, welche beim Eintritt des sedimentbeladenen Flusswassers in den See entstehen, bewirken die Verteilung der zugeführten Feststoffe im Thunersee. Ein nicht grundberührender, oberflächennaher Trübestrom oder Undercurrent wird von einem grundberührenden Trübestrom oder

Turbidity Current unterschieden. Turbidity Currents entstehen temporär entweder vor grossen Zuflüssen durch Frühjahrs- oder Gewitterhochwässer oder vor kleineren Zuflüssen durch seltene katastrophale Murgänge.

1. Einleitung

In den letzten Jahren wandte sich das Interesse an rezenten Ablagerungsräumen in vermehrtem Masse auch den grossen randalpinen Seen zwischen Genfer- und Bodensee zu. So entstanden in der Folge eine Reihe von Arbeiten, bei denen teils limnologisch-hydrologische, teils geologisch-sedimentologische Probleme im Vordergrund standen. Der Bodensee wurde seit 1960 von G. MÜLLER und seinen Mitarbeitern sehr gründlich untersucht (ausführliche Literaturangaben in MÜLLER 1971). Über den Zürichsee liegen unter anderem Arbeiten von HINZ et al. (1970), Hsü und KELTS (1970) und KUTSCHKE (1966) vor. Limnologische Untersuchungen im Zürich-, Brienzer- und Thunersee sowie in einigen Vergleichsseen führte NYDEGGER (1957, 1967) aus. Im Genfersee wurden von HOUBOLT und JONKER (1968), SERRUYA (1969), VERNET und HORN (1971) und VERNET und THOMAS (1972a, 1972b) Untersuchungen durchgeführt.

Unsere seit 1969 laufenden Untersuchungen des Thunersees galten hauptsächlich geologisch-sedimentologischen Fragestellungen. Dies aus der Überzeugung, dass sich in Seebecken, die ein mehr oder weniger geschlossenes und überschaubares System darstellen, bestimmte Sedimentationsvorgänge besser studieren lassen als in weiträumigen Meeresbecken. Sowohl der Thuner- als auch der Brienzersee stellen als langgestreckte, wenig gegliederte Ablagerungsbecken von vorwiegend glazial bedingter Entstehung anschauliche Modelle für die Verteilungs- und Ablagerungsmechanismen klastischer Sedimente dar. In einer kürzlich erschienenen Arbeit wurden die bisher vorliegenden geophysikalischen Untersuchungsergebnisse aus dem Thunersee dargestellt, die sich hauptsächlich mit der Genese des Seebeckens sowie den Mächtigkeiten der rezenten und subrezentten Ablagerungen beschäftigen (MATTER et al. 1971). Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit stehen die Ergebnisse sedimentologischer Untersuchungen der rezenten Sedimente des Thunersees.

2. Geräte und Probenentnahme

Die Probenentnahme der unverfestigten Seebodensedimente erfolgte von einer über zwei Übersetzbooten errichteten 6×6 m grossen Arbeitsplattform, die mit zwei Motorseilwinden ausgerüstet und von einem 20-PS-Aussenbordmotor fortbewegt wurde. Die Entnahme von wahlweise 3 m oder 6 m langen Sedimentkernen mit einem Kerndurchmesser von 10 cm geschah mit einem Kolbenlot (REINECK 1967). Mit einem Kastengreifer (REINECK 1963) wurden vor allem in Gebieten mit groben Sedimenten $25 \times 10 \times 20$ cm grosse Oberflächenproben entnommen.

Die Positionierung der 47 Kolbenlot- und 33 Kastengreiferstationen, deren Lage Figur 1 zeigt, erfolgte mit einem Telemeter (Basis 80 cm) vom Boot aus durch Rückwärtseinschnitt. Wegen zu grobkörnigen Sedimentmaterials konnte an 5 Kolbenlot- und 4 Kastengreiferstationen kein Sediment gewonnen werden, da die Geräte in den relativ harten Seeboden nicht einzudringen vermochten.

In ausgewählten Gebieten des Sees wurden in Zusammenarbeit mit dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft Echolotprofile gefahren. Profile mit dem tiefer in das Sediment

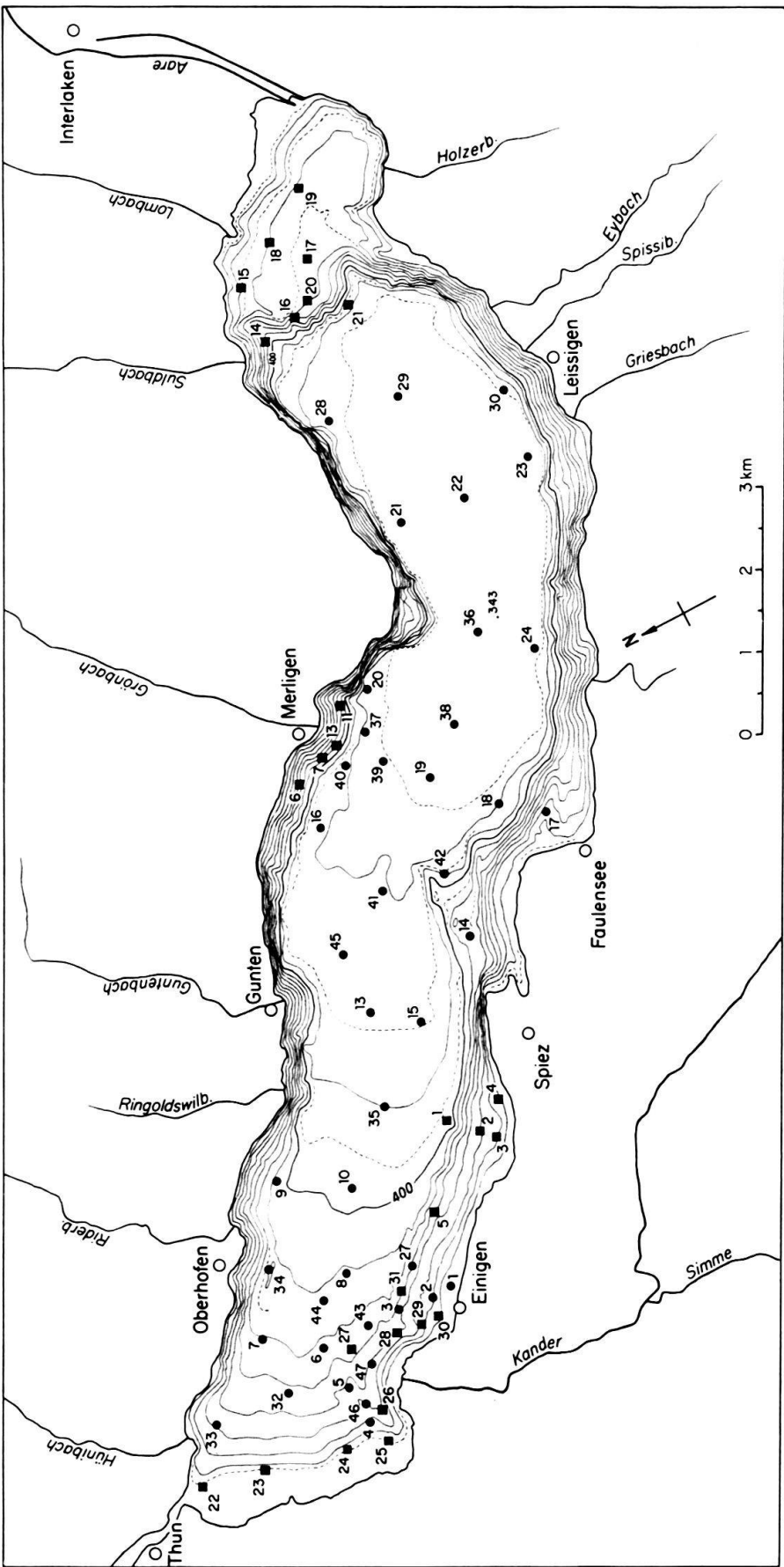


Fig. 1. Bathymetrische Karte des Thunersees mit den Positionen der Korbenlot- und Kastengreiferstationen. Höhen in Meter über Meer. Äquidistanz 20 m. Nach der Seegrundaufnahme der Eidg. Landestopographie von 1950. Bewilligung zur Veröffentlichung vom 17. August 1971.

eindringenden Mudpenetrator erstreckten sich über den gesamten Seebereich und wurden gemeinsam mit dem Musée Océanographique, Monaco, aufgenommen. Die Vermessung dieser Profile erfolgte nach der bei den Airgun-Aufnahmen angewandten Vermessungsmethode (MATTER et al. 1971, S. 506).

Zusätzlich zu den Sedimentproben aus dem See wurden aus den 11 grösseren Zuflüssen (mit Ausnahme der Aare) 48 Sandproben entnommen.

3. Aufbereitung und Labormethoden

Die Kolbenlotkerne und Kastengreiferproben wurden mit der Bahn nach Bern und dann in das Geologische Institut geführt. Danach wurden die Kerne aus den PVC-Rohren ausgestossen, in 1 m lange Stücke geteilt und, ebenso wie die Kastengreiferproben, mit einer elektroosmotischen Guillotine (STURM und MATTER 1972) der Länge nach aufgeschnitten, anschliessend photographiert, detailliert beschrieben und für die späteren Laboruntersuchungen beprobt. In Plastikfolien luftdicht verschweisst, lagerten sie anschliessend in einem temperaturkonstanten Keller bei etwa +17°C, ohne dass bisher starke Feuchtigkeitsverluste feststellbar gewesen wären.

Die an den Proben aus den Kernen und Kästen vorgenommenen sedimentologischen Laborarbeiten umfassten: Bestimmung des Gesamtkarbonatgehalts und des Calcit-Dolomit-Verhältnisses, Schwermineral- und Tonmineralanalysen sowie Korngrössenuntersuchungen. Die Bestimmung des Gesamtkarbonatgehalts erfolgte nach der gasvolumetrischen Methode, das Calcit-Dolomit-Verhältnis wurde röntgenographisch bestimmt (Philips-Diffraktometer, CuK_α -Strahlung, 40 kV, 22 mA, 2°/min, drehender Probenträger). Für die Schermineralanalysen wurden Streupräparate der Sandfraktion 0,06 bis 0,4 mm hergestellt und daraus jeweils 100 durchsichtige Körner bestimmt, wobei der Granat gesondert gezählt wurde (MATTER 1964). Die Tonmineralanalysen erfolgten an aufgeschlammten Texturpräparaten der Fraktion $< 2 \mu$ an je einem luftgetrockneten, einem mit Äthylenglykol abgesättigtem und einem während einer Stunde bei 550°C gebrannten Präparat. Der Tonmineralanteil wurde aus den Diffraktometeraufnahmen (Philips-Diffraktometer, CuK_α -Strahlung, 40 kV, 22 mA, 2°/min) nach FREY (1969) und PETERS (mündliche Mitteilung) semiquantitativ ausgewertet. Die Korngrössenbestimmungen der nicht entkarbonatisierten Proben wurden mit einer Trockensiebmaschine Typ Rotap mit den Siebsätzen von 12 mm bis 63μ für die Sandfraktion und mit einer Sartorius-Sedimentationswaage für die Fraktion $< 63 \mu$ durchgeführt. Von Korngrössenbestimmungen des Kies- und Schotteranteils musste wegen ungenügender Probenmenge abgesehen werden.

Von einigen Kernen und Kästen wurden am Röntgeninstitut der Universität Bern Radiographien hergestellt, um über die Internstrukturen homogener Sedimente bessere Aufschlüsse zu erhalten (BOUMA 1969). Die Aufnahmen wurden mit einem Kodak-Industrex-AA-Film bei Aufnahmewerten von 30 mA, 30 kV und 10 sec hergestellt. Nach der Methode von REINECK (1969) und WERNER (1966) erfolgte ausserdem die Herstellung von Dünnschliffen der unverfestigten Seesedimente. Dazu wurden die mit flüssiger Luft schockgefrorenen Proben in einer Leybold-Heraeus-GT2-Anlage gefriergetrocknet, mit Araldit F und Härter 905 gehärtet und zu Dünnschliffen verarbeitet.

Zwei Kolbenlotkerne wurden dem Laboratorium für Sedimentforschung der Universität Heidelberg zur geochemischen Untersuchung übergeben (ABDUL-RAZZAK 1972). Absolute Altersbestimmungen nach der C^{14} -Methode an Holzresten aus einigen Kernen erfolgten am Physikalischen Institut der Universität Bern. Pollenanalytische Untersuchungen an Kernen von der Seebodenebene und der Uferbank wurden von R. BODMER, Botanisches Institut der Universität Bern, durchgeführt.

An den Sedimentproben aus den Thunerseezuflüssen erfolgte die Bestimmung des Schwermineral-, Tonmineral- und des Karbonatgehalts. Während die Schwermineral- und Tonmineralanalysen in gleicher Weise wie bei den Seesedimentproben vor sich gingen, konnte die Ca- bzw. Mg-Bestimmung, wegen des geringen Tongehalts der Proben, mit Hilfe der komplexometrischen Titration durchgeführt werden (MATTER 1964).

