

Zeitschrift: Jahrbuch vom Thuner- und Brienzersee
Herausgeber: Uferschutzverband Thuner- und Brienzersee
Band: - (1972)

Artikel: Geologisch-sedimentologische Untersuchungen im Thuner- und Brienzersee
Autor: Sturm, Michael / Matter, Albert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1096683>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Geologisch-sedimentologische Untersuchungen im Thuner- und Brienzersee

1. Einleitung

Seit Sommer 1969 sind im Thuner- und Brienzersee geologisch-sedimentologische Untersuchungen im Gange, die von den Autoren im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten Forschungsprojektes durchgeführt werden. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die rezenten, also geologisch jüngsten Seeablagerungen in den beiden Seebecken und verfolgen die Lösung verschiedener Probleme: Sie sollen Aufschluß geben über die Entstehung und die Form der Seebecken, über die mineralogische und strukturelle Zusammensetzung, sowie das Alter und die Mächtigkeit der in ihnen abgelagerten Sedimente, über die dabei auftretenden Ablagerungsmechanismen, über die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Seewassers und über den Einfluß der einzelnen Zuflüsse auf den Wasser- und Feststoffhaushalt der Seen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden unter anderem eine bessere Charakterisierung der Seen in limnologischer (Limnologie = Seenforschung) Hinsicht ermöglichen und das Verständnis um die Probleme der Erhaltung der Seen als großräumige Wasserreservoir, Erholungsgebiete usw. vertiefen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ergibt sich für den Geologen aus diesen Forschungen: Der Ablauf von Sedimentationsmechanismen bzw. die Bildung bestimmter Sedimentstrukturen läßt sich im Meer nur mit großem finanziellem und apparativem Aufwand verfolgen. Demgegenüber stellen der Thuner- und Brienzersee leichter überschaubare und geschlossenere Sedimentationssysteme dar, in denen sich, wie in einem Modellversuch, Ablagerungsvorgänge einfacher und genauer studieren lassen. So kann beispielsweise die genaue Kenntnis der Entstehung, des strukturellen Aufbaus und der Oberflächenform (Morphologie) eines Deltas im Thuner- oder Brienzersee auch zur Lösung verschiedener

Probleme im Zusammenhang mit der Untersuchung weitaus größerer Deltakomplexe im marinen Bereich bzw. zur Rekonstruktion fossiler Delten beitragen.

Im Folgenden soll ein Überblick über die wichtigsten bei den Untersuchungen angewandte Arbeitsmethoden und Geräten sowie über die bisher vorliegenden Ergebnisse aus dem Thuner- und Brienzersee gegeben werden. In diesem Zusammenhang kann darauf hingewiesen werden, daß ähnliche Untersuchungen im Rahmen des erwähnten Nationalfondsprojektes vom Geologischen Institut der ETH Zürich zur Zeit im Zürich-, Walen- und Zugersee im Gange sind.

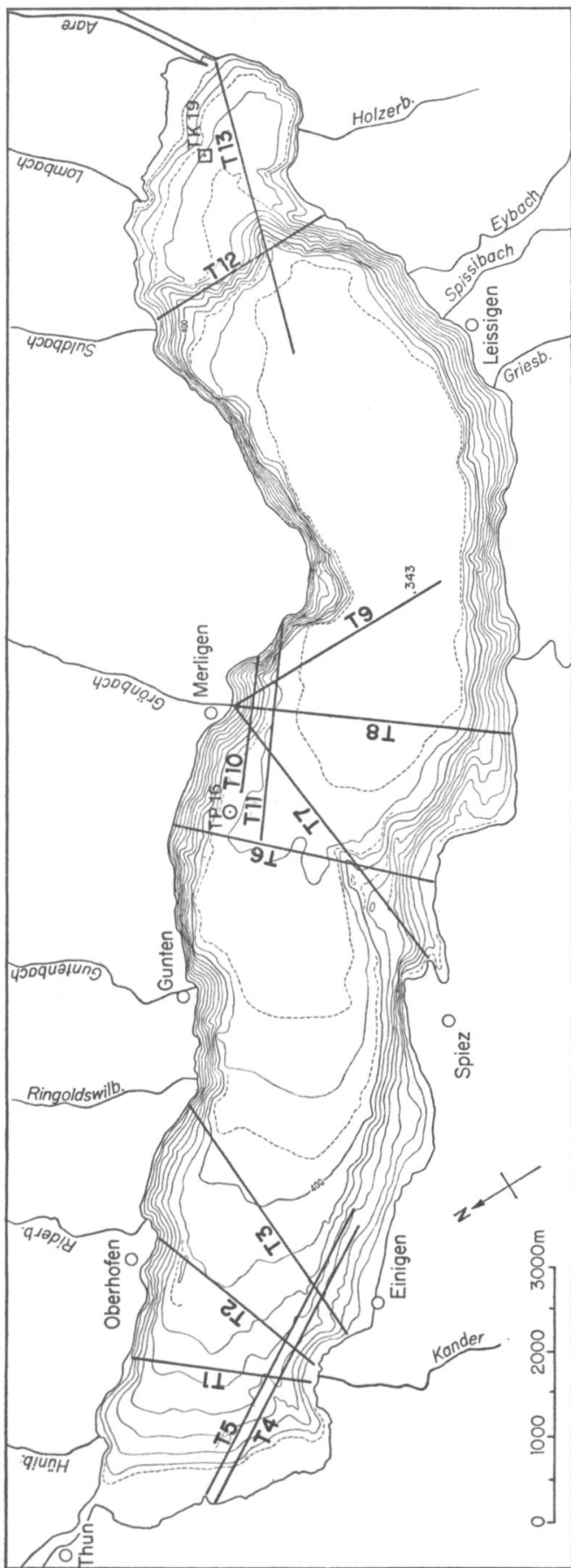
2. Allgemeines

Die großen Seen des Berner Oberlandes, der Thuner- und der Brienzersee (Fig. 1) liegen eingebettet in einer durch die Gebirgsbildung (Tektonik) vorbestimmten und durch Fluß- und Gletschertätigkeit erodierten und ausgehobelten Talfolge. Es handelt sich um mehr oder weniger unegliederte, längliche Seebecken mit beträchtlichen Wassertiefen (Tab. I). Die Ufer der beiden Seen sind meist steil und fallen rasch zu der völlig flachen Seebodenebene (oder Profundal) in 215 Meter (Thunersee) bzw. 260 Meter (Brienzersee) Wassertiefe ab, welche die größten Teile des heutigen Seegrundes einnimmt.

	max. Länge (km)	max. Breite (km)	max. Tiefe (m)	Oberfläche (km ²)	Wasser- volumen (km ³)
Thunersee	17,7	3,6	215	48,0	6,6
Brienzersee	14,0	2,7	260	29,6	5,2

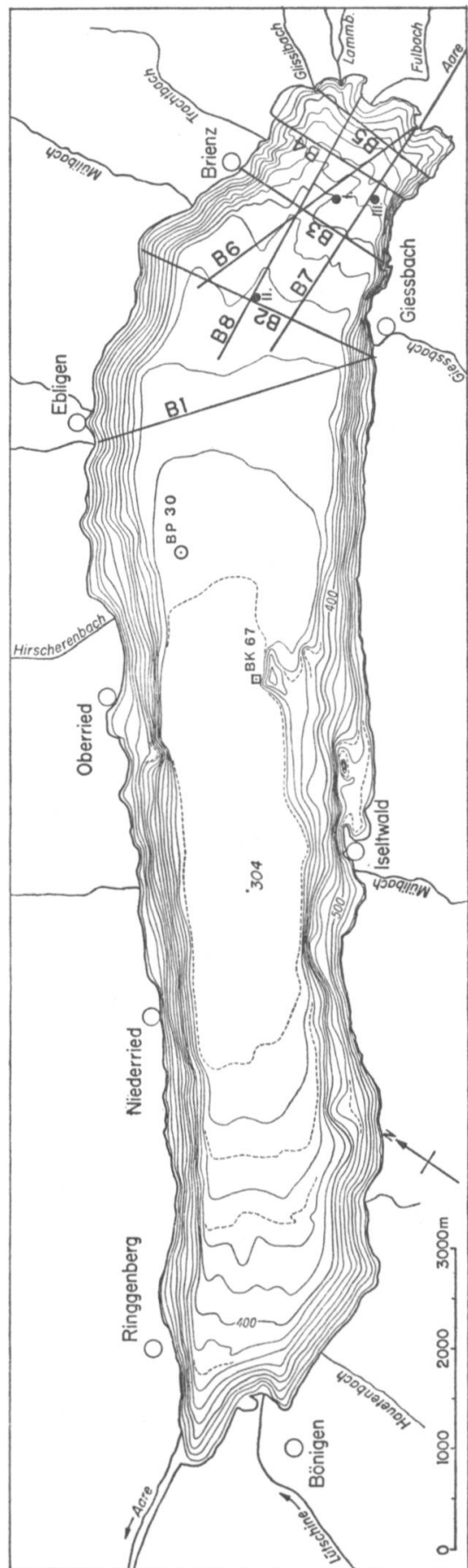
Tabelle I: Ausdehnung und Volumen des Thuner- und des Brienzersees

Der geologische Aufbau der Seeufer des Thuner- und des Brienzersees unterscheidet sich sehr wesentlich voneinander. Beim Thunersee sind es mehrere tektonische Einheiten mit sehr unterschiedlichen Gesteinen, die uferbildend auftreten. Das Nord-Ufer wird von Thun bis auf die



Figur 1 A:
Bathymetrische Karte des Thunersees mit der Lage der aufgenommenen Echolotprofile

Höhenangaben in Meter über dem Meer, Aequidistanz 20 Meter



Figur 1 B:
Bathymetrische Karte des Brienzersees mit der Lage der aufgenommenen Echolotprofile und der Meßbojen (I, II, III) für die Wasserprobenentnahme

Höhe von Schloß Ralligen von Sandsteinen und Nagelfluhkonglomeraten der Molasse, zum Teil auch von quartären Lockersedimenten aufgebaut, denen sich bis Sundlaunen zunächst ein schmaler Streifen Flyschgesteine und dann die mächtigen, sehr steile Ufer bildenden Kalke des Helvetikums anschließen. Das flachere Ufer von Sundlaunen bis Interlaken und von hier das Süd-Ufer bis Spiez, wird zum Großteil von weicheren Gesteinen des Ultrahelvetikums (Sandsteine, Mergel, Gips) gebildet, zum geringeren Teil von Aufschüttungen der Aare und des Lombaches (Bödeli) und von helvetischen Kalken (Därliggrat und Buchholzkopf bei Därligen) aufgebaut. Von Spiez Richtung Einigen treten härtere Kalke der Klippendecke (Spiezberg) auf, die wieder sehr steile Ufer aufbauen, denen sich bis nach Thun flache Uferteile anschließen (Kanderdelta, Gwattlischen Moos), die hauptsächlich aus quartärem Schuttmaterial bestehen.

