Die Oberflächensedimente des Brienzersees

Autor(en): **Sturm, Michael**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **69 (1976)**

Heft 1

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-164496

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Eclogae geol. Helv.	Vol. 69/1	Seiten 111-123	9 Textfiguren	Basel, April 1976

Die Oberflächensedimente des Brienzersees

Von MICHAEL STURM[1])

ZUSAMMENFASSUNG

Der Brienzersee ist ein tiefer, langgestreckter Sedimentationstrog mit zwei Hauptzuflüssen an den beiden Seenden und ausschliesslich detritisch-klastischer Sedimentation. Der unterschiedliche geologische Aufbau seines Einzuggebietes erlaubt die Zuordnung der - an 205 Proben - untersuchten Oberflächensedimente des Sees zu zwei Schwermineralprovinzen (Aare-Provinz: Hornblende-Vormacht; Lütschine-Provinz: Apatit/Hornblende/Granat-Spektren). Sandvorkommen $> 50\%$ sind auf die engeren Deltabereiche und die Deltarinnen beschränkt. Hohe Karbonatgehalte treten im westlichen Becken und am Südufer auf, niedere Karbonatwerte finden sich im oberen Seebecken und entlang des Nordufers. Deltabereiche, Profundal und Beckenflanken werden durch drei Kastengreiferproben typisiert.

Aare und Lütschine sind für die im See ablaufenden Sedimentationsprozesse nahezu allein verantwortlich. «Turbidity currents» und «undercurrents» bilden die wichtigsten Transportmechanismen für die Verteilung und die Ablagerung der Oberflächensedimente.

ABSTRACT

Lake Brienz is a deep, longitudinal sedimentation-trough with two main tributaries on both ends of the basin. 205 surface samples of the entirely clastic lake sediments have been investigated. Distribution of heavy minerals, sand- and carbonate-content show the exclusive influence of the main rivers - Aare and Lütschine - on the formation of the surface sediments. Turbitidy currents as well as undercurrents are responsible for transport and deposition of sediments in the lake.

1. Einleitung

Allgemeines

Die Kenntnis der mineralogisch-sedimentologischen Zusammensetzung unverfestigter Seesedimente, ihrer Entstehung und ihrer regionalen Verbreitung soll die Rekonstruktion früherer Ablagerungsvorgänge und daraus die Erarbeitung allgemeiner Sedimentations-Modelle ermöglichen. Die entsprechenden Untersuchungen rezenter Ablagerungen im Brienzersee stehen in Zusammenhang mit ähnlichen Arbeiten im Thuner- und Bielersee. Im Gegensatz zu diesen beiden Seen haben jedoch im Brienzersee biologisch-chemische Vorgänge keinen Einfluss auf die

[1]) Geologisches Institut der Universität Bern, Sahlistrasse 6, CH-3012 Bern,

Sedimentbildung. Die vorliegende Arbeit über die Oberflächensedimente des Brienzersees soll daher der erste Schritt für die Erstellung eines *klastischen* Seemodells sein.

Die Untersuchungen wurden am Geologischen Institut der Universität Bern im Rahmen eines vom Schweiz. Nationalfonds unterstützten limnogeologischen Forschungsprojektes durchgeführt. Den folgenden Mitarbeitern und Institutionen sei bestens gedankt: H. Ischi, P. Steffen, P. Schuler, Ph. Probst, U. Furrer für ihre Hilfe bei den Arbeiten auf dem See; Frl. H. Haas und Frau H. Gehr für die durchgeführten Laborarbeiten; dem Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, der Seepolizei Brienzersee, der Bootswerft Gebr. Hofmann (Brienz), der Aarekies-Brienz AG für oftmalige Hilfe, Bereitstellung von Material und Bootsliegeplätzen. Für anregende Diskussionen, die erwiesene Unterstützung und für die kritische Durchsicht des Manuskriptes sei vor allem A. Matter bestens gedankt.