4. Zuflüsse des Thunersees

Die Zuflüsse eines Seebeckens spielen nicht nur für dessen Wasserhaushalt, sondern vor allem wegen ihrer im See zur Ablagerung gelangenden Feststofffracht auch für dessen Morphologie eine grosse Rolle. Der Thunersee mit einem Einzugsgebiet von rund 2470 km² besitzt, wie Figur 1 zeigt, zwei Hauptzuflüsse, die Aare am SE-Ende des Sees bei Interlaken und die Kander südlich von Thun, nahezu am unteren Seende. Auf diese beiden Zuflüsse entfallen über 90 % der Wasserzufuhr, auf die zahlreichen kleineren Zuflüsse dagegen nur etwa 9 %. Ein ganz anderes Bild zeigt sich beim Anteil der Schwebstofffracht, welchen die verschiedenen Flüsse und Bäche dem See zuführen; während die Aare bei Interlaken mit einem Einzugsgebiet von 1140 km² praktisch kein Material in den Thunersee bringt, übernimmt die Kander mit einem Einzugsgebiet von etwa 1120 km² rund 85 % der Sedimentzufuhr. Die restlichen Zuflüsse liefern trotz ihres im Vergleich zur Aare geringen Wasservolumens nahezu 15 % der Schwebstoffe. Da die Kander daher für den Massenhaushalt des Thunersees von überragender Bedeutung ist, wurde in Zusammenarbeit mit dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft eine Schwebstoffentnahmestelle im untersten Kanderlauf eingerichtet, um Hinweise auf die jährliche Schwebstofffracht dieses Flusses zu erhalten. Nach den vorläufigen Ergebnissen aus den Untersuchungen der 1970 und 1971 entnommenen Proben und nach Berücksichtigung der seit über 50 Jahren im Auftrag der Bernischen Kraftwerke AG in der Kander durchgeführten Wasserführungsmessungen beträgt der Schwebstofftransport der Kander, bei einer durchschnittlichen Wasserführung von 40 m³/sec, zwischen 430000 und 500000 t pro Jahr. Im Vergleich dazu führt der Alpenrhein im Durchschnitt 3,341 Mio. t Schwebstoffe pro Jahr und in Extremfällen (1954) sogar 6,59 Mio. t pro Jahr dem Bodensee zu (FÖRSTNER et al. 1968, S. 36), während der Mississippi allein pro Tag 1 bis 1,5 Mio. t Sediment in den Golf von Mexiko schüttet (SCRUTON 1960, S. 60).

Die Zuflüsse des Thunersees sind, abgesehen von der Aare und dem unteren Lauf der Kander, steile Gebirgsbäche, durch die bei anhaltenden Regenfällen oder starken Gewittern gefährliche Murgänge ausgelöst werden können. Ein weiterer Zufluss, der allerdings unterirdisch zwischen dem Lombach und dem Suldbach in den Thunersee einmündet und wahrscheinlich ein grosses Höhlensystem zwischen Thunersee und Schratzenfluh entwässert (KNUCHEL 1961), könnte zwar für die Wasserbilanz des Sees eine Rolle spielen, ist aber für dessen Sedimentationsvorgänge von geringer Bedeutung.

Die Bedeutung der Kander, die somit für das Sedimentationsgeschehen im Thunersee der wichtigste Zufluss ist, wird noch dadurch verstärkt, dass sie erst am 18. Mai 1714 in den Thunersee eingeleitet worden ist (GROSJEAN 1962); vorher floss sie durch das Glütschbachtal parallel zum Thunersee nach NW und mündete erst unterhalb Thun in die Aare ein. Durch die Einleitung in den Thunersee wurde nicht nur das Einzugsgebiet des Sees nahezu um das Doppelte vergrössert, sondern, wie in der Folge noch zu sehen sein wird, auch dessen Sedimentationsgeschehen, vor allem im unteren Seebereich, nachhaltig verändert.

5. Morphologie des Seebeckens

Der Thunersee liegt wie erwähnt in einem glazial geformten Becken und besitzt die in Tabelle 1 angeführten morphologischen Parameter (STEINER 1953 sowie eigene Angaben).

Tabelle 1. Morphologische Parameter des Thunerseebeckens. SD (shoreline development) und E (elepticity) nach REEVES (1968).

Max. Länge:	17,7 km	Fläche:	48,0 km ²
Max. Breite:	3,6 km	Wasservolumen:	6,6 km ³
Mittlere Breite:	2,7 km	Uferlänge:	42,9 km
Max. Tiefe:	215 m	SD:	1,7
Mittlere Tiefe:	137 m	E:	0,8

Wie Figur 1 zeigt, ist das Thunerseebecken relativ schwach gegliedert. Es lässt sich jedoch durch eine Schwelle bei Spiez in zwei Becken einteilen: In ein tiefes, gleichförmiges Becken im Osten mit einer flachen Seebodenebene (Profundal) in 200 m Wassertiefe und in ein weniger tiefes westliches Becken, das gegen das untere See-Ende bei Thun mit einer Seebodenneigung zwischen 1° und 2° ansteigt. Das Profundal, das den grössten Teil des östlichen Beckens einnimmt, wird hier im Norden und grösstenteils auch im Süden von Steilufern begrenzt, für die steile Schuttfächer in den Mündungsbereichen der Zuflüsse charakteristisch sind; gegen Osten steigt die Seebodenebene mit durchschnittlich 15° Hangneigung zu einer subaquatischen Plattform in etwa 60 m Wassertiefe an. Im westlichen Becken, wo das Profundal nur einen relativ kleinen Teil des Beckens einnimmt, sind im Norden (wieder mit steilen Schuttfächern) und beim Spiezberg Steilufer, im Süden und besonders im Westen dagegen sehr flache Ufer entwickelt, wo sich auch das grosse Delta der Kander befindet. Zur Ausbildung einer Uferbank kommt es an den beiden See-Enden zwischen der Aare und dem Lom-bach bei Interlaken und zwischen dem Kanderdelta und Thun und, in kleinerem Ausmass, entlang des Südufers westlich von Därlingen, bei Faulensee und bei Einigen.

Vor den Mündungen der Zuflüsse finden sich entweder Delten oder Schuttfächer, die im folgenden näher beschrieben werden, da sie Rückschlüsse auf die Ablagerungsmechanismen erlauben.

Deltabildungen

Im Thunersee lassen sich zwei Delten (nach der Definition von GILBERT 1890, S. 69) feststellen. Eines davon baut die Kander über die Uferbank zwischen Einigen und Thun weit in den hier flacheren See hinaus. Nach NIKLAUS (1969) hat die Kander dabei

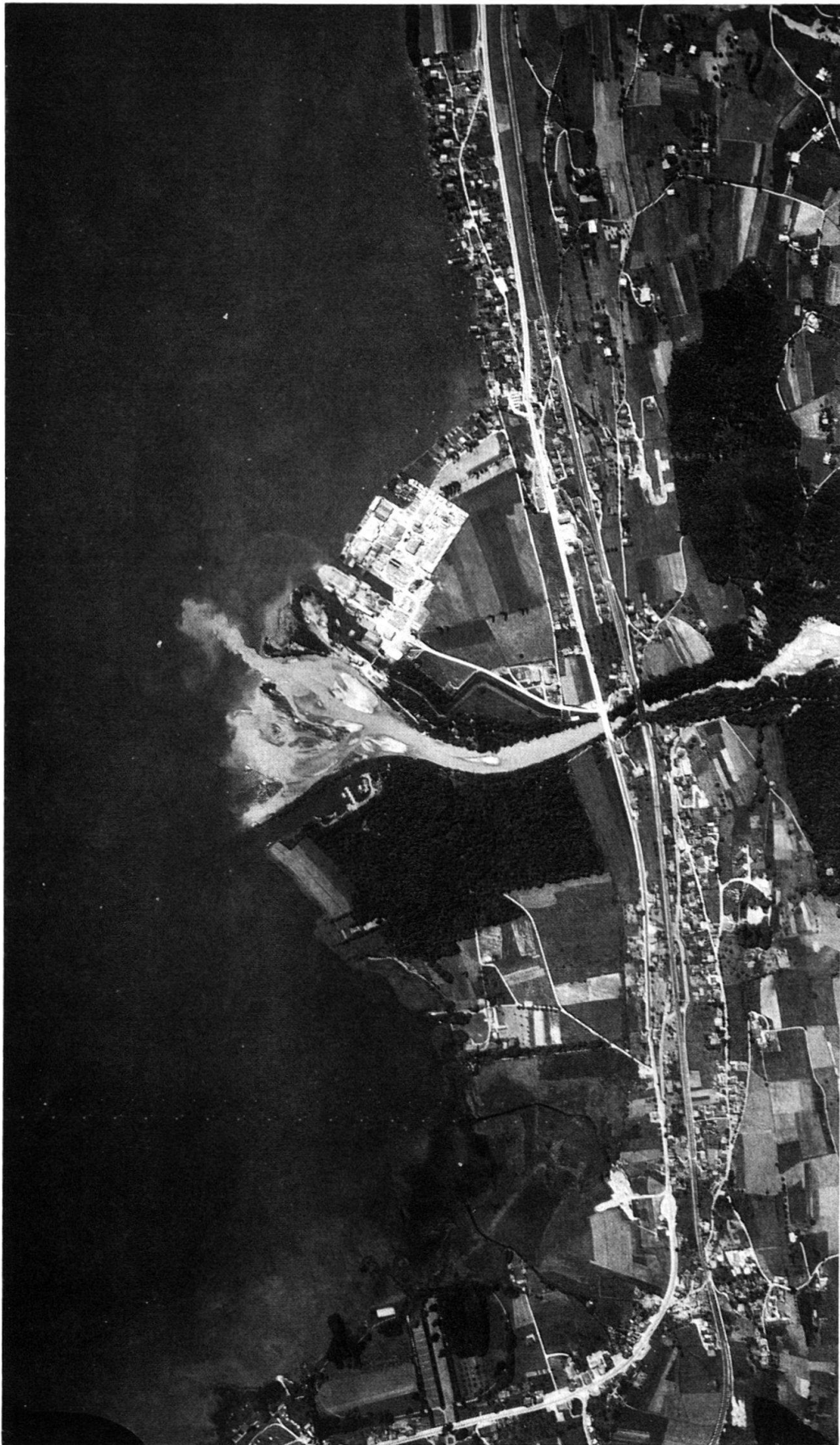


Fig. 2. Kanderdelta. Flugaufnahme der Eidg. Landestopographie vom 15. Juni 1961. Bewilligung zur Veröffentlichung vom 19. Juni 1972.

seit 1714 ein Delta mit einer subaerischen Fläche von etwa 850 000 m² und einem Volumen von ungefähr 60 Mio. m³ geschaffen. Seit dem Jahre 1913 wird eine weitere Vergrößerung des subaerischen Deltaanteils durch einen intensiven Kiesabbau verhindert. In Figur 2 ist die alte Uferlinie und das seit 1714 entstandene Delta gut zu erkennen. Beim Kanderdelta, vor allem in seinem subaquatischen Bereich, handelt es sich um einen asymmetrischen Deltatyp, wofür zwei Faktoren verantwortlich sind: Erstens die Ablenkung des untersten Kanderlaufes im 19. Jahrhundert nach ENE, wodurch ein Verlanden des Gwattlischenmoos im Nordwesten der Kanderdündung verhindert werden sollte, und zweitens die Anpassung des subaquatischen Deltaanteils an das nach Südosten einfallende Seebodenrelief (Fig. 1). Die ebenfalls nach SE ablenkende Wirkung der Corioliskraft unterstützt zweifellos die Neigung zur Asymmetrie, spielt aber in diesem Zusammenhang nur eine untergeordnete Rolle.

Die Sedimente des Kanderdeltas lassen sich gut den verschiedenen Bereichen, Topset, Foreset und Bottomset, zuordnen. Der subaquatische Topsetbereich, mit einer Hangneigung von etwa 3° bis zu einer Wassertiefe von 10 m reichend, setzt sich zum Grossteil aus der Geröll- und Kiesfracht zusammen, die unmittelbar nach der Einmündung der Kander in den See abgesetzt wird; in diesem Bereich findet heute der Kiesabbau statt. Der Foresetbereich fällt in seinem oberen Teil mit rund 19° und in seinem unteren Teil mit durchschnittlich 10° gegen die Beckenmitte hin ein und reicht bis etwa 90 m Wassertiefe. Er weist mit einer Länge von rund 350 m neben einzelnen Geröll- und Kieslagen überwiegend ungeschichtete Sande mit sehr geringem Tonanteil auf. Der Übergang in den nachfolgenden Bottomsetbereich mit einer durchschnittlichen Hangneigung von 2° bis 3° erfolgt allmählich; Geröll- und Kieslagen fehlen, statt dessen treten gradierte Sandlagen auf, die bis einige Dezimeter mächtig werden können. Es folgen gradierte Sand-Silt-Lagen, die schliesslich in Sand-Silt-Ton-Zyklen übergehen, wobei die Mächtigkeit dieser Lagen wenige Zentimeter in der Regel nicht übersteigt. Der anschliessende Bottomsetbereich stellt für weite Teile des Seebeckens die normale Beckensedimentation dar und kann daher in seiner Gesamtheit nicht mehr zum engeren Deltakomplex gerechnet werden, wie dies auch FÖRSTNER et al. (1968, S. 42) im Bodensee festgestellt haben. Echolotaufnahmen im Bereich des Kanderdeltas zeigen, dass das Delta von einer Reihe von bis zu 15 m tiefen Rinnen (channels) durchfurcht ist. Einer genaueren Untersuchung dieser Rinnen standen die durch Baggararbeiten ausgelösten Störungen der normalen Ablagerungsbedingungen entgegen.

Das zweite Delta im Thunersee, das im Ausmass wesentlich kleiner ist, wird vom Lombach gebildet und schliesst sich im NW an dessen ausgedehnte Schotterebeue an, die im Bereich des Bödeli den Lauf der Aare weit nach Süden verdrängt (Fig. 1). Auch in diesem Delta lassen sich Topset-, Foreset- und Bottomsetbereiche gut voneinander abtrennen. Im Gegensatz zum Kanderdelta, dessen Bottomsetablagerungen sich über weite Teile des Sees erstrecken, beschränken sie sich beim Lombachdelta nur auf einen Teil der subaquatischen Plattform.

Die Morphologie der Deltabildungen ist im Thunersee sehr viel steiler als im marinen Bereich. So herrschen in den Thunerseedelten Foresetneigungen von über 20% vor, während z. B. das Mississippidelta in seinem Foresetbereich nur eine Neigung von 1% aufweist (SHEPARD 1956).