Der Aufbau der allgemein sehr steilen Brienzerseeufer ist vergleichsweise einfach, gehören doch die Kalkgesteine, die den größten Teil des Brienzersees umrahmen nur einer einzigen tektonischen Einheit, dem Helvetikum an. An den beiden See-Enden wurden durch das Schuttmaterial der Flüsse (Aare und Lütchine) große Aufschüttungen geschaffen, was hier zur Ausbildung sehr flacher Ufer führte. Der Vollständigkeit halber sollen auch noch die häufigen Schuttfächerbildungen des Nord-Ufers erwähnt werden, die zum Teil nachhaltig die Uferbildung beeinflussen.

Seit dem Rückzug des Aaregletschers aber auch schon während der letzten Zwischeneiszeit und eventuell noch früher haben, zusätzlich zu dem bereits abgelagerten Moränenmaterial, Flüsse und Bäche, Lawinen, Murgänge, Hangrutschungen und schließlich menschliche Tätigkeit Sediment in die Seebecken geschüttet und so allmählich eine mächtige Beckenfüllung von Lockersedimenten entstehen lassen.

Die geologisch-sedimentologische Erfassung und Untersuchung dieser Ablagerungen erfolgte in der schrittweisen Anwendung der folgenden Arbeitsmethoden:

- Mit Hilfe seismischer Geräte (Airgun, Boomer, Mudpenetrator) werden die Mächtigkeit der Lockersedimente, die Morphologie des von ihnen überlagerten Felsuntergrundes und die in ihnen auftretenden großräumigen Strukturen bestimmt.

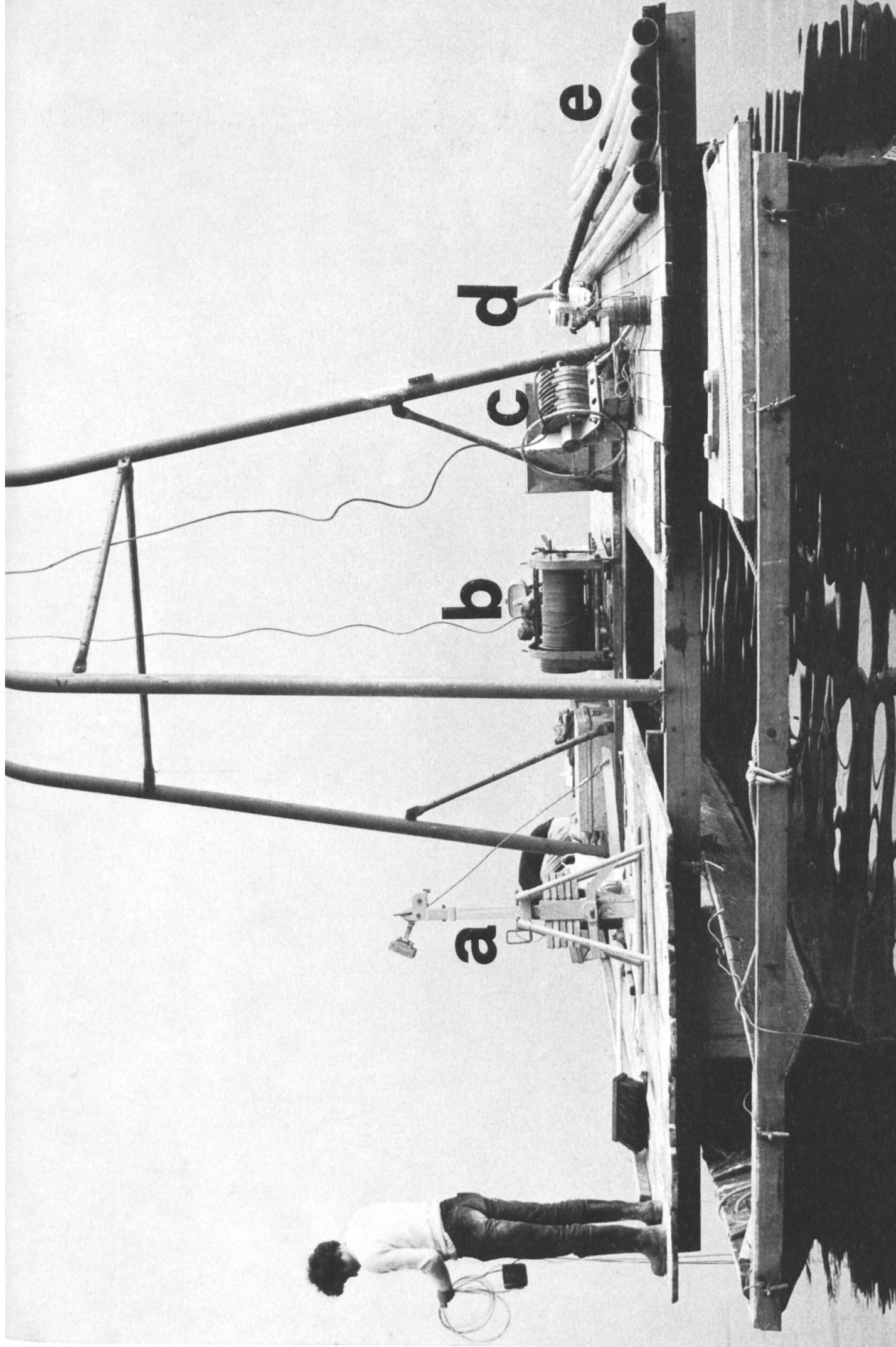
- Mit dem Echolot erfolgt die Aufnahme des heutigen Seebodenreliefs mit seinen Rinnen, Delten und anderen morphologischen Strukturen.
- Mit dem Kastengreifer werden die obersten 25 Zentimeter der Lockersedimente beprobt.
- Mit dem Kolbenlot werden Sedimentkerne aus den obersten 6 Metern der Lockersedimente entnommen.
- Die seismischen Aufnahmen und die Sedimentproben werden im Labor bearbeitet.

Untersuchungen nach diesem Konzept wurden bisher im Thunersee durchgeführt und sind zur Zeit im Brienzersee noch im Gange. Zu einem späteren Zeitpunkt sollen sie auch auf den Bielersee ausgedehnt werden, der sich sowohl in seiner geringeren Wassertiefe als auch in seiner unterschiedlichen Sedimentation von den beiden bisher untersuchten Seen deutlich unterscheidet.