Bisherige Arbeiten

Durch die Eidg. Landestopographie erfolgte 1866 eine erste genaue Vermessung des Brienzersee-Beckens. Gemeinsam mit einer 1898 vorgenommenen Neuaufnahme bildet sie die Grundlage für die auf den heutigen Landeskarten 1:25000, Blatt Brienz und Beatenberg, dargestellten Seebecken-Morphologie. Im Zusammenhang mit den Kraftwerksbauten im Oberlauf der Aare und der Verlegung der Aaremündung (1866–1875) wurden in den Jahren 1898 (Eidg. Landestopographie),

Fig. 1. Brienzersee, Blick gegen SE (Interlaken). Im Vordergrund ist die in den See einmündende Aare mit ihrem neuen Delta erkennbar; rechts das alte Delta. Im Hintergrund ist die Schwemmebene von Interlaken zu sehen, die den Brienzersee vom Thunersee trennt (Flugaufnahme der Swissair Foto AG vom 22. Juni 1971).

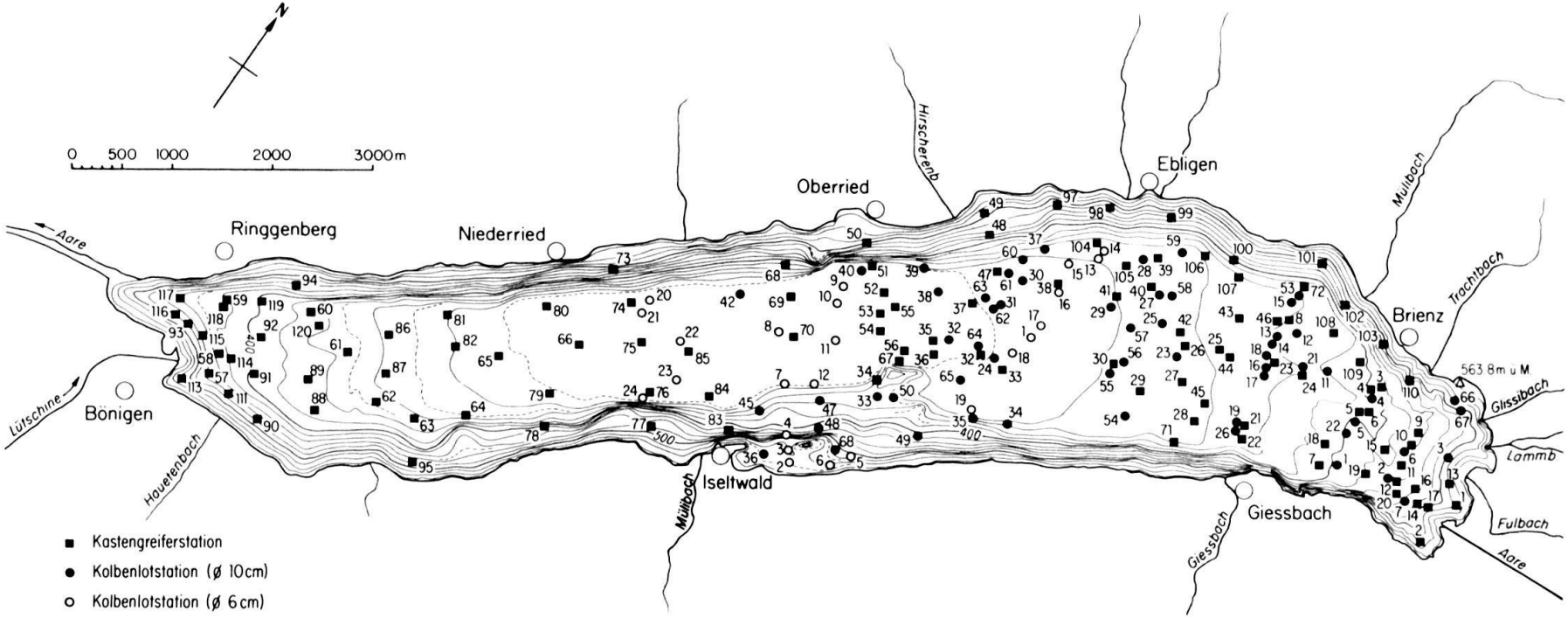

Fig. 2A. Bathymetrische Karte des Brienzersees mit den Positionen der Probenstationen.