Schuttfächerbildungen

Den übrigen Zuflüssen des Thunersee gelingt es wegen ihrer relativ geringen Feststofffracht und wegen des steilen Seebeckenreliefs nicht, ähnliche Deltakomplexe aufzubauen. Ihre Feststoffmassen lagern sie daher in Form von sehr steilen subaquatischen Schuttfächern ab, deren Hangneigungen im Minimum 20° (Grönbach) und im Maximum 40° (Suldbach) betragen (Fig. 3). Im Gegensatz zu einem Delta ist bei

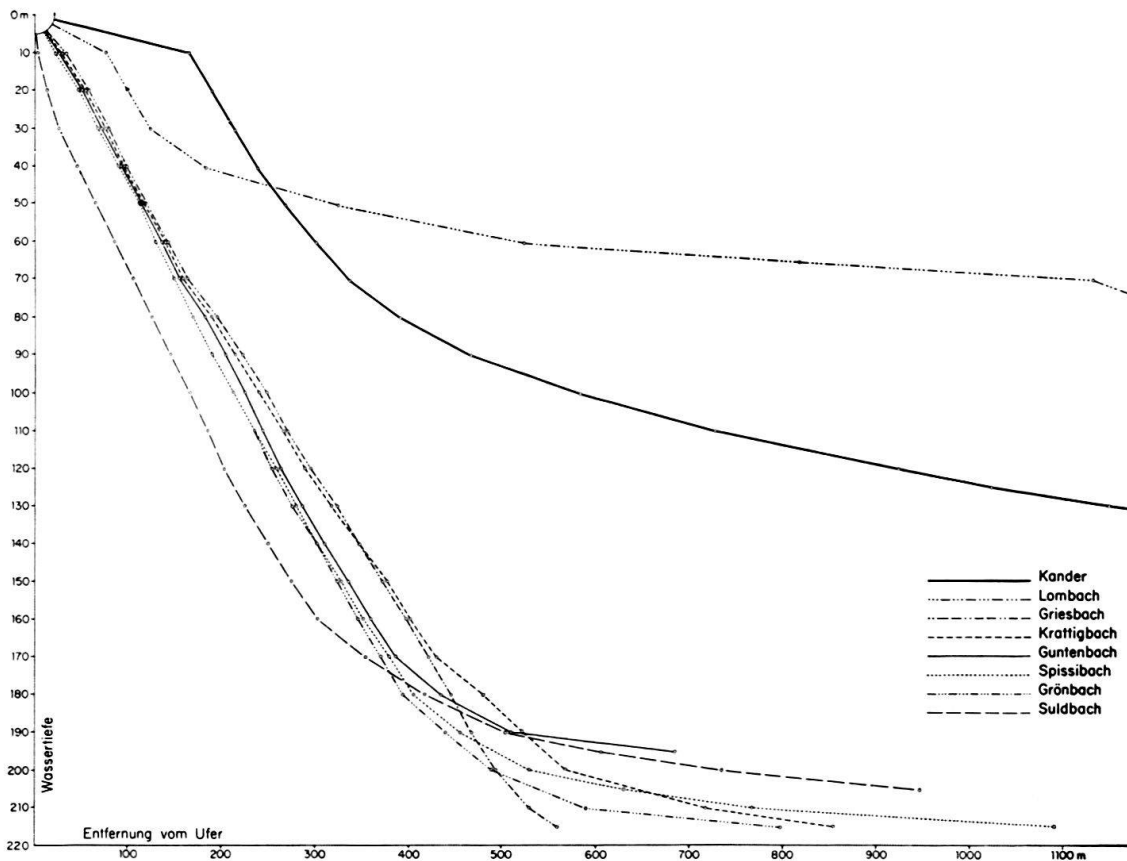


Fig. 3. Bathymetrische Profile der Delten und der wichtigsten subaquatischen Schuttfächer im Thunersee.

Schuttfächern kein Topsetbereich entwickelt (Fig. 3), sondern die gesamte Kies- und der grösste Teil der Sandfracht wird innerhalb von 300 bis 400 m vom Ufer am steilen Schuttfächerhang abgelagert. Bei aussergewöhnlich starken Hochwässern oder Murgängen können Grobschüttungen allerdings auch in weiter vom Ufer entfernte Teile der Seebodenebene gelangen. Der Übergang des steilen Schuttfächerhangs zum Profundal ist mit dem Übergang vom Foreset- zum Bottomsetbereich eines Deltas zu vergleichen; die Sedimente werden allmählich feiner, die Hangneigung flacher, bis schliesslich die Seebodenebene erreicht ist, wo, ausser in den obengenannten Fällen, keine Sandschüttungen mehr anzutreffen sind. Auf Grund von Echolotaufnahmen wurde festgestellt, dass die Schuttfächer im Gegensatz zu den Delten keine Rinnen oder Anzeichen von Erosionstätigkeit aufweisen.

6. Sedimente der Zuflüsse und der Seebodenoberfläche

Schwermineralverteilung

Der geologische Rahmen des Thunersees ist dadurch charakterisiert, dass sehr verschiedene tektonische Einheiten, die sich auch lithologisch stark unterscheiden, quer zur Achse des Seebeckens streichen. Eine eingehende Darstellung der geologischen Verhältnisse sowie deren Bedeutung für die Genese und Morphologie des Beckens wurde bereits in MATTER et al. (1971) gegeben. Die Heterogenität der Liefergesteine spiegelt sich aber auch in der mineralogischen Zusammensetzung der Fluss- und Seesedimente wider, eine Tatsache, die, wie anschliessend gezeigt wird, für die Gliederung bzw. die Zuordnung der Seesedimente zu bestimmten Liefergebieten bedeutungsvoll ist.

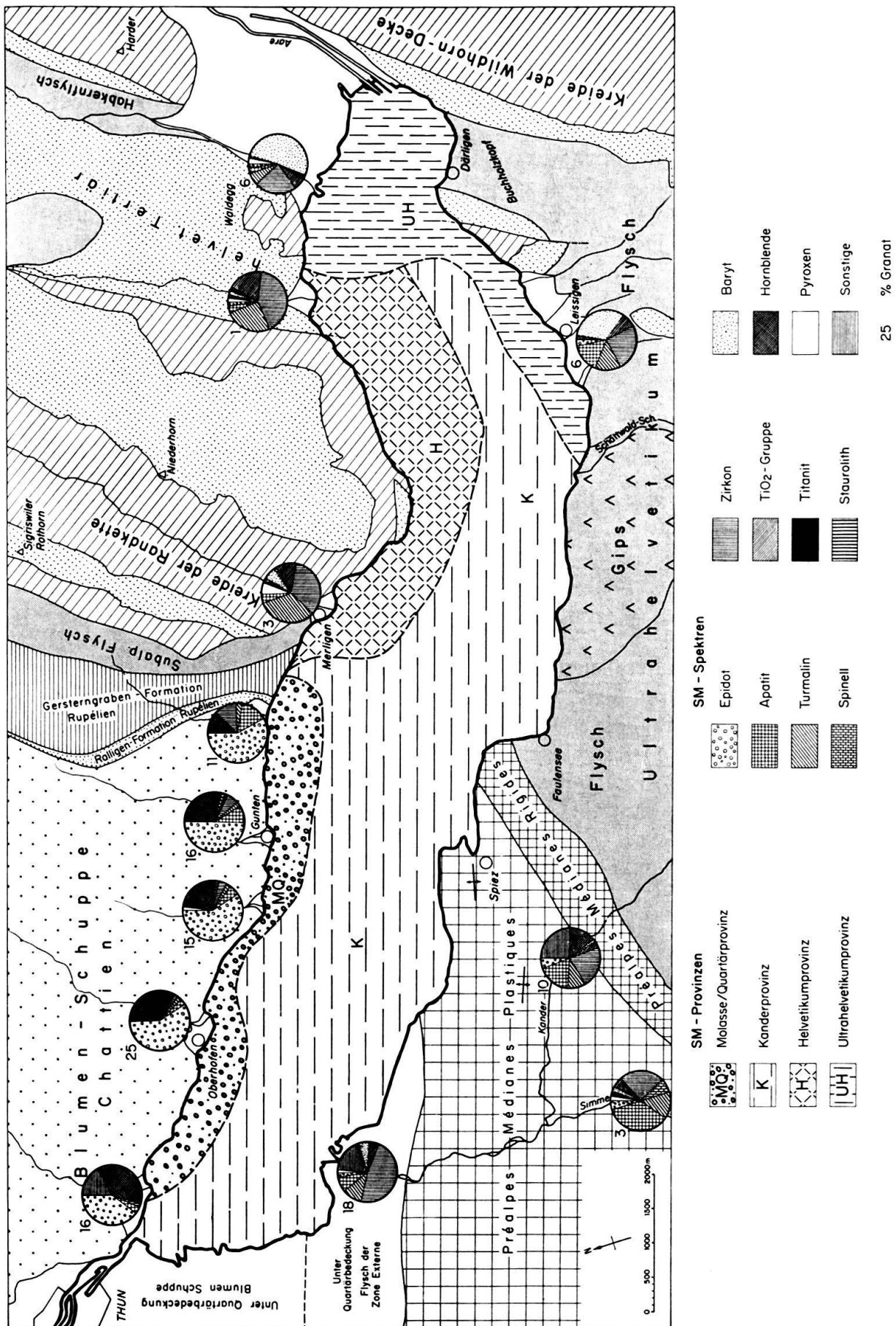
Auf Grund der Schwermineralspektren ihrer Sedimente lassen sich zunächst die Thunerseezuflüsse vier Schwermineralprovinzen zuweisen (Fig. 4):

1. Kanderprovinz. Hauptminerale: Apatit und Pyroxen; Zufluss: Kander; tektonische Einheiten: Kristallin des Aarmassivs, helvetische Decken, präalpine Decken, Niesendecke, Ultrahelvetikum.
2. Molasse-Quartär-Provinz. Hauptminerale: Epidot und Hornblende; Zuflüsse: Hünibach, Riderbach, Ringoldswilbach, Guntenbach; tektonische Einheiten: Molasse mit quartärer Bedeckung.
3. Helvetikumprovinz. Hauptminerale: Turmalin und Zirkon; Zuflüsse: Grönbach, Suldbach; tektonische Einheiten: Helvetische Decken.
4. Ultrahelvetikumprovinz. Hauptminerale: Baryt und Zirkon; Zuflüsse: Lom bach, Holzerbach, Eybach, Spissibach, Griesbach; tektonische Einheiten: Ultrahelvetikum, helvetische Decken.

Auf Grund ihrer Schwermineralzusammensetzung lässt sich nun auch jede Seebodenprobe einer dieser vier Schwermineralprovinzen zuordnen. Die statistische Verarbeitung des Zahlenmaterials erfolgte mit einem Computerprogramm für Diskriminanzanalyse. Die Schwermineralprovinzen der Thunerseesedimente sind in Figur 4 dargestellt. Deutlich ist die grosse Ausdehnung der Kanderprovinz gegenüber den anderen Provinzen erkennbar; sie beherrscht nicht nur den Grossteil des westlichen Seebeckens, sondern nimmt auch noch grosse Teile des östlichen Beckens ein. Das Kandermaterial wird also sehr weit über den See verteilt, während sich der Einfluss anderer Zuflüsse oft nur auf den engeren Mündungsbereich beschränkt. So findet sich die Molasse-Quartär-Provinz nur in einem schmalen Streifen am Nordufer des unteren Beckens, und auch der im Osten anschliessenden Helvetikumprovinz gelingt es trotz ihren relativ grossen Zuflüssen nicht, sich über die Seemitte hinaus auszudehnen. Die Ultrahelvetikumprovinz, zunächst auch nur in einem beschränkten Ausmass am südöstlichen Seeufer entwickelt, kann sich gegen Osten auf den gesamten obersten Seeteil ausdehnen, ein Zeichen dafür, dass auf die subaquatische Plattform bei Interlaken kein Kandermaterial gelangt.

Karbonatverteilung

Der Gesamtkarbonatanteil der Thunerseesedimente besteht aus Calcit und kleinen Mengen Dolomit (Calcit-Dolomit-Verhältnis > 15). Beim Calcit handelt es sich um



einen «Low Magnesium Calcite» mit weniger als 2 Mol-% MgCO_3 . Aragonit konnte weder in den Fluss- noch in den Seesedimenten festgestellt werden. In Figur 5 ist die Karbonatverteilung der Oberflächensedimente dargestellt. Deutlich lässt sich an den hohen Karbonatwerken ($> 45\%$) im westlichen Becken der Einfluss des karbonatreichen Kandermaterials erkennen, der gegen Osten kontinuierlich abnimmt (Werte zwischen 20 % und 24 %). Damit wird weitgehend das schon bei der Schwermineralverteilung gewonnene Bild bestätigt, dass hauptsächlich Kandersedimente weiträumig über den See verteilt werden. Die Gliederung der Sedimente nach ihrem Karbonatgehalt wird dadurch erleichtert, dass die Karbonate des Thunersees klastisch-detritärer Natur sind. Das kommt unter anderem dadurch zum Ausdruck, dass die Karbonatwerke der Seesedimente signifikant unter denen der Zuflüsse liegen. Das Calcit-Dolomit-Verhältnis, in der Regel > 15 , ist in den Sedimenten der Zuflüsse und des Sees annähernd gleich. Eine Ausnahme in dieser Beziehung stellen die Sedimente der Proben TK 23 und TK 24 auf der Uferbank im Süden von Thun dar, deren Karbonatgehalt mit 57 % über dem durchschnittlichen Wert der Kandersedimente (etwa 52 %) liegt. Hier kommt es zu einer lokalen autigenen Karbonatanreicherung, für die bei einer Wassertiefe von < 10 m Blaugrünalgen verantwortlich sein können. Dagegen sind die relativ hohen Karbonatgehalte vor den Mündungen der karbonatarmen Flüsse der Molasse-Quartär-Provinz durch das hierher verfrachtete karbonatreiche Kandermaterial bedingt.