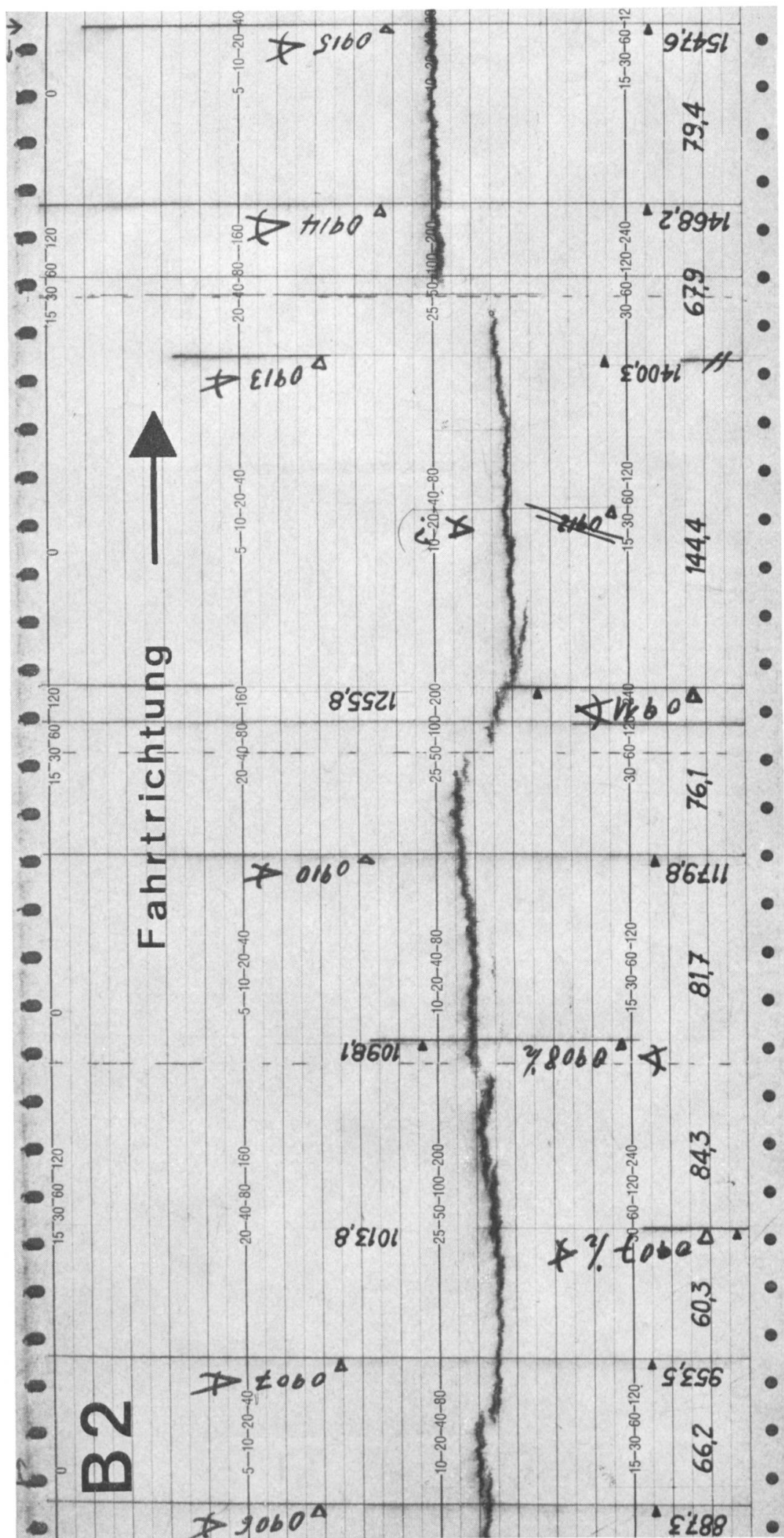
3. Geräte und Arbeitsmethoden

3.1. Allgemeine Bemerkungen: Wie bereits oben erwähnt wurde, stehen unsere Untersuchungen in einem mehr oder weniger engen Zusammenhang mit Forschungen, wie sie zur Zeit auch an Meeressedimenten durchgeführt werden. Es ist deshalb naheliegend, daß wir bei unseren Arbeiten hauptsächlich Geräte und Arbeitsmethoden verwenden, die von Instituten für Meeresgeologie und Ozeanographie entwickelt und erprobt wurden. So sind analoge seismische Geräte, wie sie auf dem Thuner- und Brienzersee verwendet wurden, bereits bei vielen ozeanographischen Expeditionen zum Einsatz gekommen. Ebenso sind die von uns verwendeten Geräte (der Kastengreifer und das Kolbenlot für Plastikrohre, siehe unten) bereits in der Nordsee, im Atlantik und im Mittelmeer erfolgreich eingesetzt worden.

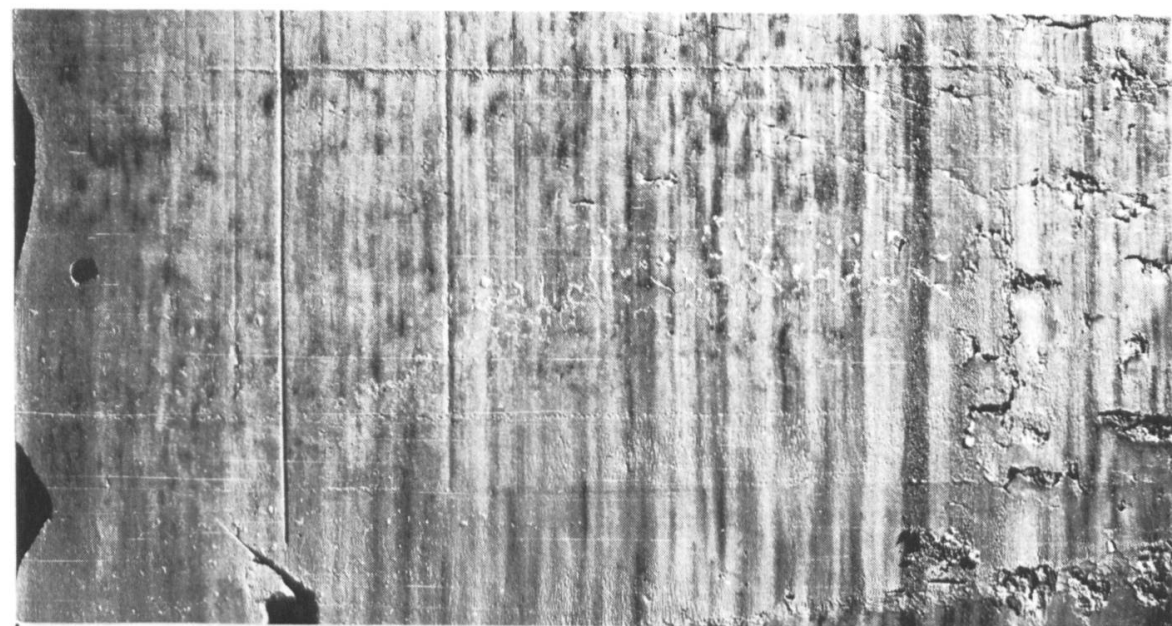
Für die Durchführung unserer Untersuchungen auf dem See verwenden wir als Bohrstation eine 6 x 6 Meter große Arbeitsplattform, die über zwei Übersetzboote montiert und mit zwei Seilwinden, einem Windenmotor und einem etwa 8 Meter hohen Dreibein bestückt ist



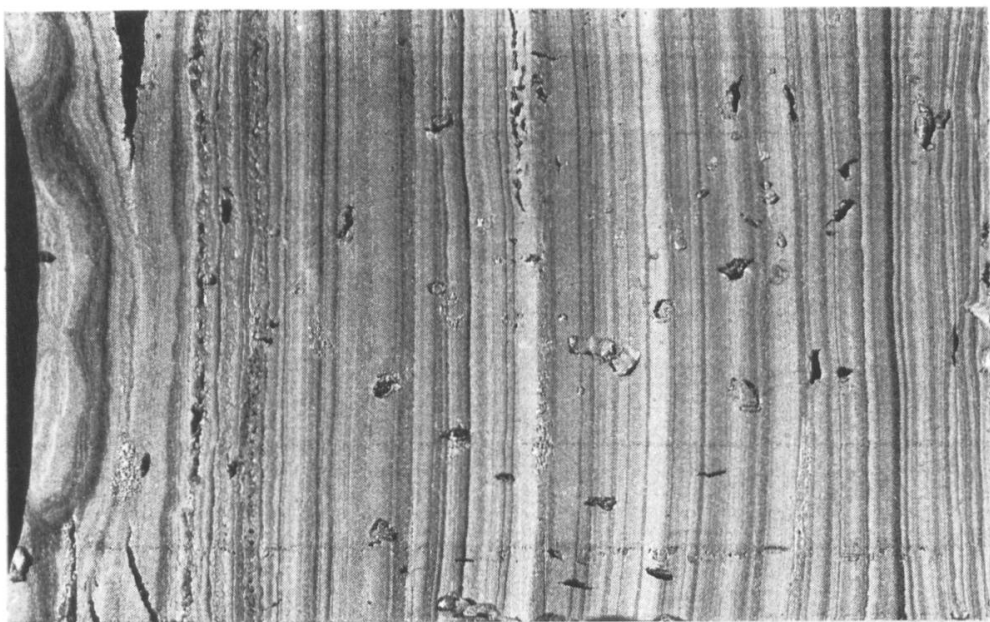
Figur 2



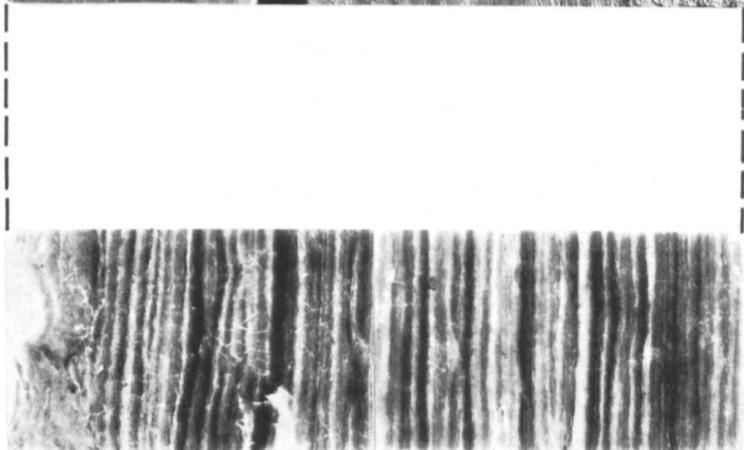
Figur 5



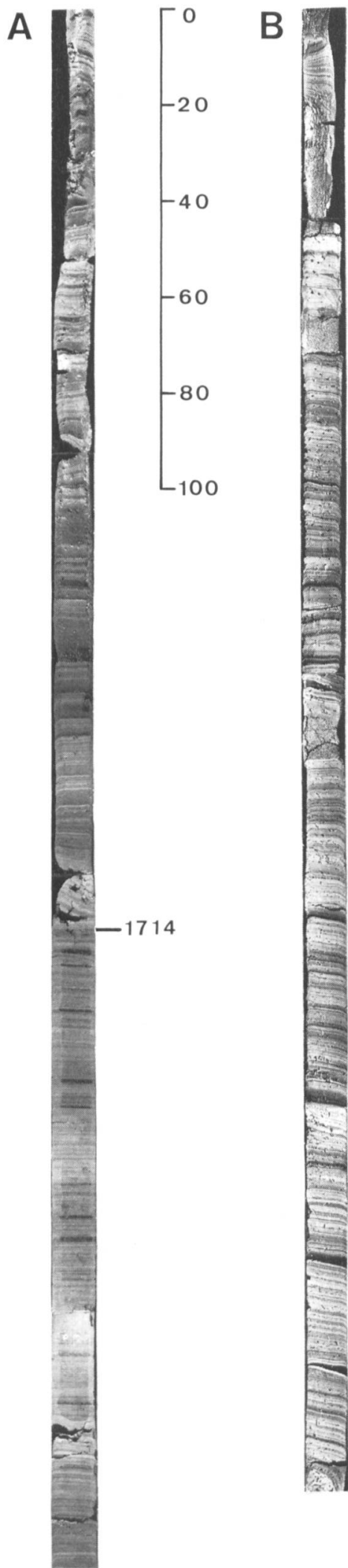
A



B



Figur 6



Figur 2:

Arbeitsplattform auf dem Brienzersee

a = Kastengreifer mit geöffneter Greiferplatte

b = Motorwindeneinheit

c = Oberteil des Kolbenlotes mit Bleiplatten

d = Wasserpumpe

e = PVC-Probenrohre für das Kolbenlot

Figur 5:

Ausschnitt aus der Originalaufnahme des Echolot-
profils B 2 aus dem Brienzersee

Figur 6 A:

Kastengreiferprobe TK 19 aus dem Thunersee; rechts
das Auflichtfoto, links die Röntgenaufnahme

Figur 6 B:

Kastengreiferprobe BK 67 aus dem Brienzersee

Figur 8 A:

Kolbenlotkern TP 16 aus dem Thunersee; 1714 = Kan-
dereinleitung

Figur 8 B:

Kolbenlotkern BP 30 aus dem Brienzersee

(Fig. 2). Als Zubringer- und Meßboot steht uns ein weiteres Übersetzboot zur Verfügung, das ebenso wie die Bohrplattform von einem 20-PS-Außenbordmotor fortbewegt wird. Für die Aufnahme der seismischen Profile standen uns auf dem Thunersee das Rettungsboot «Iris» der Seepolizei Spiez und auf dem Brienzersee das Motorboot «Iseltwald» der Schiffbetriebe Thuner- und Brienzersee zur Verfügung. Die Echolotaufnahmen wurden mit dem Meßboot des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft durchgeführt.

Die Vermessung der seismischen und der Echolot-Profillinien erfolgte von Vermessungspunkten vom Land aus mit Hilfe von zwei oder drei Theodoliten durch Vorwärtseinschnitt. Die Standortbestimmung der Bohrplattform bei der Entnahme von Kastengreifer- und Kolbenlotproben wurde teils mit einem Telemeter (80 cm Basis) teils mit einem Vermessungssextanten durch Rückwärtseinschnitt vom Boot aus durchgeführt. Als Kartengrundlage für die Vermessung und die Morphologie des Seebodens verwendeten wir die Landeskarte der Schweiz 1 : 25 000 mit den Blättern 1207, 1208, 1209, 1227 und 1 : 50 000 mit den Blättern 253, 254.

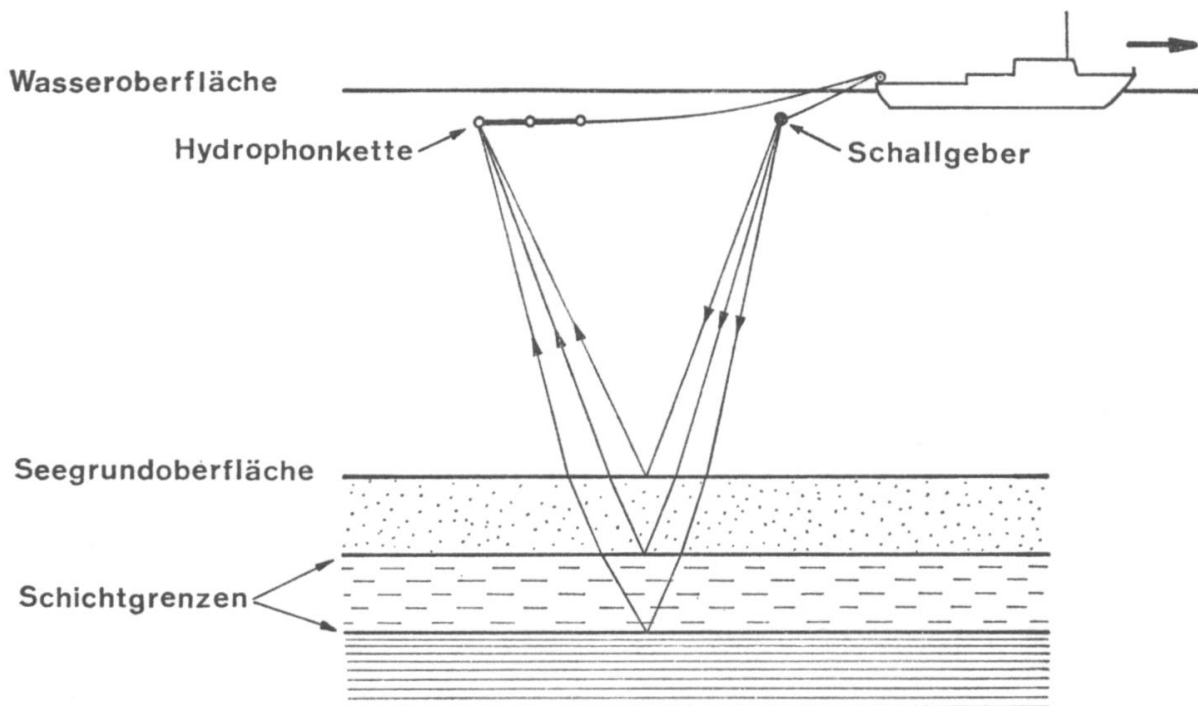
3.2. Seismische Geräte: Die verwendeten Geräte arbeiten nach dem Prinzip der Reflexionsseismik und sind speziell für den Einsatz auf Meeren und auf anderen Gewässern entwickelt worden, um den strukturellen Aufbau der unter Wasserbedeckung liegenden Lockersedimente bzw. Gesteine kontinuierlich registrierend erfassen zu können. Bei diesem Verfahren wird eine Schallquelle, die in konstanten Abständen ein akustisches Signal aussendet, von einem mit gleichbleibender Geschwindigkeit fahrenden Meßboot unter der Wasseroberfläche nachgeschleppt; die ausgesandten Signale treffen am Seeboden und anderen seismischen Grenzflächen (z. B. Schichtflächen von Gesteinen) auf, werden zur Wasseroberfläche reflektiert, dort von ebenfalls mitgeschleppten Hydrophonen aufgenommen und im Meßboot auf einem Schreiber oder für spätere Computerauswertungen auf einem Magnetband registriert. Dieses Funktionsprinzip, das in Figur 3 schematisch dargestellt ist, gilt mehr oder weniger für alle verwendeten seismischen Geräte. Nur die Art der Schallgeber, die Höhe der Signalfrequenzen und die erreichbaren Eindringtiefen in die Sedimente unterscheiden die einzelnen Geräte voneinander (vgl. Tab. II).

Bezeichnung des Gerätes	Schallquelle	Signalfrequenz (Hz)	Eindringtiefe (m) (Max.)	Auflösung(m) (Maximum)
Airgun	pneumatisch, geschleppt	10—2000	500—1000	3—4
Boomer	elektrisch, geschleppt	3500—6000	50—150	2—3
Mudpenetrator	elektrisch, geschleppt	4500	30—40	0,5—1,5
Sedimentogr.	elektrisch, a. M. m. *)	10 000—12 000	10—20	weniger als 0,5
Echolot	elektrisch, a. M. m. *)	über 50 000	0	weniger als 0,1

*) a. M. m. = am Meßboot montiert

Tabelle II: Charakteristik einiger reflexionsseismischer Geräte

Beim Einsatz der Apparaturen ist zu beachten, daß Geräte mit niedrigen Frequenzen (zum Beispiel die Airgun < 2000 Hz) eine größere Eindringtiefe in den Untergrund erreichen aber ein geringeres Auf-



Figur 3: Schema einer reflexionsseismischen Aufnahme auf dem See (nach Ross 1970: Introduction to Oceanography)

lösungsvermögen besitzen als Geräte mit höheren Signalfrequenzen (zum Beispiel der Mudpenetrator > 4000 Hz).