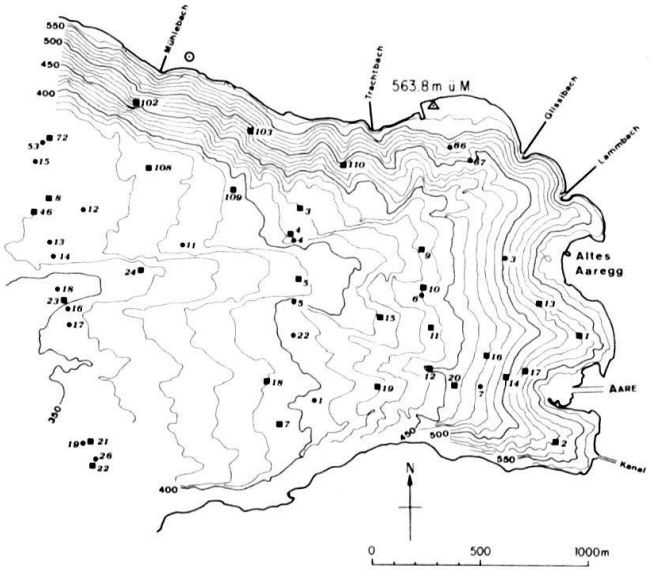

Fig. 2B. Bathymetrische Karte des Aare-Deltas bei Brienz mit den Positionen der Probenstationen. Nach der Seegrundaufnahme des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft von 1956/57.

1932/33 und 1956/57 (beide Eidg. Amt für Wasserwirtschaft) sehr detaillierte Aufnahmen des Aaredeltas bei Brienz durchgeführt.

Untersuchungen biologischer Vorgänge im Brienzersee führten u.a. v. HOFSTEN (1911) an der Tiefenfauna, FLÜCK (1926) am Phytoplankton und FUNK (1968) am Fischbestand aus. STEIGER (1896) und NIKLAUS (1968) beschäftigten sich eingehend mit den z.T. katastrophalen Murgängen und Lawinen und ihrer Auswirkung auf die Morphologie des N- und NE-Ufers des Brienzersees. Die ersten Schwebstoff-Messungen wurden von EPPER (1910) durchgeführt, umfangreiche limnologische Untersuchungen erfolgten jedoch erst durch HOFER (1952) und NYDEGGER (1957, 1967). Erste Ergebnisse über die Erforschung des Beckengrundes, der Sedimentmächtigkeit und der jüngsten Seesedimente wurden von STURM & MATTER (1972*b*), MATTER et al. (1973) und STURM (1975) publiziert.

2. Morphologie und geologisch-tektonischer Rahmen

(vgl. MATTER et al. 1973)

Der Brienzersee ist ein langgestrecktes, inneralpines Seebecken, eingebettet in das steile Relief des Berner Oberlandes (Fig. 1). Bei einer mittleren Seespiegelhöhe von 564 m ü.M. liegen 50% seines 1100 km² grossen Einzugsgebietes über 2000 m ü.M. Die relativ einfache Beckenmorphologie (Fig. 2A) lässt sich in drei Bereiche gliedern:

a) Bereich der morphologisch unruhigen, von tiefen Rinnen durchzogenen Delten von Aare (Fig. 2B) und Lütschine am E- bzw. W-Ende des Sees.
b) Bereich der flachen Seebodenebene (Profundal) in der Beckenmitte, in einer Wassertiefe von über 250 m.
c) Bereich der steil zum Profundal abfallenden Beckenflanken des N- und S-Ufers.