Tonmineralverteilung

Als wichtigste Tonmineralien finden sich Illit, Fe-Chlorit, Montmorillonit und ein Illit-Montmorillonit-Mixed-layer. Vereinzelt lassen sich daneben noch geringe Gehalte von Vermikulit und Paragonit bestimmen, während Kaolinit nicht gefunden werden konnte. Quarz, Albit und Kalifeldspat sind in der Tonfraktion der meisten Proben ebenfalls vorhanden. Ein vereinzelt Auftreten von Gips findet sich im Kern TP 24, der im Einflussbereich der ultrahelvetischen Gipsvorkommen zwischen Krattigen und Leissigen liegt (Fig. 4).

Die Verteilung der Tonmineralien in den Zufluss- und Seesedimenten, wie sie in Figur 6 dargestellt ist, zeigt, dass die Zuflüsse zum Teil auch auf Grund der Tonmineralien einzelnen Provinzen zugeordnet werden können, indem das auffällig hohe Vorkommen von Montmorillonit nur auf den Molasse-Quartär-Bereich, das vermehrte Auftreten des Illit-Montmorillonit-Mixed-layers dagegen auf die Zuflüsse aus dem Helvetikum und Ultrahelvetikum beschränkt ist. In den Seesedimenten sind jedoch diese Unterschiede völlig verwischt, und es findet sich ein mehr oder weniger uniformes Tonmineralspektrum im gesamten Seebereich. Im Durchschnitt tritt eine Illit-, Chlorit-, Illit-Montmorillonit-Mixed-layer-Vergesellschaftung im Verhältnis 75:20:5 auf. In einigen, von Molasse-Quartär-Material beeinflussten Seesedimenten lassen sich Anzeichen von Montmorillonit nachweisen (siehe Fig. 6, Proben mit M). Abgesehen davon zeigt sich aber, dass sich die uniforme Zusammensetzung der Tonfraktion deutlich von der differenzierten Verteilung der Schwermineralien, der Karbonate und der Sedimente (siehe unten) unterscheidet. Die Ursache dafür liegt, wie noch zu zeigen sein wird (S. 586), in einem prinzipiell anderen Ablagerungsmechanismus der Fraktion $< 2 \mu$ im Vergleich zu den gröberen Fraktionen.

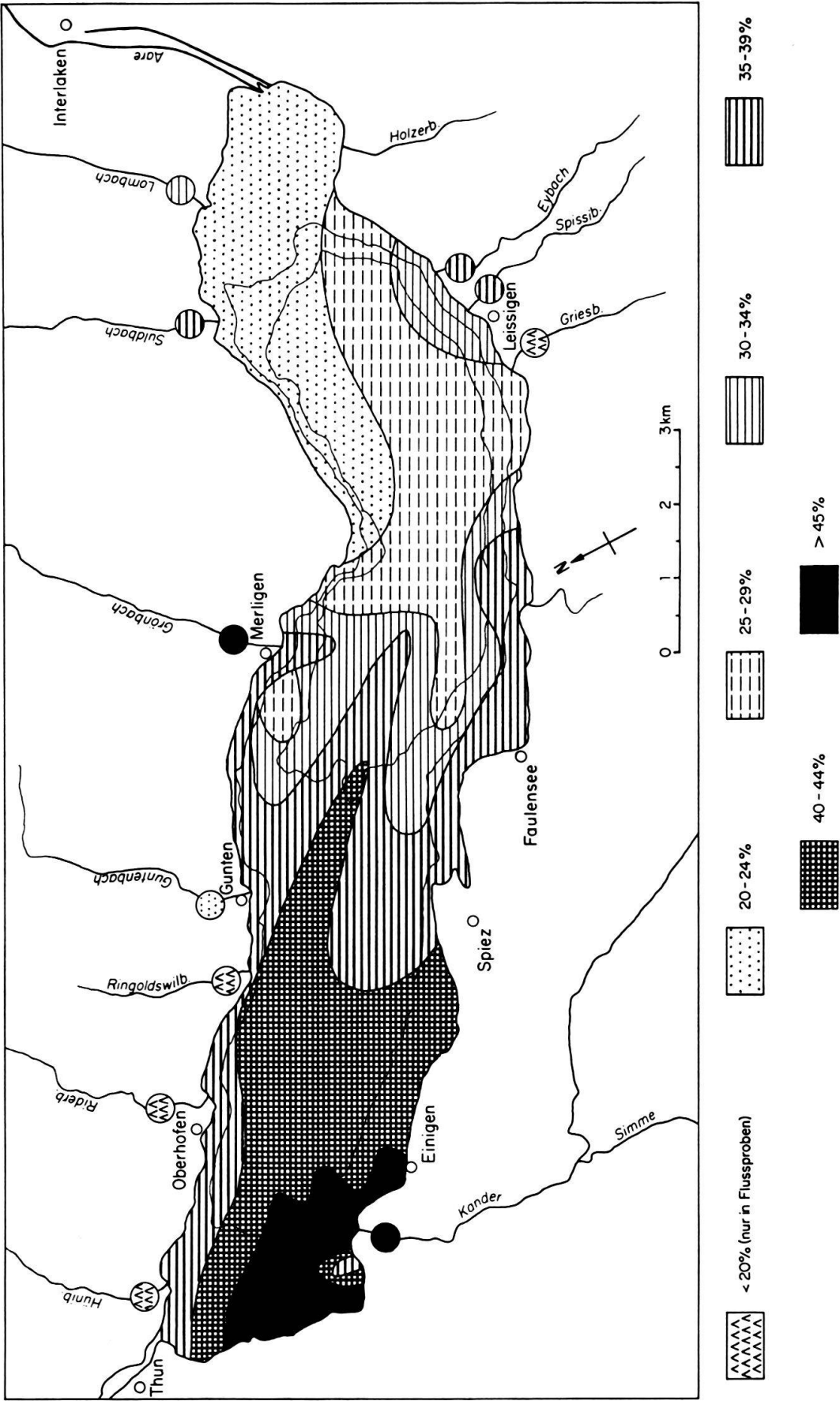


Fig. 5. Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes in den Oberflächen- und Zuflusssedimenten des Thunersees.

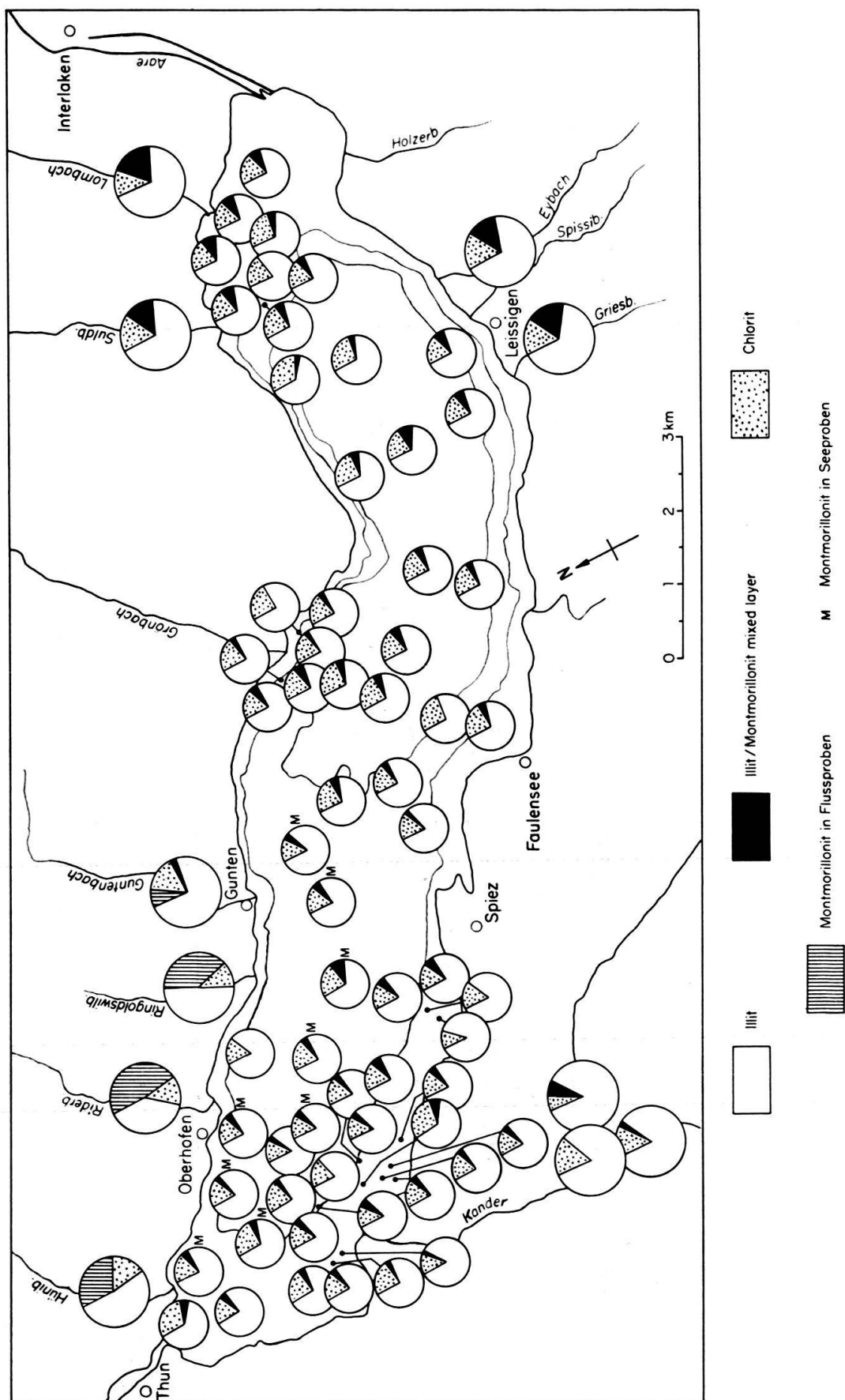


Fig. 6. Verteilung des Tonmineralgehalts in den Oberflächen- und Zuflusssedimenten des Thunersees.

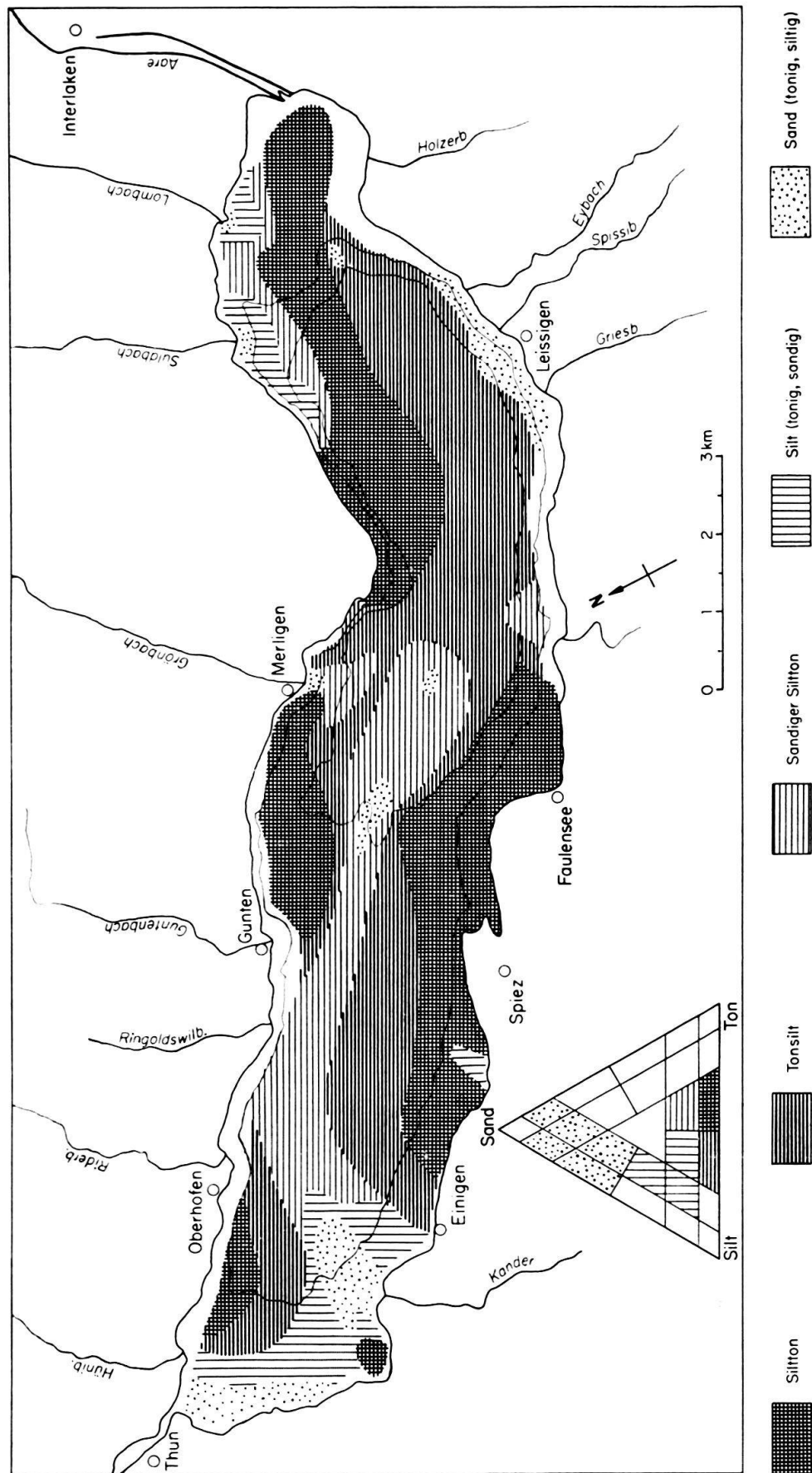


Fig. 7. Verteilung der Oberflächensedimente im Thunersee auf Grund ihres Sand-Silt-Ton-Verhältnisses.