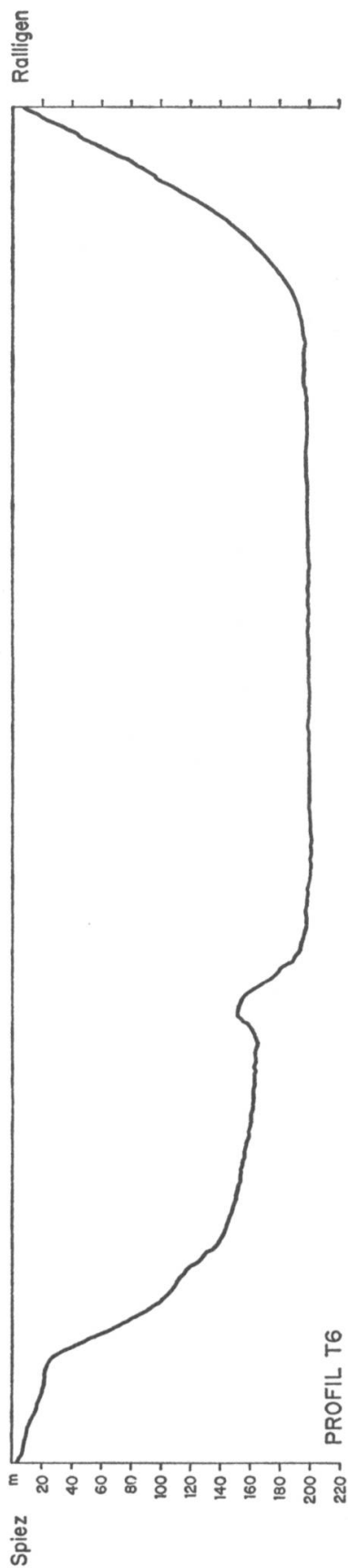
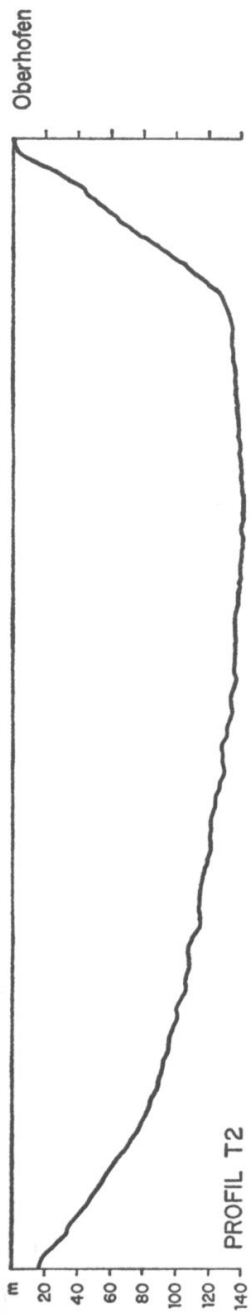
Das bedeutet, daß mit der Airgun Sedimentmächtigkeiten bis 1000 Meter noch erfaßt werden können, einzelne Schichten oder andere Sedimentstrukturen aber nicht mehr aufgezeichnet werden, wenn sie kleiner als 3 bis 4 Meter sind. Dagegen beträgt die Eindringtiefe des Mudpenetrators zwar nur zirka 40 Meter, aber Schichtdicken bis zu einer Mächtigkeit von 50 Zentimeter werden auf der Aufnahme noch sichtbar gemacht. Das Echolot, das in Tabelle II ebenfalls angeführt und im nächsten Abschnitt besprochen wird, besitzt bei Frequenzen bis über 100 Kilohertz (Kilohertz = 1000 Schwingungen pro Sekunde) ein Auflösungsvermögen von wenigen Zentimetern, vermag aber selbst in weiche Sedimentschichten des Untergrundes nicht mehr einzudringen. Um eine große Eindringtiefe in den Untergrund mit einer hohen Detailauflösung zu erreichen, setzten wir bei einigen Profilaufnahmen Boomer und Mudpenetrator gleichzeitig ein. Ausführlichere Beschreibungen der verschiedenen Methoden und der bei ihrer Anwendung gewonnenen Ergebnisse wurden von Matter et al. 1971 und 1973 gegeben.

3. 3. *Echolotaufnahmen:* Bei unseren Aufnahmen, die wir in Zusammenarbeit mit dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft im Mai 1970 und September 1971 durchführten, verwendeten wir ein Atlas-Vermessungsecholot mit automatisch registrierendem Trockenschreiber. Wie bereits erwähnt wurde, eignet sich das Echolot seiner hohen Frequenzen wegen für genaue Aufnahmen der Seebodenmorphologie, liefert aber keine Angaben über die Beschaffenheit und den Aufbau der Bodensedimente selbst. Die von uns mit Signalfrequenzen von 30 und 175 Kilohertz vermessenen Profile sind in Figur 1 dargestellt. Im Thunersee sollte eine Übersicht über die im unteren, mittleren und oberen Seebecken auftretenden Seeboden- und Beckenformen gewonnen, im Brienersee die Morphologie des Aaredeltas studiert werden. Vier Beispiele bereits entzerrter und umgezeichneter Echolotaufnahmen aus den beiden Seen sind in Figur 4 zu sehen, während in Figur 5 ein Ausschnitt aus der Originalaufnahme des Profils B 2 dargestellt ist.

Profil T 2, aufgenommen im Thunersee zwischen der Kandermündung und Oberhofen zeigt das allmähliche Abfallen und die weite Ausdeh-

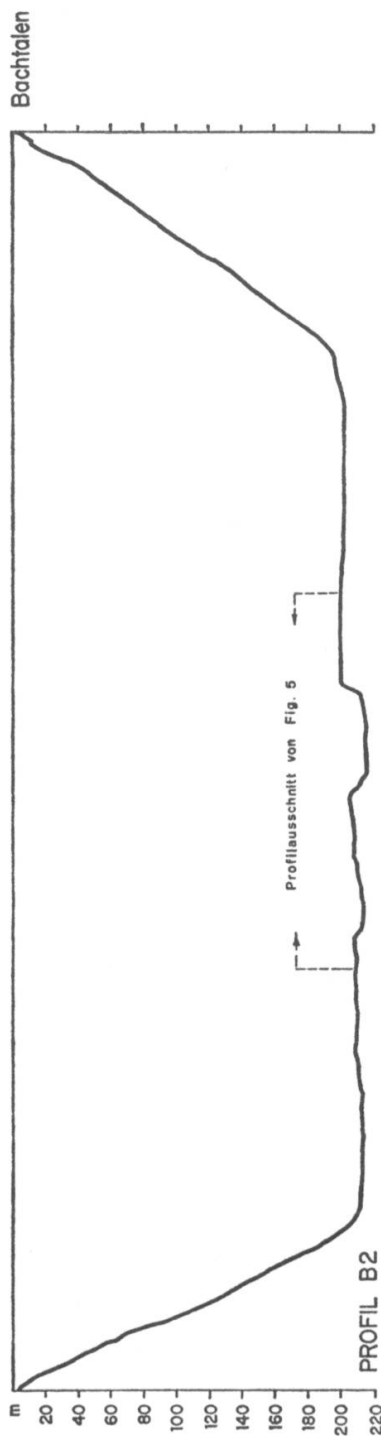
THUNERSEE

Kander



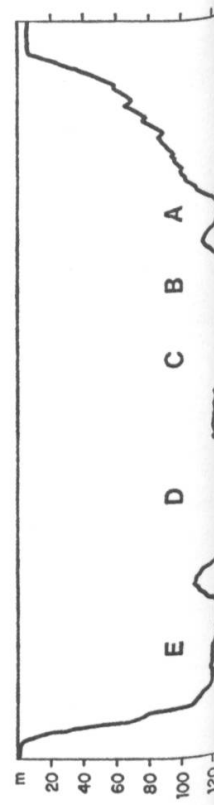
BRIENZERSEE

Giesbach



Bottenbalm

Brien (Tracht)



0 200 400 600 800 1000m

Figur 4: Beispiele entzerrter und umgezeichneter Echolotaufnahmen aus dem Thuner- und Brienzensee (Erläuterungen siehe Text)

nung des Kanderdeltas gegen das nördliche, viel steiler ansteigende und von Gesteinen der Molasse aufgebaute Ufer bei Oberhofen. Zur Ausbildung einer flachen Seebodenebene kommt es auf der Höhe dieses Profils noch nicht. Die Deltamorphologie ist durch das unruhigere Seebodenrelief im südwestlichen Profilabschnitt charakterisiert.

Ebenfalls aus dem Thunersee stammt das Profil T 6, das die Beckenmorphologie zwischen der Erhebung des Bürg bei Spiez und dem Schloß Ralligen wiedergibt. Eine flache Seebodenebene, gegen die das NE-Ufer bei Ralligen steil abfällt, nimmt hier den größten Teil des Beckenquerschnittes ein. Gegen Spiez zu wird sie von einem steilen Sporn begrenzt, der die unterseeische Fortsetzung des Spiezberges darstellt. An ihn anschließend folgt zunächst wieder ein, allerdings kleineres Becken, und erst dann beginnt der steile Anstieg des SW-Ufers. Deutlich sind in diesem Profil auch die Spuren der glazial bedingten Beckenbildung zu erkennen; die in den See austreichende und aus harten Kalken der Klippendecke bestehende Fortsetzung des Spiezberges konnte vom ehemaligen Gletscher nicht völlig eingeebnet werden, sondern blieb als steiler Felsriegel im heutigen Seebodenrelief erhalten.

Von den beiden in Figur 4 dargestellten Echolotprofilen aus dem Brienzensee wurde das Profil B 4 zwischen Brienz-Tracht und Bottenbalm aufgenommen, verläuft also nahe den hier in den See einmündenden Zuflüssen (Aare, Lammbach, Glissibach, Trachtbach). Die Unruhe des aufgenommenen Profils zeigt deutlich, wie nachhaltig der Einfluß dieser Zuflüsse auf die Gestaltung der Seebodenmorphologie ist. Das Ufer vor Brienz-Tracht fällt nach einer wenig breiten Uferbank in 5 bis 10 Meter Wassertiefe zunächst steil gegen das Becken zu ab. Von 60 Meter Tiefe abwärts bis zum Seeboden in etwa 115 Meter zeigt sich bereits an dem weniger steilen aber sehr unregelmäßigen Relief der Einfluß des Trachtbaches und zum Teil des Glissibaches, die hier beide ihr größeres Sedimentmaterial deponiert haben. Der anschließend, in mehr oder weniger gleichbleibender Tiefe folgende Seeboden weist ein kompliziertes Relief mit quer zur Profilrichtung verlaufenden Rinnen und Rücken auf.