Grossräumig wird das Seebodenrelief nur von Aare und Lütschine beeinflusst. Die kleineren Zuflüsse bauen nur eng begrenzte, steile Schuttfächer an den seitlichen Beckenflanken auf (Fig. 3).

Das Seebecken liegt zur Gänze innerhalb der tektonischen Einheit der Wildhorn-Decke. Das N-Ufer wird hauptsächlich von Unterkreide-Gesteinen (Mergel, Kalke, Kieselkalke) gebildet. Das S-Ufer wird von Jura-Kalken, -Sandsteinen und -Mergel aufgebaut (BECK 1934). Am geologischen Aufbau der Einzugsgebiete der beiden grössten Zuflüsse - Aare und Lütschine - sind dagegen mehrere tektonische Einheiten beteiligt. Die Lütschine entwässert Gebiete, in denen Sedimente der helvetischen Wildhorn-Decke und des autochthonen und parautochthonen Mesozoikums bzw. Tertiärs anstehen und reicht nur wenig in den Bereich kristalliner Gesteine. Die Aare dagegen durchfliesst nur in ihrem unteren Teil das Helvetikum und den autochthonen/parautochthonen Sedimentmantel und entwässert im grösseren Teil ihres Einzugsgebietes das Kristallin des Aar-Massivs (Fig. 4).

3. Sedimente

Die Kernentnahme auf dem See erfolgte in den Sommermonaten der Jahre 1972 und 1973. Dabei kamen ein Kastengreifer, ein Kolbenlot für Plastikrohre (Kern-