Die Sedimente der Seebodenoberfläche

Die in Figur 7 dargestellte Verteilung der Sedimente, die auf Grund ihres Sand-Silt-Ton-Verhältnisses nach FÜCHTBAUER (1958) und MÜLLER (1966b) gegliedert wurden, weist ähnliche Tendenzen auf wie die Schwermineral- und die Karbonatverteilung. So zeigt sich, dass die Korngrösse der Sedimente vor kleineren Zuflüssen in Richtung Seemitte sehr rasch abnimmt und gröberes Material in der Regel nicht über den engeren Mündungsbereich hinaus verfrachtet wird. Dagegen gelingt es der Kander, nicht nur ihr Sandmaterial weit in den See hinaus zu schütten, sondern auch den sandigen Silttonanteil longitudinal weit nach Osten zu verfrachten, was im unteren Seebecken eine «inverse» Sedimentverteilung bewirkt, mit gröberen Sedimenten in der Seemitte und feineren gegen das Ufer zu.

In der Häufigkeit der Sedimenttypen überwiegen Tonsilt- (36 %) und Silttonvorkommen (32 %). Sie finden sich in der Regel im Profundal und auf sedimentationsarmen Bereichen der Uferbank und weisen auf ein ruhiges, von Störungen durch Zuflüsse freies Ablagerungsmilieu hin. Sandiger Siltton, bereits nur mehr mit 18 % vertreten, ist für die Bottomsetbereiche (im weiteren Sinn) der Delta- und Schuttfächerbildungen charakteristisch. Silt (tonig, sandig) mit 7 % und Sand (tonig, siltig) mit 7 % Anteil an den Oberflächensedimenten beschränken sich hauptsächlich auf die engeren Mündungsbereiche der Bäche und Flüsse, also die Foresetbereiche der Delten und die Schuttfächerhänge. Ausgenommen davon sind die Sandvorkommen auf der Uferbank im Süden von Thun, in der Seemitte auf der Höhe von Spiez und Merligen und zusammen mit Kies und Schotter in einer Rinne, die von der subaquatischen Plattform bei Interlaken zur Seebodenebene hinunterführt. In den beiden letzteren Fällen handelt es sich um Gebiete, die nicht direkt im Einflussbereich von Zuflüssen liegen, sondern in denen durch lokal verstärkte Strömungen ein Absetzen feinerer Fraktionen verhindert, wenn nicht sogar, wie im Fall der Rinne, bereits abgesetztes Material erodiert wird. Während die Sande in der Seemitte nach der Schwermineralführung jüngere Sedimente der Kanderprovinz darstellen (nach 1714 abgelagert), dürfte das Sand-, Kies- und Schottervorkommen der Plattformrinne wesentlich älter sein, worauf bereits in MATTER et al. (1971, S. 515) verwiesen wurde.

7. Sedimente im Vertikalprofil

Fazielle Gliederung

Die postglazialen Ablagerungen im Thunersee, soweit sie in den max. 6 m langen Kolbenlotkernen erfasst wurden, können auf Grund ihrer lithologischen Unterschiede den folgenden Faziestypen zugeordnet werden.

Turbiditfazies

Diese gliedert sich in zwei Subfazies:

Die *Turbiditfazies A* stellt eine Abfolge einfacher Gradierungszyklen dar, wie sie in Figur 8A zu sehen ist. Die einzelnen Zyklen beginnen mit Grob- bis Feinsand, der gegen oben kontinuierlich, ohne erkennbare Schichtung, in Silt und selten in Ton übergeht. In den meisten Fällen setzt noch vor der Ablagerung der Tonfraktion mit einem scharfen Schnitt die Grobschüttung des nächsten Zyklus ein. Die durchschnitt-

liche Mächtigkeit einer solchen gradierten Lage beträgt zwischen 1 und 3 cm. Die Sedimente weisen einen hohen Wassergehalt auf. Die häufig auftretenden Hohlräume (siehe TP 43, Tf. II) sind auf Gasblasen zurückzuführen, welche durch Druckentlastung bei der Kernentnahme entstehen. Das Gas bildet sich hauptsächlich durch die Zersetzung organischen Materials, wie Plankton und Holz- und Blätterreste (FÖRSTNER et al. 1968). Ablagerungen dieses Faziestyps treten im Kanderdelta im Übergangsbereich von Foreset zu Bottomset und am Fusse der steilen Schuttfächer vor kleineren Zuflüssen auf. Die rasche Aufeinanderfolge der Zyklen und das Fehlen von Jahreslagen deuten darauf hin, dass die für diesen Faziestyp verantwortlichen Trübe- ströme mehrmals innerhalb eines Jahres auftreten können (S. 587).

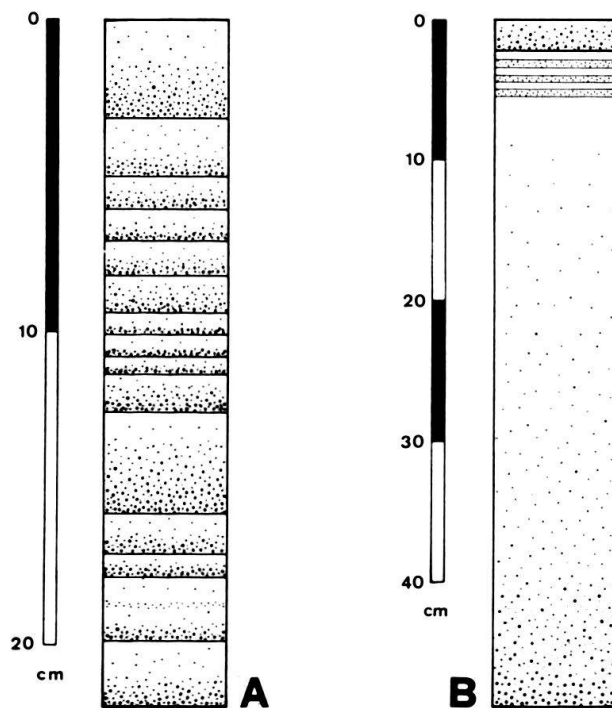


Fig. 8. Sedimente im Vertikalprofil: A. Abfolge einfacher Gradierungszyklen der Turbiditfazies A. B. Zyklus der Turbiditfazies B mit einer gradierten Lage im unteren Teil und nachfolgenden Jahres- schichten.

Für die *Turbiditfazies B* sind Zyklen mit gradierten Lagen und regelmässigen Dunkel-Hell-Laminae charakteristisch. Wie in Figur 8B dargestellt ist, beginnt ein Zyklus mit einer mächtigen gradierten Lage, deren Korngrösse von unten nach oben von Grob- bzw. Feinsand bis zur Tonfraktion kontinuierlich abnimmt. Diese Sedimente weisen ausserdem einen hohen Wassergehalt auf, sind von zahlreichen, auf Gasblasen zurückzuführenden Hohlräumen durchsetzt und lassen keine Schichtung erkennen. Auf diesen gradierten Abschnitt, der meist den grössten Teil des Zyklus einnimmt, folgen im Hangenden mehr oder weniger zahlreiche Warven bzw. Silt-Ton-Laminae mit niedrigerem Wassergehalt und ohne Gasblasenhohlräume, bevor mit einer scharfen Grenze die grobe Basisschüttung des nächsten Zyklus einsetzt. Die einzelnen Zyklen werden bis 60 cm mächtig, wobei die gradierten Abschnitte bis zu 50 cm davon einnehmen können. Die Sedimente dieser Lithofazies finden sich vor allem im Profundal des oberen Seebeckens vor den Mündungen kleinerer Zuflüsse und entstehen durch

Trübeströme, die von seltenen, aber aussergewöhnlich starken Hochwässern oder Murgängen ausgelöst werden (S. 587).

Warvenfazies

Eine regelmässige Abfolge von meist millimetermächtigen Laminae charakterisiert diesen Lithofaziestyp, wobei auf eine dunkle Feinsiltlage mit einer scharfen Begrenzung im Hangenden immer eine helle Tonlage folgt, die ihrerseits, wieder scharf begrenzt, von der nächsten dunklen Feinsiltlage überlagert wird (Fig. 9). Ein solches Silt-Ton-Paar repräsentiert im Normalfall den Zeitraum eines Jahres; es handelt sich dabei also um Jahresschichtung oder um Warven im Sinne von DE GEER (1910), wobei allerdings in den Thunerseesedimenten im Gegensatz zu den glazialen Warven die dunklen Laminae die Sommer- und die hellen Laminae die Winterlagen darstellen. Diesen regelmässigen Dunkel-Hell-Paaren können manchmal 2 bis 5 cm mächtige

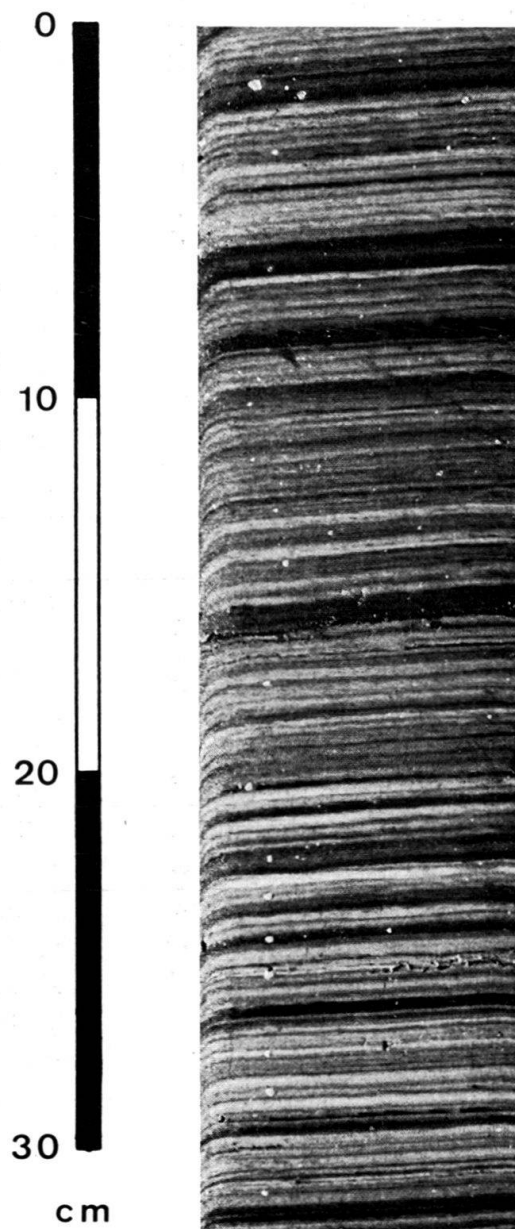


Fig. 9. Sedimente im Vertikalprofil: Warvenfazies.

homogene Siltlagen zwischengeschaltet sein (TP 39, Tf. II), die auf grundberührende Dichteströme (S. 586) zurückzuführen sind. Ebenso kommen Mikrolaminae von wenigen Zehntelmillimetern vor, wie sie auch NIKLAUS (1967, S. 64) aus Ablagerungen des Öschinensees beschreibt. Der Wassergehalt dieser Sedimente ist gering, Gasblasen fehlen fast vollständig. Die Warvenfazies ist heute für den grössten Teil der Seebodenebene und der Uferbank charakteristisch.

Reduktionsfazies

Die Sedimente dieses Faziestyps treten sowohl als geschichtete wie als homogene Ablagerungen auf. Die geschichteten Sedimente sind der oben beschriebenen Jahres-

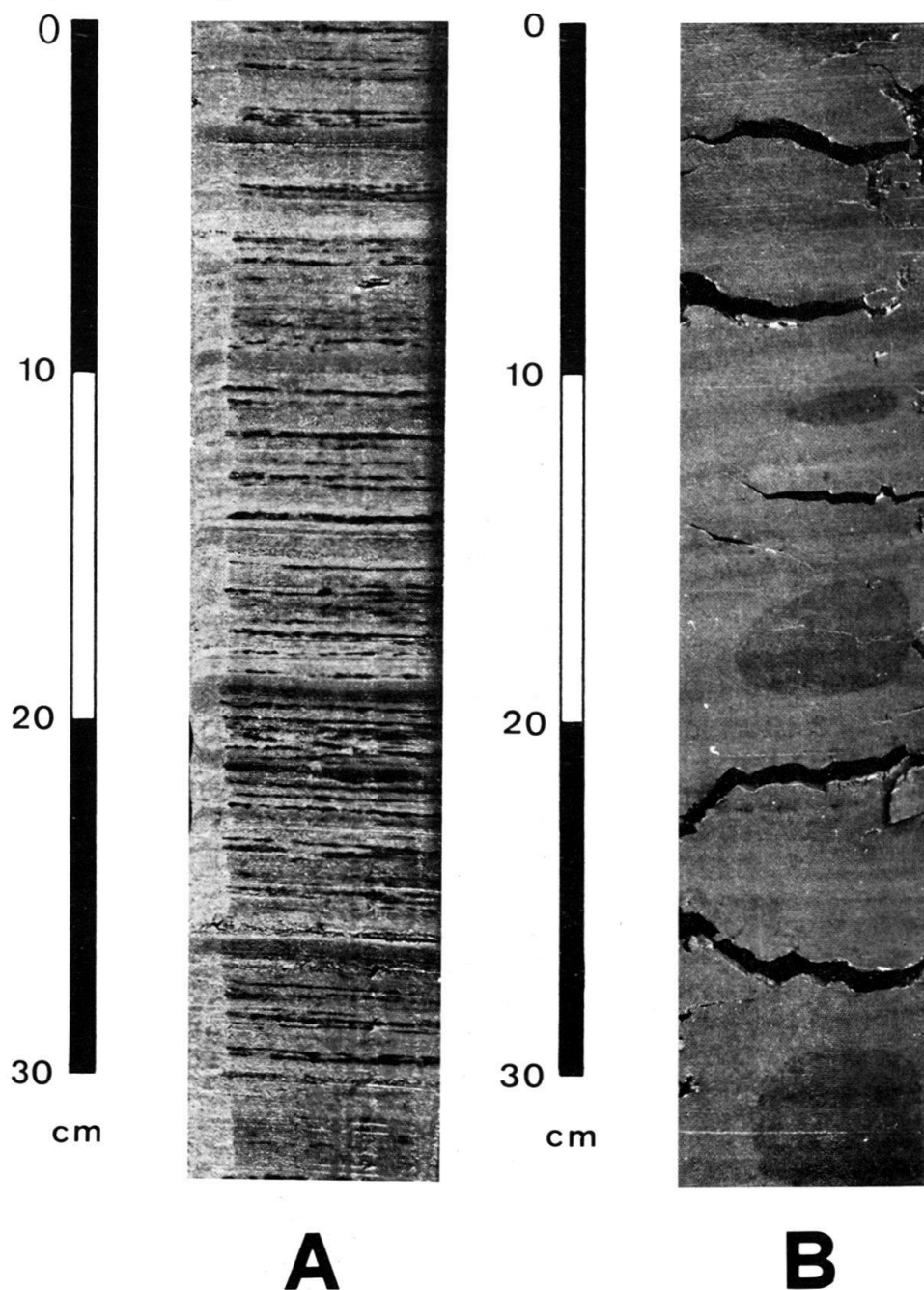


Fig. 10. Sedimente im Vertikalprofil: A. Geschichtete Reduktionsfazies mit schwarzen FeS-Zwischenlagen. B. «Homogene» Reduktionsfazies.