Die Hauptrinnen sind in Profil B 4 mit Buchstaben (A bis E) gekennzeichnet und können gut den jeweiligen Zuflüssen, denen sie ihre Entstehung verdanken, zugeordnet werden: Auf die erste relativ

schmale Rinne des Glissibaches (A) folgen, kaum voneinander getrennt, diejenigen des Lambbaches und des alten Aarelaufes (B und C), denen sich, durch einen breiten Rücken getrennt, die Hauptrinne der heutigen Aare (D) anschließt. Den Abschluß bildet die Rinne E, für deren Entstehung sowohl die Aare als auch der hier einmündende Hauptkanal verantwortlich ist und die bis zu dem schroffen Steilufer reicht, das vor Bottenbalm vom Seeboden aufsteigt. Vier dieser fünf ausgeprägten Rinnen (A—D) vereinigen sich Richtung seeabwärts zu einer einzigen, etwa 200 Meter breiten und bis zu 35 Meter tiefen Rinne, die noch weit in den See hinausreicht, wie in dem zwischen Gießbach und Bachtalen aufgenommenen Profil B 2 deutlich erkennbar ist. (Fig. 5).

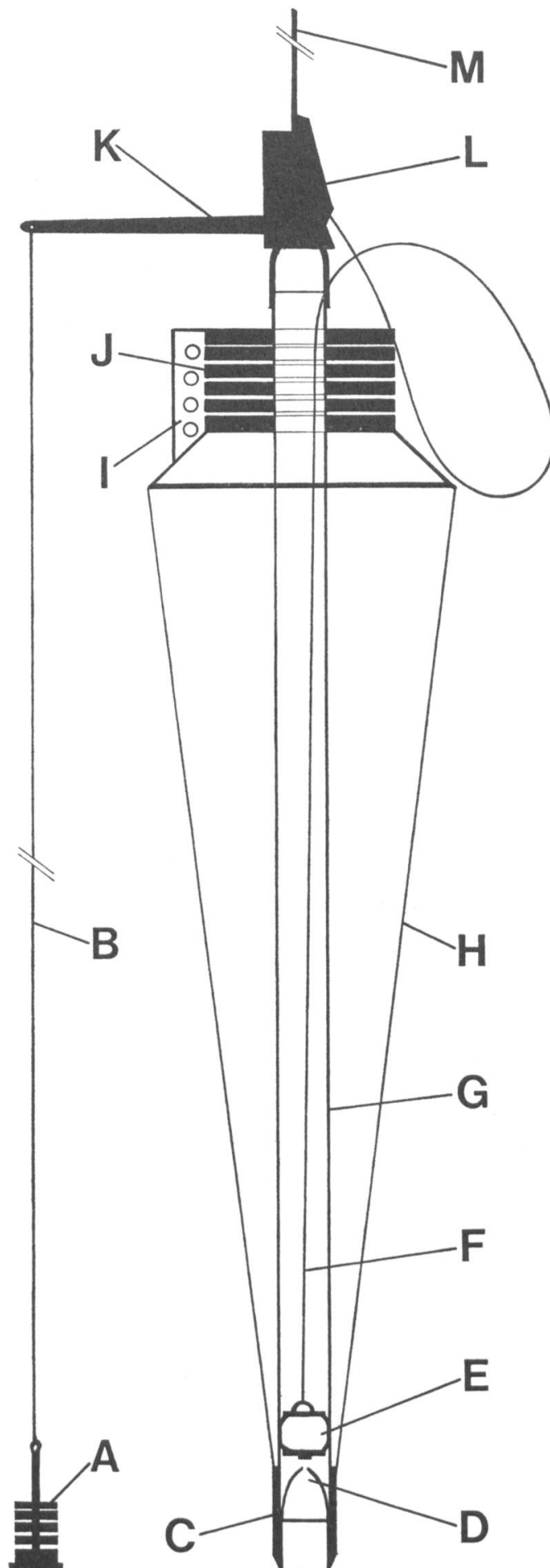
3. 4. *Geräte zur Entnahme von Sedimentproben:* Um Sedimentproben vom Seegrund entnehmen zu können, setzten wir zwei verschiedene Geräte ein, die am Institut für Meeresgeologie und Meeresbiologie Senckenberg in Wilhelmshaven (Deutschland) für den Einsatz auf dem Meer entwickelt und erprobt worden waren. Da es mit diesen Geräten möglich ist, ungestörte Proben aus den Seeablagerungen zu entnehmen, kann damit nicht nur die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Sedimente, sondern auch ihr struktureller Aufbau und ihre Geschichte untersucht werden.

3. 4. 1. *Der Kastengreifer.* Mit dem Kastengreifer, der in Figur 2 abgebildet ist, werden die obersten 25 Zentimeter der Seebodenablagerungen beprobt. Dazu wird am Gerät ein 25 x 20 x 10 Zentimeter großer Probenkasten montiert und dieses bei geöffneter Greiferplatte mit einer Seilwinde solange abgesenkt, bis es auf dem Seeboden aufsetzt. Durch das Gewicht von 5 Bleiplatten (120 kg) wird der Probenkasten bis zu seinem oberen Rand in das Sediment eingedrückt. Beim Hochziehen des Gerätes verschließt die Greiferplatte von unten her den Kasten und verhindert so einen Verlust des Probenmaterials. Mit diesem Gerät, das wegen seiner einfachen Konstruktion ein rasches und sicheres Arbeiten ermöglicht, wird durch eine rasterartige Probenentnahme zunächst eine Übersicht über die Verteilung der Oberflächensedimente eines Sees gewonnen und Gebiete mit gröberen Ablagerungen von solchen mit feinen Schlammen und Tonen getrennt, um danach den Einsatz des empfindlicheren Kolbenlotes planen zu können.

Aus dem Thunersee liegen bisher 33, aus dem Brienzersee 82 Kastengreiferproben vor, von denen in Figur 6 zwei Beispiele dargestellt sind. Beide Proben bestehen aus feingeschichteten tonig-siltigen Sedimenten ohne grobe Sandzwischenlagen. Die im Thunersee auf der subaquatischen Plattform des Bödelis bei Interlaken entnommene Probe TK 19 weist außerdem noch schwarze Reduktionsschlieren auf, die unter anderem eine schlechte Sauerstoffdurchlüftung des Wassers in diesem Seeteil anzeigen. In dem aus dem Brienzersee stammenden Kasten BK 67 (entnommen im Profundal südöstlich von Oberried) fehlen diese Eutrophierungsmerkmale dagegen völlig.

3.4.2. *Das Kolbenlot.* Stellt der Kastengreifer ein Probenentnahmegerät dar, mit dem nur die obersten 25 Zentimeter der Seebodenablagerungen erfaßt werden können, so eignet sich das Kolbenlot zur Entnahme von bis zu 6 Meter langen Sedimentkernen mit einem Durchmesser von 10 Zentimeter. Dieses Kolbenlot für Plastikrohre, das in Figur 7 schematisch dargestellt ist, arbeitet nach dem folgenden Prinzip: Mit Hilfe einer Seilwinde wird das vorher justierte Gerät im See abgesenkt, bis das über das PVC-Rohr hinaushängende Vorfallengewicht auf dem Seeboden aufsetzt, wodurch der entlastete Ausklinkhebel hochgeht und das Gerät ausklinkt. Je nach der vorher eingestellten Fallhöhe (meist 2 bis 3 Meter) fällt das Kolbenlot diese Strecke in freiem Fall und dringt, unterstützt durch das Gewicht der auf dem Gerät angebrachten Bleiplatten (300 kg) in das Sediment ein. Die Aufgabe des im Probenrohr laufenden Kolbens ist es, im Rohr einen geringen Unterdruck zu erzeugen, um so einerseits das Eindringen des Sediments in das Plastikrohr zu erleichtern und andererseits den Verlust des Kerns beim Hochziehen des Gerätes zu verhindern. Diese letztere Aufgabe wird durch den Einbau eines sogenannten Probenfängers noch unterstützt (Fig. 7).

In Figur 8 sind zwei Beispiele von den 47 aus dem Thunersee und den 53 aus dem Brienzersee entnommenen Kolbenlotkernen dargestellt. TP 16 stammt von der Seebodenebene des Thunersees aus 210 Meter Wassertiefe, etwa 800 Meter südlich von Schloß Ralligen und zeigt auffallende Sedimentationsunterschiede. Während im unteren Kernteil eine zum Teil kaum erkennbare Feinschichtung mit einigen schwarzen, sauerstoffarmen Lagen auf eine äußerst langsame Sedimentation in



Figur 7:

Schematische Darstellung
des Kolbenlotes (nach Reineck)
für Plastikrohre

- A = Vorfallgewicht
- B = Vorfallseil
- C = Mundstück
- D = Probenfänger
- E = Kolben
- F = Kolbenseil
- G = PVC-Kernrohr
- H = Kernrohrverspannung
- I = Stabilisierungsflosse
- J = Bleiplatten
- K = Ausklinkhebel
- L = Ausklinkvorrichtung
- M = Tragseil

einem sogenannten reduzierenden Seemilieu hindeutet, besteht der obere Kernteil aus einer Abfolge mächtigerer, gradierter Schichten, die für ein gut durchlüftetes, sauerstoffreiches Milieu mit rascher Sedimentation charakteristisch ist. Unserer Auffassung nach dokumentieren sich hier die, durch die Kandereinleitung im Jahre 1714 hervorgerufenen Seemilieuänderungen.

Ebenfalls aus dem Bereich der Seebodenebene in 250 Meter Wassertiefe zwischen Oberried und Ebligen wurde der Kern BP 30 aus dem Brienzersee entnommen. Der auf die ganze Länge des Kerns regelmäßig entwickelten Feinschichtung, die keine Anzeichen eines Reduktionsmilieus aufweist, sind einige mächtigere Grobsandlagen eingeschaltet, von denen wir annehmen, daß sie als Auswirkungen schwerer Unwetter entstanden sind.