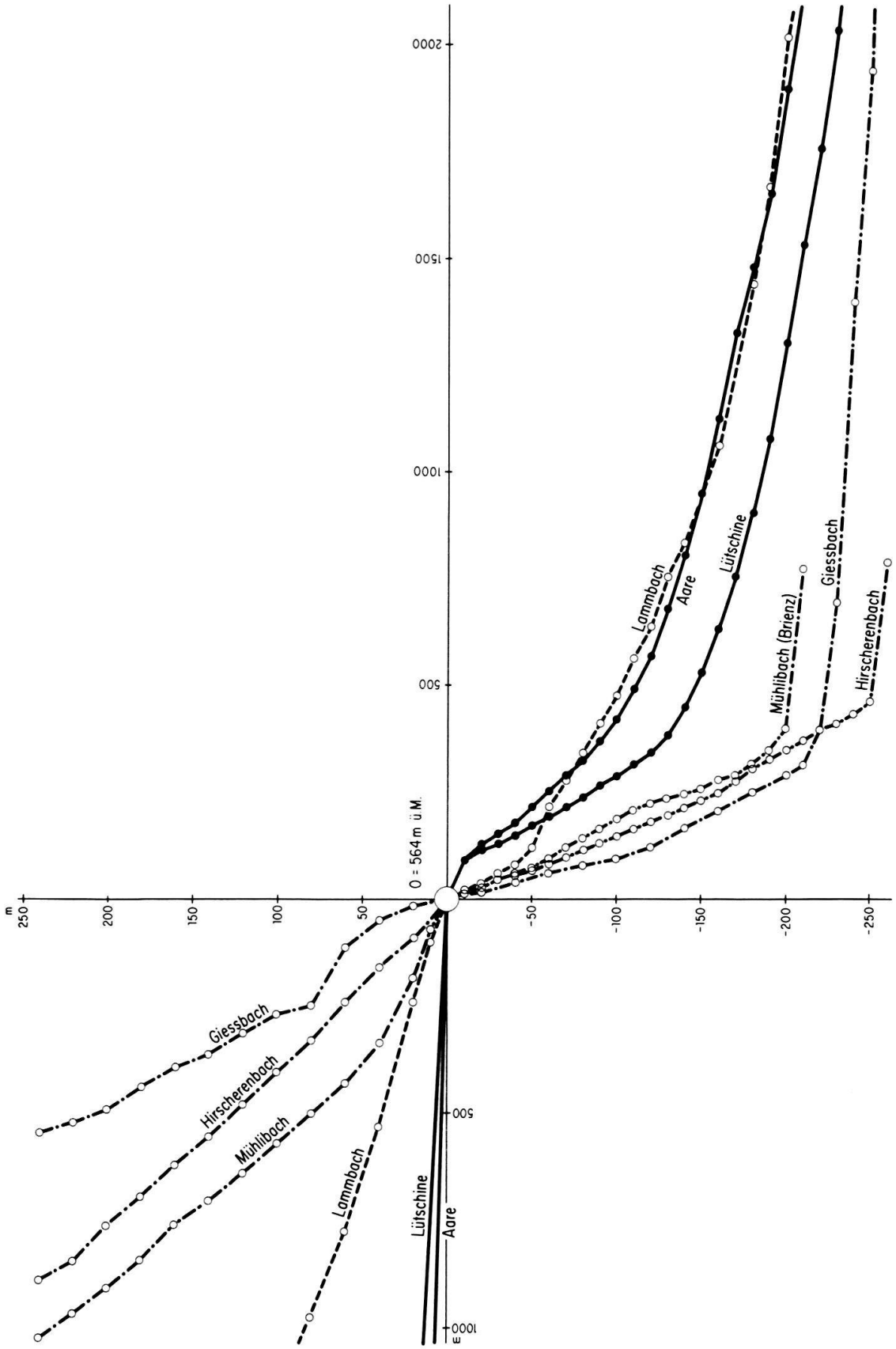

Fig. 3. Profile der wichtigsten Zuflüsse des Brienzersees.