schichtung ähnlich, weisen aber zahlreiche dunkelgraue bis schwarze Eisenmonosulfidzwischenlagen auf (Fig. 10A), die, ähnlich wie im Bodensee (MÜLLER 1966a), nicht mit der Jahresschichtung gleichzusetzen sind, sondern auf schlechte Wasserzirkulation und -durchlüftung hinweisen (MÜLLER 1966a, b). Bei zunehmender Eutrophierung und abnehmender Sauerstoff- und Sedimentzufuhr verschwindet die Laminierung immer mehr, und es bilden sich dunkelgraue bis schwarze, mehr oder weniger homogene Tonsedimente mit einem äusserst geringen Wassergehalt (Fig. 10B). Radiographien dieser «homogenen» Sedimente lassen eine unregelmässige, undeutliche, schlierige Schichtung und Anzeichen von Pflanzenresten erkennen. Spuren einer Bodenfauna bzw. von Bioturbation wurden keine gefunden. Die Reduktionsfazies hatte ihre Hauptverbreitung vor der Einleitung der Kander und ist heute nur auf einen kleinen Bereich der subaquatischen Plattform bei Interlaken beschränkt (siehe unten). Gytja- und sapropelähnliche Ablagerungen dieser Art wurden auch im Zürichsee (ZÜLLIG 1956, KELTS, mündliche Mitteilung), Bodensee (MÜLLER 1966a, b) und im Genfersee (SERRUYA 1969) angetroffen.

Veränderung der Sedimentation durch die Kandereinleitung

Durch die Einleitung der Kander im Jahre 1714 wurden die limnologischen Verhältnisse vor allem im unteren Seebecken vollständig verändert. Vorher herrschten hier anaerobe, stark eutrophe Verhältnisse, von denen nur ein schmaler Streifen im Einflussbereich der kleinen Zuflüsse vom Norden her verschont blieb. Es kamen ausschliesslich dunkelgraue bis schwarze, sehr feinkörnige Schlamme zur Ablagerung, in denen Sandlagen ebenso wie jedes Anzeichen einer Jahresschichtung fehlen. Es ist dies die Hauptverbreitungszeit der Reduktionsfazies. Nach 1714 verschwinden diese mehr oder weniger homogenen Sedimente im unteren Seebecken völlig, und es treten, bedingt durch die verbesserte Durchlüftung und die nahezu um das 10fache vermehrte Feststoffzufuhr, nur noch hellgraue bis graue Sedimente der Turbidit- und Warvenfazies (S. 578) mit entsprechend hohen Sandanteilen auf. Dieser Sedimentationswechsel ist in den Kernen als scharfer Schnitt erkennbar («Kanderschnitt»).

Im Gegensatz zum unteren Seebecken lassen sich im oberen Becken diese Unterschiede nicht deutlich erkennen. Die dunkelgrauen, reduzierten Ablagerungen der Zeit vor dem «Kanderschnitt» können nur bis auf die Höhe von Spiez (Fig. 1) verfolgt werden. Die weiter aus dem Osten stammenden Ablagerungen weisen durchgehend eine Sedimentfärbung auf, wie sie einem vorwiegend oligotrophen Seecharakter entspricht; schwarze Reduktionslagen finden sich nur vereinzelt als schlierige Laminae den z. T. sandreichen Sedimenten zwischengelagert.

Abgesehen von der deutlichen makroskopischen Änderung lässt sich der «Kanderschnitt» auch durch die plötzliche Änderung der chemischen Zusammensetzung der Sedimente nach der Kandereinleitung nachweisen. Während der Gesamtkarbonatgehalt vor 1714 in den dunklen, homogenen Sedimenten maximal 15% erreicht, liegt er oberhalb des «Kanderschnitts» nie unter 35%; damit ist ein weiterer Hinweis auf die detritische Natur der im Thunersee auftretenden Karbonate gegeben. Geochemische Untersuchungen von ABDUL-RAZZAK (1972, S. 24) bestätigten diese Ergebnisse, indem gleichzeitig mit dem sprunghaften Anstieg des Gesamtkarbonatgehalts eine Zunahme des Strontiumgehalts mit einer Abnahme des Mangan-, Eisen-, Stickstoff-, Titan- und organischen Kohlenstoffanteils zu beobachten ist.

Datierung der Sedimente

Für eine Datierung der unverfestigten Thunerseeablagerungen mussten, je nach Sedimentart, Methoden unterschiedlicher Genauigkeit angewandt werden.

- Kanderschnitt
- Auszählung der Warven
- C^{14} -Altersbestimmungen
- Pollenanalyse

Die genaueste Datierung lässt als historisch genau belegtes Ereignis die Einleitung der Kander in den Thunersee zu. Dieser Schnitt ist aber wie erwähnt nur in den Kernen des unteren Seebeckens bzw. der Uferbank erkennbar und kann im oberen Seebecken nicht mehr festgestellt werden. Ausserdem ist er in unmittelbarer Nähe des Kanderdeltas wegen des zu grossen Sedimentzuwachses in den max. 6 m langen Kolbenlotkernen nicht mehr aufgeschlossen.

Die Warvenauszählung erlaubt dagegen eine genaue Datierung auch in Kernen des Profundals im oberen Seebecken. Allerdings wird die Auszählung durch das Fehlen einer genau bestimmbaren Zeitmarke und die Einschaltung von mächtigeren Turbiditlagen und Mikrolaminae (siehe S. 581) erschwert. Die Probleme der Warvenabgrenzung und -auszählung, auf die bereits von verschiedenen Autoren hingewiesen wurde (DE GEER 1910, 1935, ANTEVS 1935, 1951, GERMAN et al. 1965, ANDERSON 1964 und andere), werden von uns zurzeit im Zusammenhang mit dem Mechanismus der Warvenentwicklung an Kernen aus dem Thuner- und Brienzersee untersucht.

An Kernen, in denen ausreichend Holz- bzw. Pflanzenmaterial vorhanden ist, lassen sich mit Hilfe der C^{14} -Methode Datierungen vornehmen. Diese Methode liefert weniger genaue Alterswerte wie die Warvenauszählung und hat den Nachteil, dass nur das Alter des Holzes, nicht aber der Zeitpunkt dessen Sedimentation bestimmt werden kann.

Die vierte Datierungsmöglichkeit, die Pollenanalyse, kann schliesslich bei den Sedimenten mit Erfolg angewandt werden, die relativ langsame Sedimentationsgeschwindigkeiten aufweisen, soweit sie in den Kolbenlotkernen erfasst werden. Im Thunersee ist dies bei den dunkelgrauen und mehr oder weniger homogenen Sedimenten mit geringem Karbonatanteil der Fall, die besonders vor der Kandereinleitung weit verbreitet waren. Ausführliche pollenanalytische Untersuchungen werden zurzeit von R. BODMER, Botanisches Institut der Universität Bern, im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt; einige vorläufige Ergebnisse sind im folgenden Bericht von R. BODMER dargestellt. Es kann, vor allem im Kern TP 1 (Fig. 1, Tf. I) gezeigt werden, dass sich der Kanderschnitt auch mit pollenanalytischen Methoden nachweisen lässt.

«TP 1: In 129,5 cm weist dieser Kern eine deutliche Grenze zwischen laminierten hellgrauen und homogenen dunkelgrauen Sedimenten auf, die auf den durch die Kandereinleitung entstandenen Sedimentationswechsel hindeutet. Die unter- und oberhalb dieser Grenze untersuchten Pollenspektren bestätigen diese Vermutung.

So kann das Pollenspektrum der Probe 130 cm, vor allem in seinem Eichenmischwaldbereich, gut mit dem Pollendiagramm IX verglichen werden, das WELTEN (1944) im Faulenseemoos in die Zeit um 1700 n. Chr. einstuft. Der Anteil der Erlenpollen nimmt oberhalb der Grenzschicht im Vergleich zu der Gesamtpollenzahl stark zu, obwohl die Summe der Baumpollen zugunsten der Gras- und Schein-graspollen zurückgeht, was auf einen frischen Erlenbestand mit Feuchtwiesenunterwuchs auf dem jungen Kanderdelta hinweist. Schliesslich nimmt die Pollendichte (Anzahl Pollen pro Gramm Trok-

kengewicht des Probenmaterials nach JÖRGENSEN 1967) gegen oben deutlich ab (Tab. 2), so dass unter der Annahme einer durchschnittlich konstanten Gesamtpollenproduktion oberhalb der Grenzschicht deutlich mehr Sedimentmaterial abgelagert worden sein muss.

Tabelle 2.

Kerntiefe (cm)	Pollen (Anzahl/g)	
119,5	5 130	
124,5	3 945	
128,5	12 920	
		Grenzschicht (= Kanderschnitt)
130	52 500	
134,5	54 500	
139,5	103 300	

TP 17: Der Kern weist 170 cm teils hellgraue laminierte, teils dunkelgraue homogene Seesedimente auf, die auf Moränenmaterial auflagern. Die untersuchten Proben unmittelbar über der Moräne weisen auf ein spätglaziales Pollenspektrum der ältesten Dryaszeit hin (etwa 11 300 v. Chr. nach WEGMÜLLER 1966). Sedimentationslücken im unteren Teil des Profils sind vorhanden, doch müssen zu ihrer Einstufung noch genauere Untersuchungen durchgeführt werden.»

Sedimentationsraten

Auf Grund der verschiedenen Datierungsmethoden können die Sedimentationsraten für die Thunerseesedimente bestimmt werden. Wegen der morphologischen Unterschiede des Sedimentationsbeckens und der im Laufe der Zeit wechselnden Ablagerungsbedingungen lassen sich keine einheitlichen Werte erwarten. Im Bottomsetbereich des Kanderdeltas betrug die Ablagerungsgeschwindigkeit in den 254 Jahren nach der Kandereinleitung je nach Entfernung vom Delta zwischen 4 mm/Jahr und 7,8 mm/Jahr. Im gleichen Zeitraum wurden auf der Uferbank bei Einigen 4,8 mm/Jahr abgelagert, dagegen auf der Uferbank bei Faulensee nur 1,7 mm/Jahr. Die Sedimentationsgeschwindigkeiten im oberen Seebecken liegen für die Zeit nach 1714 zwischen 4 und 6 mm/Jahr.

Die Berechnung der Sedimentationsraten für die Zeit vor der Kandereinleitung gestaltet sich wegen der fehlenden Zeitmarken (S. 583) schwieriger, weshalb bisher nur zwei Altershinweise aus dem oberen Seebecken vorliegen. An einem Kolbenlotkern aus dem Profundal zwischen Spiez und Merligen (TP 39, Tf. II) lässt sich auf Grund von Warvenauszählungen und C^{14} -Bestimmungen für etwa 1700 Jahre vor der Kandereinleitung ein jährlicher Sedimentzuwachs von 2,4 mm berechnen. An einem zweiten Kern von der Uferbank bei Faulensee (TP 17, Tf. I), bei dem die postglazialen Seesedimente bis auf die Grundmoräne durchteuft wurden, ergaben Pollenuntersuchungen der liegendsten Sedimente eine Einstufung in die älteste Dryaszeit (siehe oben). Danach beträgt die Sedimentationsrate für etwa 13000 Jahre bis zur Kandereinleitung nur 0,1 mm/Jahr. Dies erscheint selbst für einen abgeschnittenen und zuflusslosen Seeteil, wie ihn die Faulenseebucht darstellt, zu wenig zu sein; im Vergleich dazu werden im relativ sedimentarmen Gnadensee nach SCHÖTTLE (1969, S. 293) durchschnittlich 1 mm Sediment pro Jahr abgelagert. Es ist daher wahrscheinlich, dass in dem Kern Sedimentationslücken vorhanden sind, eine Vermutung, die durch die bisherigen Pollenanalysen bestätigt zu werden scheint.

Bei einem Vergleich der Sedimentationsraten vor und nach der Kanderreinleitung zeigt sich, dass das Kandermaterial im Thunersee eine Erhöhung des Sedimentzuwachses um das Zwei- bis Dreifache bewirkte.

8. Ablagerungsprozesse

Der Thunersee ist heute ein weitgehend oligotropher See, dessen Sedimente zum grössten Teil aus dem detritischen Material seiner Zuflüsse bestehen. Die Transport- und Ablagerungsvorgänge, die in diesem Zusammenhang durch das Einströmen von sedimentbeladenem Flusswasser in den See ausgelöst werden und im folgenden dargestellt sind, haben daher grosse Bedeutung für die Art und Verteilung der Seesedimente. Über unsere derzeit noch laufenden Untersuchungen dieser Vorgänge im Thuner- und im Brienersee soll in einer späteren Arbeit ausführlicher berichtet werden.