3. 5. *Übrige Arbeitsmethoden.*

3. 5. 1. *Limnologische Untersuchungen.* Neben den bisher besprochenen Methoden und Geräten, die hauptsächlich der Untersuchung des Seebodens und dessen Ablagerungen galten, wurden vor allem im Brienzersee auch limnologische Arbeiten durchgeführt, die mithelfen sollen, den Verteilungs- und Sedimentationsmechanismus der den verschiedenen Seen zugeführten Feststoffe abzuklären. Um zu sehen, in welcher Weise sich die von der Aare in den Brienzersee geführten Sedimente im See verteilen, wurden zunächst an drei Meßstellen (Figur 1 B) von April bis November 1971 alle 10 bis 20 Meter Wasserproben entnommen und gleichzeitig die jeweilige Wassertemperatur bestimmt. So konnten aus diesen Proben der Schwebstoffgehalt und die Dichte des Seewassers in verschiedenen Wassertiefen ermittelt werden. An einer Reihe von Proben erfolgte auch die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung des Seewassers. Da zwei der drei im See verankerten Positionsbojen durch verdriftete Fischernetze unbrauchbar gemacht wurden und die Messungen schließlich nur noch von einer einzigen Boje aus durchgeführt werden konnten, sollen im Jahre 1973 ergänzende Aufnahmen erfolgen.

3. 5. 2. *Laborarbeiten.* Abschließend soll noch auf die Untersuchungen eingegangen werden, die in Bern im Laboratorium des Geologischen Instituts der Universität durchgeführt werden.

Vom See werden die gefüllten Kastengreiferkästen und Kolbenlotrohre mit der Bahn nach Bern transportiert. Hier wird das Probenmaterial aus den Behältern ausgestoßen und in noch feuchtem Zustand mit einem elektrischen Schneidegerät der Länge nach aufgeschnitten. Saubere Schnittflächen, die nur mit diesem, nach dem Prinzip der *Elektro-osmose* arbeitenden Gerät erreicht werden können, sind nötig, um geeignete Fotos von den Kästen und Kernen für die weitere Bearbeitung zu erhalten. Nach der darauf durchgeführten Kernbeschreibung wird aus den Sedimenten Probenmaterial für die mineralogisch-sedimentologische Bearbeitung entnommen, der Rest der Kerne in Plastikfolie luftdicht verschweißt und für weitere Untersuchungen in einem Kühlraum gelagert.

Die Laboruntersuchungen im engeren Sinn umfassen die Bestimmung des Gesamtkarbonatgehaltes und des Calcit/Dolomit-Verhältnisses in den einzelnen Proben, die Bestimmung der auftretenden Schwerminerale und Tonminerale, sowie die Bestimmung der Korngrößen. Nach den bei diesen Untersuchungen erhaltenen Ergebnissen lassen sich für die jeweiligen Seen Verteilungskarten der Sedimente erstellen, die Hinweise auf die verschiedenen Ablagerungsmechanismen liefern. In Figur 9 ist eine Verteilungskarte der verschiedenen im Thunersee auftretenden Sedimentarten dargestellt, die auf Grund von Korngrößenanalysen der Oberflächensedimente konstruiert wurde.

Neben der flächenmäßigen Verteilung der Seeablagerungen sollen vor allem noch die verschiedenen, im Sediment selbst auftretenden Strukturen untersucht werden. Dazu wird zunächst an Hand der Kernfotos festgestellt, welche Art der Schichtung (Grob- oder Feinschichtung) in den Sedimentkernen vorhanden ist, ob gradierte Schichten, homogene Abschnitte oder Warven (= Jahresschichten) auftreten und wie die vertikale Abfolge der verschiedenen Strukturen verläuft. Von den Kernen, bei welchen die Auflichtfotos zu wenig Information liefern, werden mit einem Philips-Röntgengerät Radiographien hergestellt, da besonders in mehr oder weniger homogenen Sedimenten erst durch diese Methode die sonst nicht sichtbaren Strukturen zum Vorschein kommen (Fig. 6). Internstrukturen in mächtigeren Sandlagen oder bei Sand/Silt-Wechselagerungen werden vor allem durch Reliefgüsse der Sedimente mit Araldit sichtbar gemacht. Diese Methode wird von uns hauptsächlich bei der Auswertung von Kastengreiferproben ange-

wandt. Der Erforschung des strukturellen Aufbaus der Sedimente im Mikrobereich dient schließlich die Herstellung von Dünnschliffen. Dazu muß das noch stark wassergesättigte und unverfestigte Sediment zunächst mit flüssiger Luft schockgefroren und darauf gefriergetrocknet werden. Die vollkommen trockene Probe wird sodann mit einem Härtemittel (Araldit) getränkt, gehärtet und zu einem Dünnschliff weiterverarbeitet.

Unabhängig von diesen, am Geologischen Institut durchgeführten Untersuchungen, werden an Kernen, in denen genügend Holz- bzw. Pflanzenrückstände vorhanden sind, mit Hilfe der C^{14} -Methode am Physikalischen Institut der Universität Bern (Prof. H. Oeschger) absolute Altersbestimmungen vorgenommen. Ebenfalls der Sedimentdatierung dienen pollenanalytische Untersuchungen von Herrn R. Bodmer (Botanisches Institut der Universität Bern) an Sedimentkernen aus dem Thunersee.

Die Bearbeitung der im Brienersee entnommenen Wasserproben erfolgte teils durch das Labor des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft (Bestimmung des Schwebstoffgehaltes), teils durch den Kantonschemiker Bern (chemische Analysen).

4. *Bisherige Ergebnisse.*

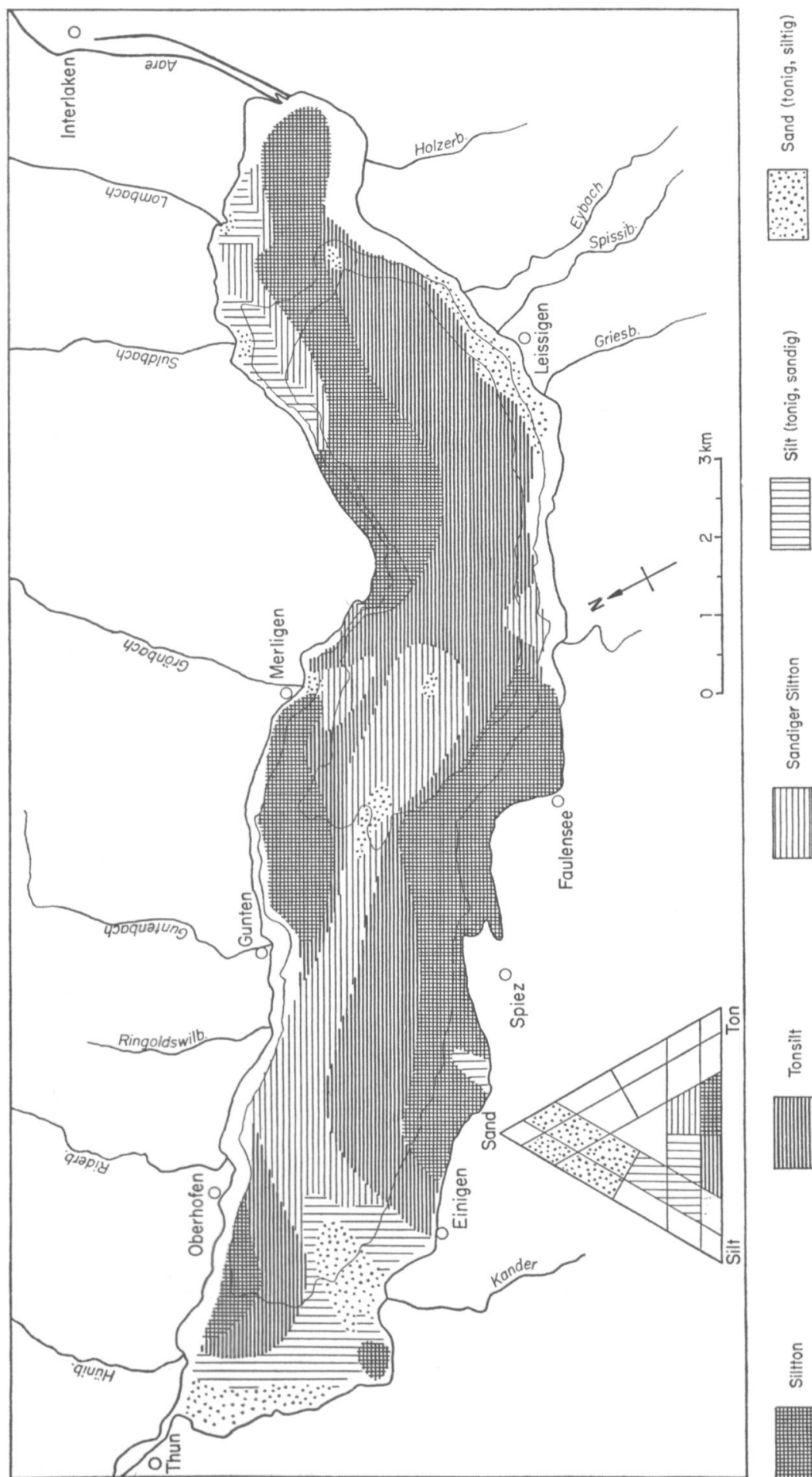
4.1. *Der Thunersee.* Die Auswertung der seismischen Profile, vor allem der Airgun-Aufnahmen ergab, daß die Lockersedimente in diesem Becken über 300 Meter mächtig werden können. Ein Teil dieser Ablagerungen wurde bereits vor der letzten Vereisungsperiode (= Würmstadium) sedimentiert, doch ihr Hauptanteil ist erst nach dem Rückzug der Gletscher, der etwa vor 10 000 Jahren abgeschlossen war, entstanden. Die ältesten Ablagerungen, die wir im Thunersee mit unseren Geräten noch erfassen konnten, stammen aus der Bucht von Faulensee und sind nach Pollenuntersuchungen etwa 13 000 Jahre alt.