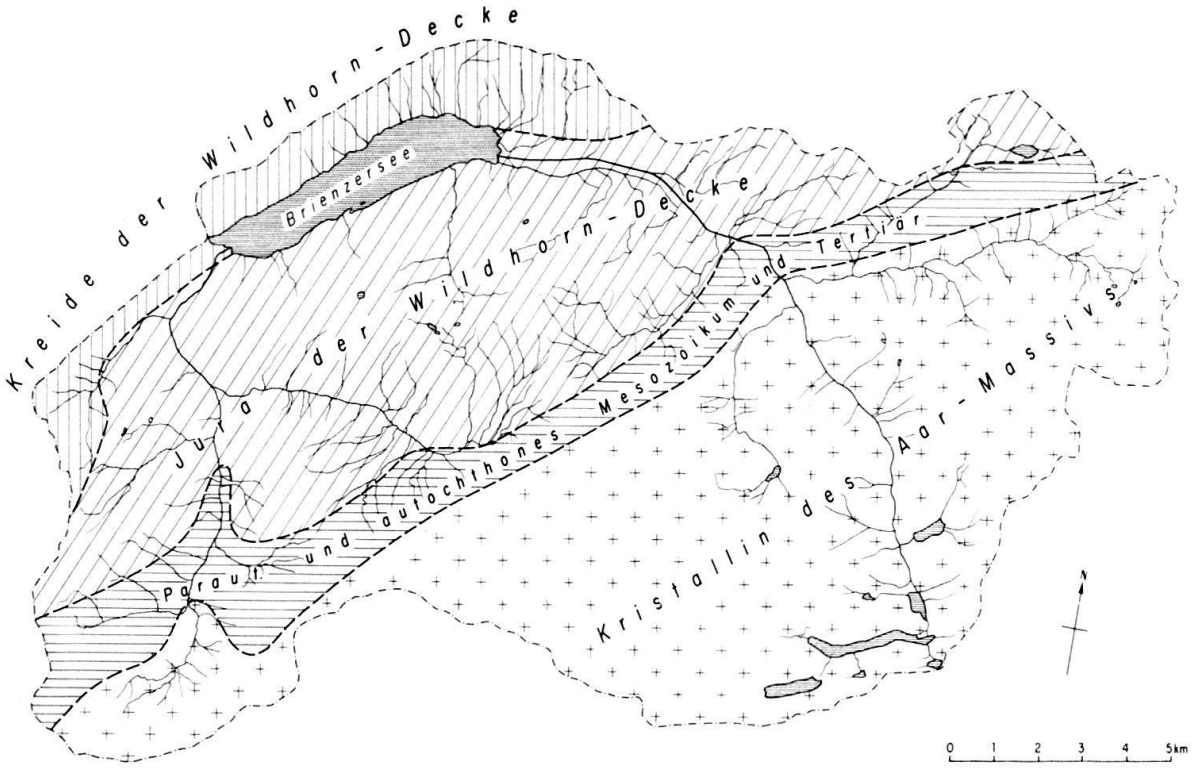

Fig. 4. Einzugsgebiet des Brienzersees und geologisch-tektonische Übersichtskarte.

durchmesser 10 cm) und ein von der Gruppe Limnogeologie der ETH-Zürich entwickeltes Kolbenlot (Kerndurchmesser 6 cm) zum Einsatz. Von den Kernstationen, die in Figur. 2A und 2B dargestellt sind, wurden an 205 Sedimentkernen jeweils die obersten 5 cm bearbeitet. Bei diesen «Oberflächenproben» handelt es sich aus technischen Gründen z.T. um Mischproben, da in ihnen mehrere der obersten Sedimentationseinheiten gleichzeitig erfasst wurden. Die Aufbereitung der Proben, die Laborbearbeitung und Auswertung erfolgte nach STURM & MATTER (1972*a*).

Schwermineralverteilung

Obwohl der Brienzersee parallel zu den tektonischen Strukturen und nur in einer einzigen tektonischen Einheit liegt, lassen sich die Sedimente seiner Zuflüsse wegen der Verschiedenartigkeit ihrer Einzugsgebiete drei verschiedenen Schwermineralprovinzen zuordnen (Fig. 5):

a) Aare-Provinz: Überwiegend Hornblende, daneben Epidot und Apatit; akzessorisch Turmalin, Zirkon und Granat; Zufluss: Aare.
b) Lütschine-Provinz: Überwiegend Apatit, Hornblende und Granat, daneben Epidot; akzessorisch Turmalin, Zirkon und Mineralien der TiO_2-Gruppe; Zufluss: Lütschine.
c) Helvetikum-Provinz: Überwiegend Turmalin, Zirkon und Mineralien der TiO_2-Gruppe, daneben Epidot; wenig Apatit, Hornblende und Granat; sehr hohe Erzanteile; Zuflüsse: kleine Bäche des N- und S-Ufers.