Beim Eintritt von sedimentbeladenem, dichterem Flusswasser in stehendes, klares und spezifisch leichteres Seewasser wird zunächst die Fliessgeschwindigkeit des Flusswassers stark abgebremst, und es kommt zur Ablagerung der mitgeführten Kies- und Sandfracht, die bei der Kander im Topsetbereich des Deltas, bei den kleineren Zuflüssen des Thunersees auf den steilen Schuttfächerhängen erfolgt. Bei normaler Wasserführung fliesst der abgebremste Suspensionsstrom, nur mehr mit den feineren Schwebstoffanteilen belastet, als nicht grundberührender Trübestrom oder Undercurrent weiter und schichtet sich oberflächennah in den See ein, während bei Hochwasserführung des Flusses ein zusätzlicher, grundberührender Trübestrom oder Turbidity Current entsteht, der hauptsächlich Sand und Silt bis weit in das Seebecken hinaus transportiert.

Nicht grundberührender Trübestrom

Das schwebstoffbeladene Flusswasser kann sich nach seinem Eintritt in den See nicht weit über die Wasseroberfläche hinweg ausbreiten. Schon nach kurzer Entfernung vom Ufer ist eine scharfe Trennung des trüben Flusswassers vom klaren Seewasser zu beobachten, die mit der Grenze zusammenfällt, an der die kinetische Energie des einströmenden Flusswassers soweit abgenommen hat, dass dieses als sogenannter Undercurrent abzutauchen beginnt. Die Trennung wird noch dadurch verstärkt, dass eine durch das Abtauchen des Undercurrent ausgelöste gegenläufige Konvektionsströmung klares Seewasser an die Oberfläche führt und so ebenfalls eine weitere Ausbreitung des suspendierten Materials und des bei Hochwässern mitgeführten Treibholzes auf der Seeoberfläche verhindert.

Diese auch beim Kanderdelta gut erkennbare Grenzlinie (Fig. 2), die beim Rheindelta im Bodensee als «Brech» und beim Rhonedelta im Genfersee als «La Bataillière» bezeichnet wird, wurde von BELL (1942) auch im Lake Mead beobachtet und experimentell untersucht.

Durch das oben beschriebene Einschichten des Flusswassers kommt es im See zur Ausbildung eines mehr oder weniger mächtigen Trübungshorizonts, dessen Untergrenze mit der Thermokline zusammenfällt und in welchem die Feinsilt- und die gesamte Tonfraktion in Schwebe gehalten werden. Aus diesem Trübungshorizont wird der Feinsiltanteil relativ rasch aussedimentiert und bildet die dunkle Sommerlage

der Warvenfazies (S. 580), während die Tonfraktion bis zur Zeit des Temperatúrausgleichs in den Wintermonaten in Schwebe gehalten wird. Erst ab diesem Zeitpunkt, der im Thunersee nicht vor Dezember eintritt (NYDEGGER 1957), beginnt die Tonfraktion abzusinken und bildet dann die helle Winterlage der Warvenschichtung. Die ungewöhnlich lange Verzögerung der Tonsedimentation wird durch verschiedene Faktoren verursacht. Einmal durch die rasch zunehmende Dichte des Wassers unterhalb des Temperatursprungs, wodurch ein rasches Absetzen der Tonfraktion verhindert wird, zum anderen durch Turbulenzerscheinungen an der Untergrenze des Trübungshorizonts. Diese werden teils durch den horizontal fließenden Undercurrent an der Grenze von stehendem zu fließendem Wasser ausgelöst, teils entstehen sie durch den vertikalen Austausch der absinkenden, abgekühlten und schwebstoffreichen und den im Ausgleich dafür aufsteigenden schwebstofffreien Wasserteilchen. Auf die Bedeutung der dadurch zur «Sinkstoffalle» werdenden Thermokline für die Tonsedimentation hat NYDEGGER (1967, S. 63) ausführlich hingewiesen.

Die nicht grundberührenden Dichteströme können sowohl von grösseren Zuflüssen wie der Kander als auch von kleineren schwebstoffbeladenen Bächen im Thunersee ausgelöst werden. Da ihre Fliessgeschwindigkeit in Richtung Seemitte rasch abnimmt und kaum über den engeren Mündungsbereich des Zuflusses hinaus wirksam ist, sollten, je nach Liefergebiet, deutliche Unterschiede im Tonmineralspektrum der Seesedimente sichtbar sein, ähnlich wie bei der Schwermineral- und Karbonatverteilung (Fig. 4 und 5). Dass dies nicht der Fall ist, sondern dass vielmehr nahezu uniforme Tonmineralvergesellschaftungen in den Seesedimenten zu finden sind, wurde bereits beschrieben (S. 574). Der Grund dafür liegt in der durch die Corioliskraft bedingten linksrotierenden Strömung, die eine weiträumige Ausbreitung des Trübungshorizonts über den See verursacht. Dadurch werden die im Trübungshorizont eingeschichteten und dort monatelang in Schwebe gehaltenen Tonpartikeln über den ganzen See verteilt und Material verschiedener Herkunft vermischt. Die Strömungsgeschwindigkeiten dieses linksrotierenden Strömungssystems sind relativ niedrig und betragen höchstens einige 100 m pro Stunde (NYDEGGER 1967). Durch temporäre windbedingte Oberflächenströmungen kann dieser Vermischungsprozess zeitweise verstärkt werden.

Grundberührender Trübestrom

Dieser Trübestrom entsteht vor den Zuflüssen eines Sees bei stark erhöhter Flusswasserführung. Durch die erhöhte Feststoffkonzentration kombiniert mit der entsprechenden Temperatur erreicht das Flusswasser eine so hohe Dichte, dass ein Turbidity Current ausgelöst wird, der im Falle der Kander über den Foresetbereich ihres Deltas in die Tiefe fließt und dabei subaquatischen Rinnen oder Canyons folgt, die bis 15 m tief sein können (S. 570). Die auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten konnten von uns noch nicht gemessen werden, doch werden durch Strömungen in vergleichbaren Fällen im Rhonedelta des Genfersees Rippeln mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 5 cm/sec am Boden fortbewegt (SHEPARD und DILL 1966, S. 255). Am Fusse des Foresetbereichs nimmt die Strömungsgeschwindigkeit so weit ab, dass ein Teil des mitgeführten Sediments abgelagert wird, wobei die Turbiditfazies A entsteht (S. 578). Im Bottomsetbereich und im Profundal kommt es im Gegensatz zum Foresetbereich zu keiner Rippelbildung mehr, da der grundberührende

Dichtestrom nur noch mit geringer Geschwindigkeit dem Seebodenrelief folgend weiterfließt. Dennoch werden im Thunersee durch diese Trübestrome die Kander-sedimente mehrere Kilometer weit bis in das obere Seebecken transportiert, wie auf den Verteilungskarten der Oberflächensedimente deutlich zu sehen ist (Fig. 4, 5 und 7).

Im Einflussbereich kleinerer Zuflüsse entstehen grundberührende Trübestrome viel seltener. Sie werden nicht wie bei der Kander bereits durch Frühjahrs- oder kleinere Gewitterhochwässer ausgelöst, sondern entstehen nur durch seltene Murgänge oder katastrophale Hochwässer. Wie bereits erwähnt, verursachen diese Trübestrome in den zugehörigen Schuttfächern keine subaquatische Rinnen oder ähnliche morphologische Strukturen. Die abgelagerten Turbidite unterscheiden sich in charakteristischer Weise von denen der Kander und bilden die Turbiditfazies B (S. 579). Da ihre Entstehung in vielen Fällen auf zerstörerische, historisch datierte Hochwässer zurückzuführen ist, könnten sie zur Datierung der Seesedimente herangezogen werden.

Fassen wir die obigen Ergebnisse zusammen, so lassen sich zwei, nach ihrer Genese verschiedene grundberührende Trübestrome unterscheiden: Die eine Art, im Einflussbereich grosser und feststoffreicher Zuflüsse (Kander), wird durch Hochwasserführungen in der Regel öfter als einmal im Jahr ausgelöst (Turbiditfazies A). Dadurch werden grosse Sedimentmengen auch noch in distale Bereiche des Beckens transportiert, und es entstehen in Form der subaquatischen Canyons im Deltabereich dieser Zuflüsse charakteristische Bodenformen. Die zweite Art der Turbidity Currents entsteht durch Murgänge kleinerer Zuflüsse (Bäche bei Leissigen) im Abstand von mehreren Jahren oder Jahrzehnten (Turbiditfazies B). Die transportierte Sedimentmenge ist relativ klein, beeinflusst die Sedimentation im Thunersee nicht in gleicher Weise wie die Trübestrome der Kander und führt auch nicht zu einer Rinnenbildung im Bereich der Schuttfächer.

Diese beiden Dichtestromarten haben die Tatsache gemeinsam, dass sie beide durch «hyperpycnal influx» (nach BATES 1953) und immer bei gleichzeitiger Bildung eines Undercurrent entstehen. Eine weitere Art von Trübestromen, die durch subaerische oder subaquatische Rutschungen ausgelöst werden und selten zur Bildung eines Undercurrent führen, ist von KELTS (1969) aus dem Zürichsee beschrieben worden. Diese klassischen Turbidity Currents (KUENEN und MIGLIORINI 1950) wurden im Thunersee bisher noch nicht festgestellt.

Betrachtet man die Ablagerungsverhältnisse, wie sie vor 1714 im Thunersee geherrscht haben (S. 582), so zeigt sich, dass zu dieser Zeit nur durch Murgänge ausgelöste grundberührende Trübestrome, und diese hauptsächlich im oberen Seebecken, auftraten. Durch ihren Einfluss herrschten in diesem Seeteil ähnliche Ablagerungs-, Temperatur- und Sauerstoffverhältnisse wie heute. Im unteren Seebecken, in das sich die Trübestrome vom Osten nicht ausbreiten konnten, fehlten ähnliche Ablagerungen. Sowohl die Wasser- als auch die Sedimentzufuhr war in diesem Seeteil aussergewöhnlich beschränkt, was, bei im Durchschnitt höheren Wassertemperaturen, zu einem schlecht durchlüfteten, nährstoffreichen Reduktionsmilieu mit Gytja- bis Sapropelablagerungen führte (Reduktionsfazies).

Wie sehr sich nach 1714 das Milieu in diesem Seeteil verändert hat, geht neben den im Sediment beobachtbaren Unterschieden auch aus Sauerstoffuntersuchungen an heutigem Thunerseewasser (durchgeführt durch den Kantonschemiker Bern) hervor. Danach verändert sich heute der in den obersten Wasserschichten auftretende Sauer-

stoffgehalt von durchschnittlich 10 bis 12 mg O₂/l bis in die untersten Wasserschichten nur sehr wenig, was eine gute Durchlüftung der gesamten Wassermasse des Thunersees anzeigt. Ähnliche Angaben macht NYDEGGER (1957). Dies ist auch der Grund dafür, dass die heutigen Seesedimente hauptsächlich hellgrau bis grau sind und dunkelgrau bis schwarze Reduktionssedimente weitgehend fehlen. Für diese gute Durchlüftung einer bis 215 m tiefen Wassermasse kann daher nicht allein eine jährliche Vollzirkulation in den Wintermonaten verantwortlich sein, sondern sie ist, wie am Beispiel der Kandereinleitung deutlich gezeigt werden konnte, zum Grossteil durch das Einströmen suspensionsbeladener, sauerstoffreicher Zuflüsse und der dabei entstehenden Undercurrents und Turbidity Currents zu erklären.

Danksagung

Diese Arbeit ist ein Teil eines vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Forschungsprojekts. Allen, die unsere Arbeit ausserdem unterstützten, sei für ihre tatkräftige Hilfe bestens gedankt: Herrn H. Ischi und den an den Arbeiten beteiligten Assistenten des Geologischen Instituts (Universität Bern), den Herren Tj. Peters und M. Frey, Mineralogisch-Petrographisches Institut (Universität Bern), K. Kelts und U. Briegel, Geologisches Institut (ETH Zürich), G. Müller, Laboratorium für Sedimentforschung (Universität Heidelberg), H.-E. Reineck, Forschungsanstalt Senckenberg (Wilhelmshaven), H. Oeschger, Physikalisches Institut (Universität Bern), H. Riedwil, Institut für mathematische Statistik (Universität Bern), der Direktion und Betriebsleitung der Kanderkies AG (Einigen), dem Kommando der Kantonspolizei Bern, der Seepolizei Spiez sowie dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (Bern) für seine grosszügige Unterstützung des Forschungsprojekts.