In der nacheiszeitlichen Geschichte des Thunersees gibt es ein folgenreiches Ereignis, das sich auf sämtliche Vorgänge in diesem See verändernd auswirkte: Die künstliche Einleitung der Kander im Jahre 1714. Das Einzugsgebiet des Sees wurde dadurch nahezu verdoppelt und die Feststoffzufuhr erhöhte sich derart, daß die jährliche Sedimentationsgeschwindigkeit nach 1714 um das zwei- bis dreifache anstieg.

Das untere Seebecken, vor der Kandereinleitung, von den kleinen Bächen seines NE-Ufers abgesehen, praktisch zuflußlos, schlecht durchlüftet und mit einem äußerst geringen Sedimentzuwachs, ist heute nicht nur der bestdurchlüftete Seeteil, sondern besitzt durch die Kander und ihr weit in den See hinausreichendes Delta die höchste Sedimentakkumulationsrate des Sees. So beträgt der Sedimentzuwachs im unteren Seebecken, je nach der Entfernung vom Kanderdelta, zwischen 4 und 7,8 Millimeter pro Jahr für die letzten 254 Jahre nach der Kandereinleitung. Im Profundal des oberen Seebeckens beträgt er für den gleichen Zeitraum zwischen 4 und 6 Millimeter pro Jahr. Noch deutlicher zeigt sich der Unterschied im Sedimentzuwachs beim Vergleich der Sedimentationsraten auf der Uferbank bei Einigen und bei Faulensee. Während bei Einigen seit 1714 im Durchschnitt 4,8 Millimeter Sediment pro Jahr abgelagert wurde, sind es bei Faulensee nur 1,7 Millimeter pro Jahr.

Wie weit der Einfluß der Kandersedimente aber auch im oberen Seebecken sichtbar ist, wurde bei der Untersuchung der Oberflächensedimente deutlich. Sowohl die Verteilungskarte der Sedimentarten (Fig. 9) als auch die Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes und der Schwermineralien in den Sedimenten zeigt, daß die Verlagerung von Kandermaterial praktisch bis auf die Höhe von Leißigen verfolgt werden kann. Auch bei der Bearbeitung der Kolbenlotkerne wird man immer wieder mit den Auswirkungen der Kandereinleitung konfrontiert. In den meisten Kernen des unteren Seebeckens ist ein plötzlicher Wechsel von schwarzen, feinen, mehr oder weniger homogenen Sedimenten zu hellgrauen, sandreichen und deutlich geschichteten Ablagerungen zu beobachten. Dieser Sedimentationswechsel (vgl. dazu TP 16, Fig. 8) zeigt an, daß, vor allem im unteren Seebecken, durch die Kandereinleitung ein eutrophes, sauerstoffarmes in ein oligotrophes (nährstoffarmes) und gut durchlüftetes Seemilieu umgewandelt wurde.

Mit Hilfe der an den Kernen durchgeführten Pollenanalyse läßt sich der Kanderschnitt ebenfalls deutlich nachweisen. Die Gesamtzahl der Pollen pro Gramm Probenmaterial ist vor 1714 um mehr als 10 mal größer als heute, wo die Pollenkonzentration durch die höhere Sedimentanlieferung stark verdünnt wird. An diesen Beispielen sieht man in eindrucklicher Weise, wie rasch und nachhaltig der See und seine Ablagerungen auf einen Eingriff von außen reagiert.



Figur 9: Verteilung der Oberflächensedimente im Thunersee auf Grund ihres Sand-Silt-Ton-Verhältnisses (aus Sturm & Matter 1972, Figur 7)

4. 2. *Der Brienzersee.* Da die Untersuchungen im Brienzersee zur Zeit noch nicht abgeschlossen sind, liegen auch erst wenige endgültige Ergebnisse über diesen See vor. Allerdings konnte auf Grund der seismischen Aufnahmen bereits die Mächtigkeit der Lockersedimente bestimmt werden. Sie ist mit über 550 Meter um rund 150 Meter mächtiger als im Thunersee. Über das Alter können noch keine Angaben gemacht werden, doch ist, in Analogie zum Thunersee, ein Teil der Sedimente bereits vor dem letzten Vereisungsstadium (Würm) abgelagert worden. Der Brienzersee, dem ein so markantes Ereignis wie die Kander-einleitung fehlt, wird heute hauptsächlich von Sedimenten der Aare und der Lüschine beherrscht. Die kleineren Zuflüsse haben dagegen nur geringen Einfluß auf das Sedimentationsgeschehen und schütten nur zeitweise bei Hochwasser oder Murgängen mehr Material in den See. Der Seecharakter ist ausgesprochen oligotroph (= nährstoffarm), so daß bei der bisherigen Probennahme noch keine Anzeichen für die Bildung von Reduktionssedimenten gefunden werden konnten.

Die Hauptzuflüsse Aare und Lüschine bauen an den beiden See-Enden große Deltakörper auf, die heute, ebenso wie das Kanderdelta im Thunersee, zur Kiesgewinnung ausgebeutet werden. Ablagerungen der Aare beherrschen den größten Teil des oberen Brienzerseebeckens bis etwa auf die Höhe von Iseltwald, von wo ab der Einfluß der Lüschine, die ihr Material im unteren Seebecken verteilt, sichtbar wird. Dabei zeigte es sich, daß das *Profundal* (= Seebodenebene) des Brienzersees in 260 Meter Wassertiefe im Durchschnitt von gröberen Sedimenten bedeckt ist, als die zum Ufer ansteigenden seichtereren Seebodenbereiche. Diese Sedimentverteilung entsteht beim Transport von größerem Material von den beiden See-Enden her durch bodenberührende Strömungen. Diese werden bei bestimmten Voraussetzungen durch das Absinken des feststoffbeladenen, kälteren Flußwassers der Aare bzw. der Lüschine entlang dem Seeboden ausgelöst. In direktem Zusammenhang mit diesen Strömungen steht die Bildung der im Deltabereich der Aare auftretenden Rinnen, die auf Seite 61 besprochen wurden.

Daß der Sedimenttransport durch bodenberührende Strömungen, in der Literatur als *Trübestrome* (turbidity currents) bezeichnet, erfolgen kann (Kuenen und Migliorini 1950), ist eine der wichtigsten geologischen Erkenntnisse der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts. Sie liefert die stichhaltigste Erklärung dafür, daß in landfernen Tiefseebereichen neben

den zu erwartenden feinen Tiefseeschlammen in größerem Ausmaß auch gröbere Ablagerungen wie Silt und Sand zu finden sind. Ähnliche Trübestrome, nur in wesentlich kleinerem Ausmaß, sind auch im Brienzersee und Thunersee für den größten Teil der Sedimentverlagerung in den Becken verantwortlich und bilden so den Berührungspunkt unserer Seeforschung mit den Problemen der Ozeanographie und der Meeresgeologie.

5. Danksagung

Das Arbeiten mit den schweren Probenentnahmegeräten, die mehr für den Einsatz von seetüchtigen Schiffen aus entwickelt wurden, als für den Gebrauch von einer relativ kleinen Bohrplattform wie der unsrigen, brachte es mit sich, daß wir auf die Hilfe vieler mit den Seen vertrauter Personen angewiesen waren.

Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir den Herren H. Bettschen (Reichenbach i. K.), Direktor P. Großmann und A. Schild (Großmann & Co., Brienz), Direktor A. Schmid und H. Wyß (Kanderkies AG, Thun), sowie den Herren R. Bösch und B. Wirthner und ihren Kollegen von der Seepolizei Brienzersee und Thunersee. Danken möchten wir auch den Assistenten und Studenten des Geologischen Institutes für ihre Mithilfe im Labor wie auf dem See.

Unser spezieller Dank gilt dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, welches die Echolotaufnahmen für uns ausgeführt und uns auch apparativ unterstützt hat, sowie dem Schweiz. Nationalfonds für die finanzielle Förderung unseres Forschungsprojektes.

6. Literaturnachweis

Grosjean, G. (1962): Die Ableitung der Kander in den Thunersee vor 250 Jahren. Jahrbuch Thuner- und Brienzersee 1962, 18—40.

Hofer, F. (1952): Über die Energieverhältnisse des Brienzersees. Beitrag Geol. Schweiz, Hydrologie 7, 95 S.

Matter, A., Dessolin, D., Sturm, M. und Süßtrunk, A. E. (1973): Reflexionsseismische Untersuchung des Brienzersees. Eclogae geol. Helvetiae 66/1.

- Matter, A., Süßtrunk, A. E., Hinz, K. und Sturm, M.* (1971): Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen im Thunersee. *Eclogae geol. Helvetiae* 64/3, 505—520.
- Niklaus, M.* (1969): Die Kander und ihr Delta im Thunersee. *Jahrbuch Thuner- und Brienzersee* 1969, 59—85.
- Nydegger, P.* (1967): Untersuchungen über Feinstofftransport in Flüssen und Seen, über Entstehung von Trübungshorizonten und zuflußbedingten Strömungen im Brienzersee und in einigen Vergleichsseen. *Beitrag Geol. Schweiz, Hydrologie* 16, 92 S.
- Sturm, M. und Matter, A.* (1972): Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee. *Eclogae geol. Helvetiae* 65/3, 565—590 (mit ausführlichen Literaturangaben).