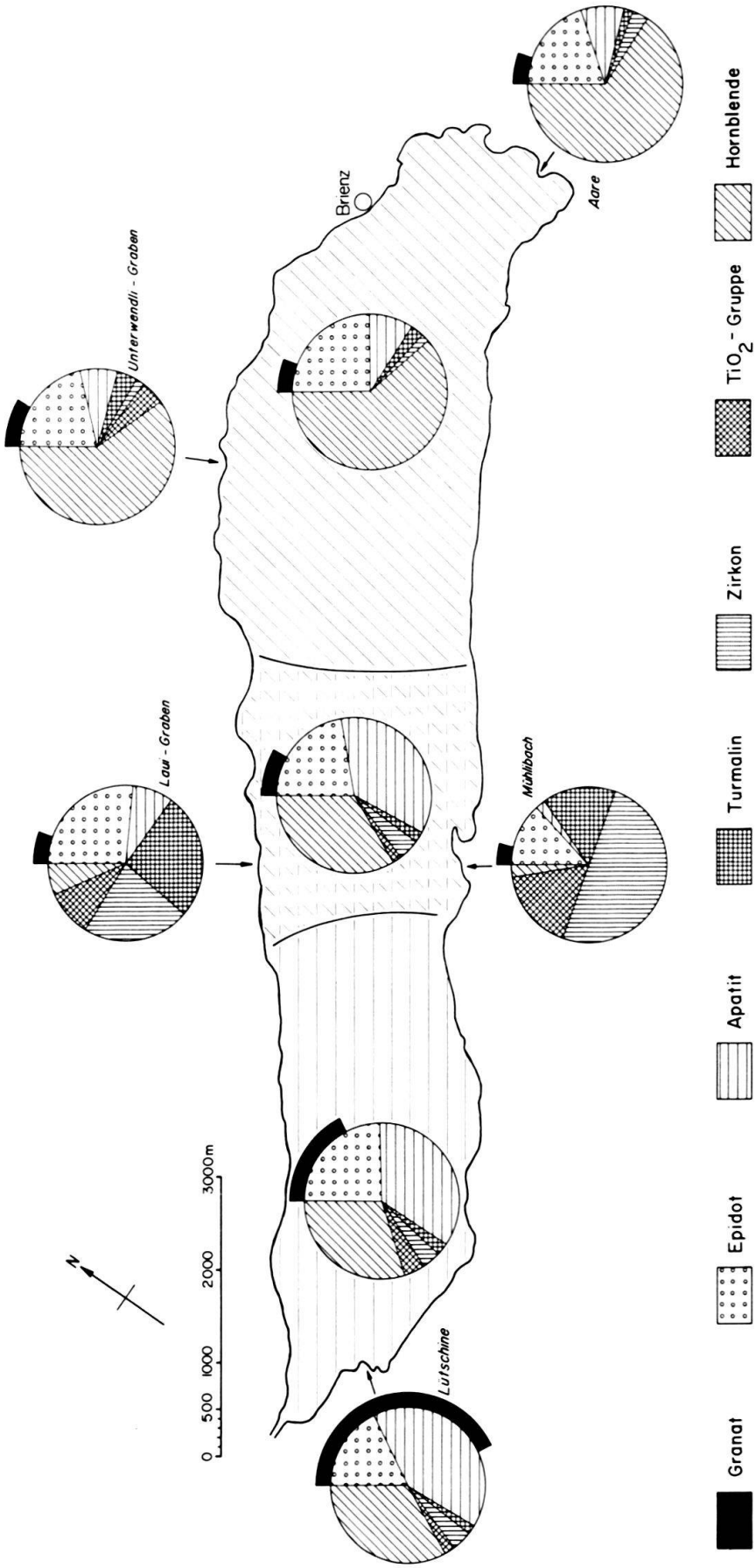

Fig. 5. Schwermineralverteilung der Oberflächensedimente und der Sedimente der Zuflüsse des Brienzersees.