LITERATURVERZEICHNIS

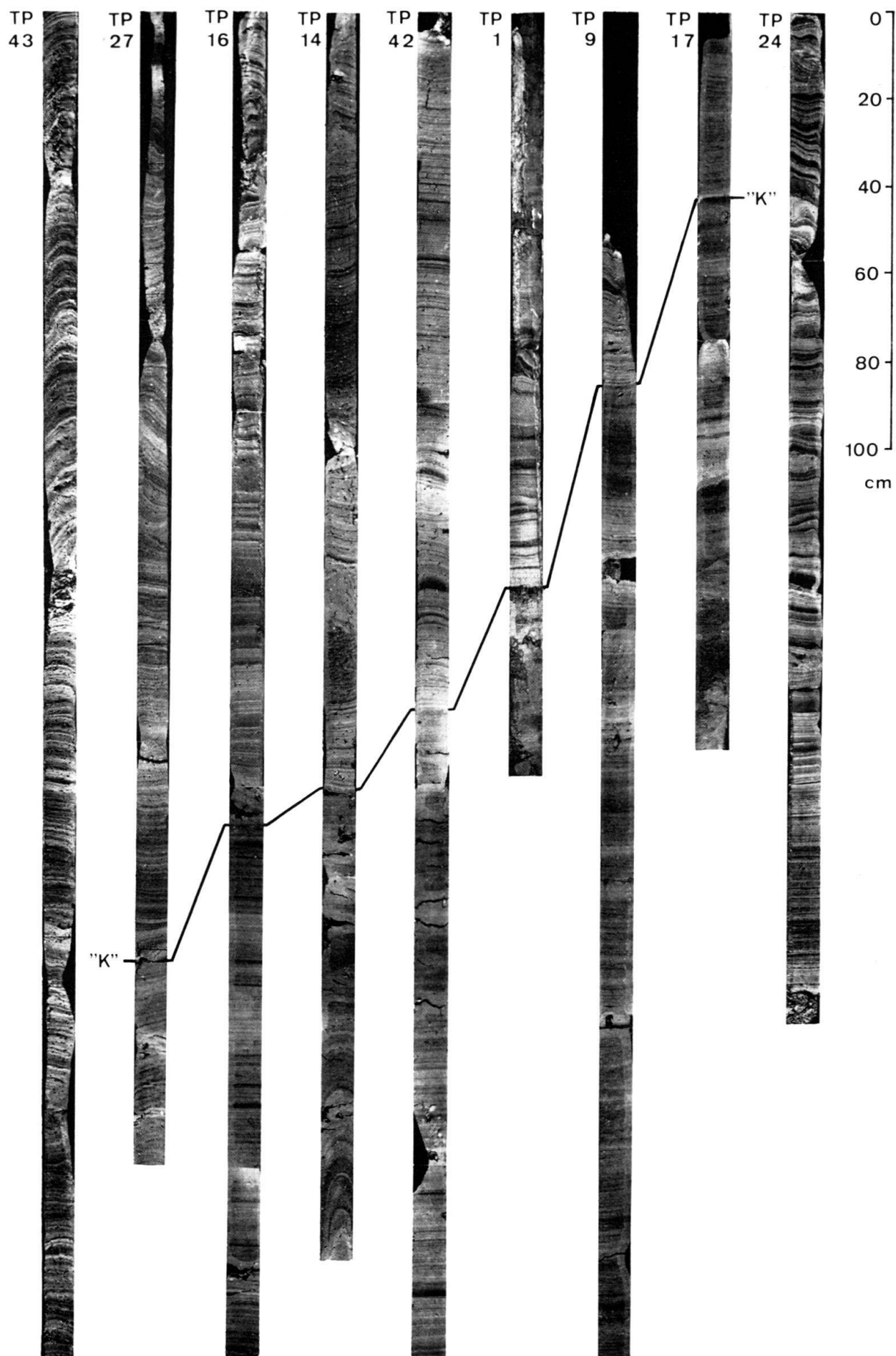
- ABDUL-RAZZAK, A.K. (1972): *Geochemisch-sedimentpetrographischer Vergleich lakustrischer Sedimente aus verschiedenen Klimabereichen*. Diss. Univ. Heidelberg, 94 S.
- ANDERSON, R.Y. (1964): *Varve Calibration of Stratification*. Bull. Kansas Geol. Survey 169, 1–20, Lawrence 1964 (Symposium on Cyclic Sedimentation).
- ANTEVS, E. (1935): *Telecorrelations of Varve Curves*. Geol. Fören. Förhandl. 57/1, 47–58.
- (1951): *Glacial Clays in Steep Rock Lake, Ontario, Canada*. Bull. Geol. Soc. Am. 62, 1223–1262.
- BATES, CH.C. (1953): *Rational Theory of Delta Formation*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists 37/9, 2119–2162.
- BELL, H.S. (1942): *Density Currents as Agents for Transporting Sediments*. J. Geol. 50/5, 512–547.
- BERNARD, H.A. (1965): *A Résumé of River Delta Types*. Am. Assoc. Petrol. Geologists 49/3, 334.
- BOUMA, A.H. (1962): *Sedimentology of some Flysch Deposits*. Elsevier (Amsterdam, N.Y.), 168 S.
- (1969): *Methods for the Study of Sedimentary Structures*. Wiley-Interscience (N.Y., London, Sydney, Toronto), 458 S.
- DE GEER, G. (1910): *A Geochronology of the last 12000 Years*. Int. Geol. Congr. XI. Sess., S. 241–253.
- (1935): *Teleconnections contra So-called Telecorrelations*. Geol. Fören. Förhandl. 57/2, 341–346.
- DUFF, P.MCL.D., HALLAM, A., und WALTON, E.K. (1967): *Cyclic Sedimentation*. Elsevier Dev. in Sedimentology 10, 280 S.
- FOREL, F.A. (1885): *Les ravins sous-lacustre des fleuves glaciaires*. C. r. Acad. Sci. Paris 101, 725–728.
- FÖRSTNER, U., MÜLLER, G., und REINECK, H.E. (1968): *Sedimente und Sedimentgefüge des Rheindeltas im Bodensee*. N. Jb. Min. Abh. 109, 33–62.
- FREY, M. (1969): *Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmanier-Gebiet*. Beitr. Geol. Karte Schweiz [N.F.] 137, 160 S.
- FÜCHTBAUER, H. (1959): *Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine*. Erdöl und Kohle 12/8, 605–613.
- GERMAN, R., DEHM, R., ERNST, W., FILZER, P., KÄSS, W., MÜLLER, G., und WITT, W. (1965): *Ergebnisse der wissenschaftlichen Kern-Bohrung Ur-Federsee 1. Oberrhein. geol. Abh. 14, 97–139.*
- GILBERT, G.K. (1890): *Lake Bonneville*. U. S. Geol. Survey Mon. 1, 438 S.
- GROSJEAN, G. (1962): *Die Ableitung der Kander in den Thunersee vor 250 Jahren*. Jb. Thuner-Brienzersee 1962, 18–40.

- HINZ, K., RICHTER, I., und SIEBER, N.P. (1970): *Reflexionsseismische Untersuchungen im Zürichsee. Teil 1: Geophysik*. Eclogae geol. Helv. 63/2, 511–523.
- HOFFER, F. (1952): *Über die Energieverhältnisse des Brienzersees*. Beitr. Geol. Schweiz, Hydrologie 7, 95 S.
- HOUBOLT, J.J.H.C., und JONKER, J.B.M. (1968): *Recent Sediments in the Eastern Part of the Lake of Geneva (Lac Léman)*. Geologie Mijnbouw 47/2, 131–148.
- HSÜ, K.J., und KELTS, K.R. (1970): *Seismic Investigation of Lake Zurich: Part II Geology*. Eclogae geol. Helv. 63/2, 525–538.
- JONES, D.J. (1965): *The Gilbert-type Delta*. Am. Assoc. Petrol. Geologists 49/3, 345.
- JÖRGENSEN, S. (1967): *A Method of Absolute Pollen Counting*. New Phytologist 66, 489–493.
- KELTS, K. (1969): *Recent Sediments in Lake Zurich between Horgen and Meilen*. Unveröff. Dipl.-Arbeit ETH Zürich, 82 S.
- KNUCHEL, F. (1961): *Auf den Spuren eines Höhlensystems zwischen Hohgant, Thuner- und Brienzersee*. Jb. Thuner-Brienzersee 1961, 63–79.
- KUENEN, P.H. (1951): *Mechanics of Varve Formation and the Action of Turbidity Currents*. Geol. Fören. Förhandl. 73/3, 69–84.
- KUENEN, P.H., und MIGLIORINI, C.I. (1950): *Turbidity Currents as a Cause of Graded Bedding*. J. Geol. 58, 91–127.
- KUTSCHKE, I. (1966): *Die thermischen Verhältnisse im Zürichsee zwischen 1937 und 1963 und ihre Beeinflussung durch meteorologische Faktoren*. Vschjr. Naturf. Ges. Zürich III/I, 47–124.
- MATTER, A. (1964): *Sedimentologische Untersuchungen im östlichen Napfgebiet*. Eclogae geol. Helv. 57/2, 315–428.
- MATTER, A., SÜSTRUNK, A.E., HINZ, K., und STURM, M. (1971): *Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen im Thunersee*. Eclogae geol. Helv. 64/3, 505–520.
- MÜLLER, G. (1966a): *Die Verteilung von Eisenmonosulfid ($\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) und organischer Substanz in den Bodensedimenten des Bodensees – ein Beitrag zur Frage der Eutrophierung des Bodensees*. Gas und Wasserfach 107/14, 364–368.
- (1966b): *Die Sedimentbildung im Bodensee*. Naturwissenschaften 53/10, 237–247.
- (1967): *Beziehungen zwischen Wasserkörper, Bodensediment und Organismen im Bodensee*. Naturwissenschaften 54/17, 454–466.
- (1971): *Sediments of Lake Constance*. Sedimentology of parts of Central Europe, Guidebook VIII. Int. Sediment. Congress 1971, 237–252.
- NIKLAUS, M. (1957): *Geomorphologische und limnologische Untersuchungen am Öschinensee*. Beitr. Geol. Schweiz, Hydrologie 14, 116 S.
- (1969): *Die Kander und ihr Delta im Thunersee*. Jb. Thuner-Brienzersee 1969, 59–85.
- NYDEGGER, P. (1957): *Vergleichende limnologische Untersuchungen an sieben Schweizerseen*. Beitr. Geol. Schweiz, Hydrologie 9, 80 S.
- (1967): *Untersuchungen über Feinstofftransport in Flüssen und Seen, über Entstehung von Trübungshorizonten und zuflussbedingten Strömungen im Brienzersee und in einigen Vergleichsseen*. Beitr. Geol. Schweiz, Hydrologie 16, 92 S.
- PETERS-KÜMMERLY, B.E. (1971): *Untersuchungen über Zusammensetzung und Transport von Schwebstoffen in einigen Schweizer Flüssen*. Diss. Univ. Bern, 76 S.
- REEVES, C.C. jr. (1968): *Introduction to Paleolimnology*. Elsevier Dev. in Sedimentology 11, 228 S.
- REINECK, H.E. (1963): *Der Kastengreifer*. Natur und Museum 93/3, 102–108.
- (1967): *Ein Kolbenlot mit Plastik-Rohren*. Senck. leth. 48/3/4, 285–289.
- (1969): *Anleitung zum Ausstechen von Proben und zum Härten von Lockersedimenten*. Unveröff. Laborvorschrift Forschungsanstalt Senckenberg, Wilhelmshaven.
- SCHÖTTLE, M. (1969): *Die Sedimente des Gnadensees*. Arch. Hydrobiol. Suppl. 35/3, 255–308.
- SCRUTON, P.C. (1956): *Oceanography of Mississippi Delta Sedimentary Environments*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists 40/12, 2864–2952.
- (1960): *Delta Building and the Deltaic Sequence*. In: SHEPARD, PHLEGER und VAN ANDEL: *Recent Sediments NW Gulf of Mexico*. Am. Assoc. Petrol. Geologists Symposium, S. 82–102.
- SEIBOLD, E. (1958): *Jahreslagen in Sedimenten der mittleren Adria*. Geol. Rdsch. 47/1, 100–117.
- SERRUYA, C. (1969): *Les dépôts du lac Léman en relation avec l'évolution du bassin sédimentaire et les caractères du milieu lacustre*. Thèse Univ. Genève 1439, 254 S.

- SHEPARD, F.P. (1956): *Marginal Sediments of Mississippi Delta*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists 40/11, 2537–2623.
- SHEPARD, F.P., und DILL, R.F. (1966): *Submarine Canyons and other Sea Valleys*. (Rand McNally, Chicago), 381 S.
- STEINER, A. (1953): *Die Zuschüttung des Thunersees*. Geogr. Helv. 8/3, 226–233.
- STURM, M., und MATTER, A. (1971): *Sediment Distribution and Mechanisms of Clastic Sedimentation in a Freshwater Basin (Lake Thun, Switzerland)*. Abstracts VIII. Int. Sed. Congress 1971, S. 98.
- (1972): *The Electro-osmotic Guillotine, a new Device for Core Cutting*. J. Sed. Petrology, 42/4.
- VERNET, J.P., und HORN, R. (1971): *Etudes sédimentologique et structurale de la partie occidentale du lac Léman par la méthode sismique à réflexion continue*. Eclogae geol. Helv. 64/2, 291–317.
- VERNET, J.P., und THOMAS, R.L. (1972a): *Levels of Mercury in the Sediments of some Swiss Lakes Including Lake Geneva and the Rhone River*. Eclogae geol. Helv. 65/2, 293–306.
- (1972b): *The Occurrence and Distribution of Mercury in the Sediments of the Petit-Lac (Western Lake Geneva)*. Eclogae geol. Helv. 65/2, 307–316.
- WEGMÜLLER, S. (1966): *Über die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des südwestlichen Jura*. Diss. Univ. Bern, 143 S.
- WELTEN, M. (1944): *Pollenanalytische, stratigraphische und geochronologische Untersuchungen aus dem Faulenseemoos bei Spiez*. Veröff. Geobot. Inst. Rübel 21.
- WERNER, F. (1966): *Herstellung von ungestörten Dünnschliffen aus wassergesättigten, pelitischen Lockersedimenten mittels Gefriertrocknung*. Meyniana 16, 107–112.
- ZÜLLIG, H. (1956): *Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers*. Schweiz. Z. Hydrologie 18, 5–143.

Tafel I

Kolbenlotkerne aus dem Thunersee. Der Kern TP 43 zeigt Sedimente der Turbiditfazies A aus dem Bereich des Kanderdeltas. In TP 27, TP 16, TP 14, TP 42, TP 1, TP 9 und TP 17 sind der «Kanderschnitt» und die mehr oder weniger homogene Reduktionsfazies vor 1714 erkennbar. TP 1 und TP 17 repräsentieren Sedimente der Uferbank. In Kern TP 24, in dem sich der «Kanderschnitt» nicht genau bestimmen lässt, sind im unteren Kernteil Sedimente der geschichteten Reduktionsfazies entwickelt.



Tafel II

Kolbenlotkerne aus dem Thunersee. Die Kerne TP 23 und TP 22 aus dem oberen Seebecken sind Beispiele der Turbiditfazies B, während in TP 29 die Turbiditfazies B fast vollständig zugunsten der Warvenfazies verdrängt wurde. In den Kernen TP 21, TP 20 und TP 39 ist nur noch die Warvenfazies entwickelt.