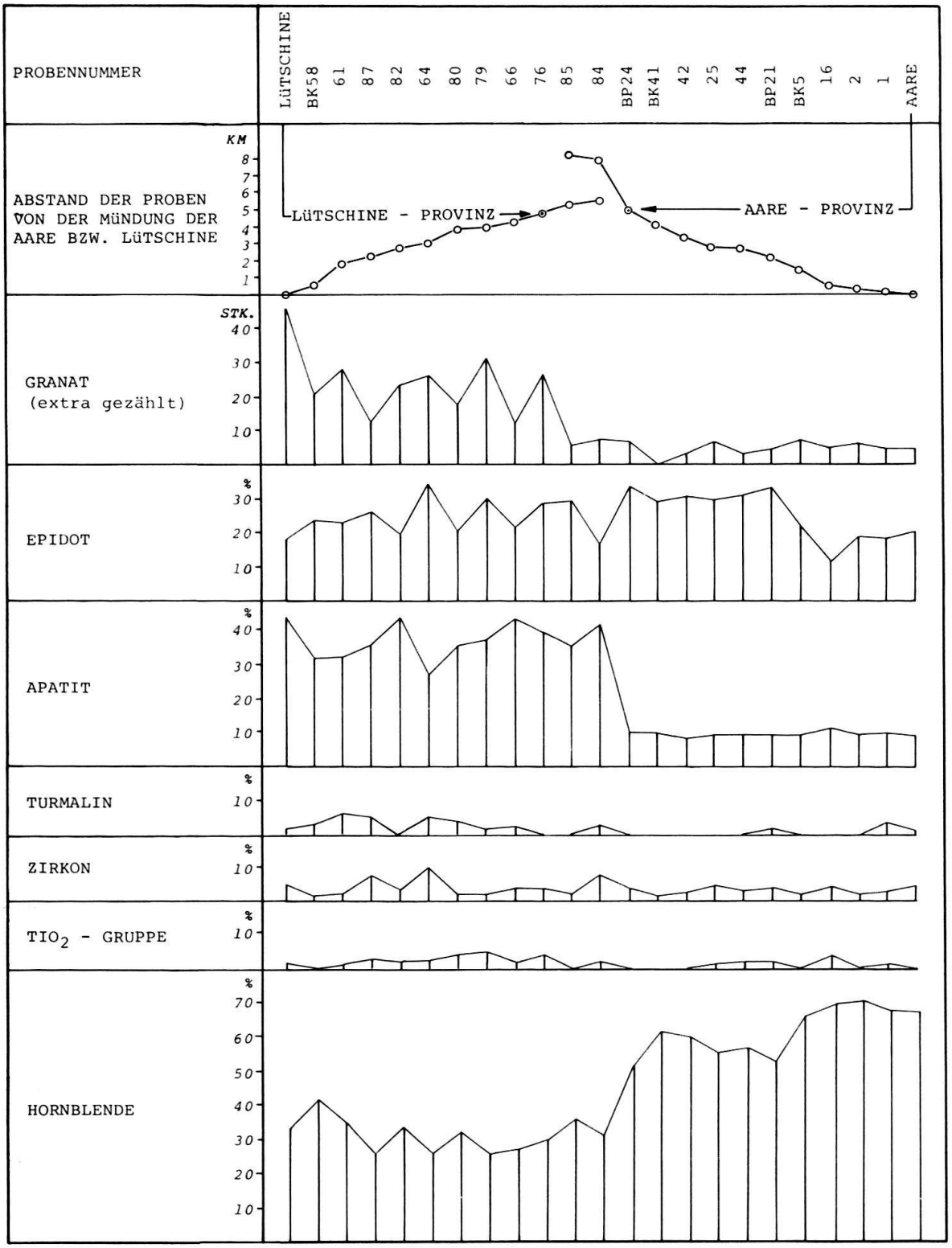

Fig. 6. Schwermineralspektren von Proben der Oberflächen-Sedimente des Brienzersees, der Aare und der Lütschine.

Einzelne Assoziationen der Helvetikum-Provinz zeigen grössere Abweichungen von der Normalzusammensetzung, die durch die lokalen Aufschlussverhältnisse bedingt sind: Der grosse Hornblendeanteil in den Proben des Unterwendli-Grabens (Fig. 5) deutet darauf hin, dass hier lokal Material der Aare-Provinz (evtl. ein Moränenrest des Aaregletschers) abgebaut wird; der hohe Zirkongehalt in den Proben des Mühlibaches bei Iseltwald (Fig. 5) ist auf den in diesem Gebiet anstehenden Aalénien-Eisensandstein (GÜNZLER-SEIFFERT 1934, FERRAZZINI 1974) zurückzuführen.

Von den drei beschriebenen Schwermineralprovinzen lassen sich in den Seesedimenten nur die Aare- und die Lütschine-Provinz nachweisen (Fig. 6). Die Helvetikum-Provinz, die hauptsächlich von kleinen Seitenbächen entwässert wird, bildet sich in den Oberflächensedimenten nicht ab.

Die Lütschine-Provinz mit ihrem Apatit/Hornblende/Granat-Spektrum erstreckt sich von der Mündung der Lütschine ca. 4,5 km gegen SE (~22% der Seefläche); die Aare-Provinz beherrscht mit ihren hohen Granatgehalten das obere Seebecken noch etwa 5 km von der Aaremündung entfernt (~47% der Seefläche). In der Seemitte tritt ein Mischbereich auf, in dem Schwermineralspektren der beiden angrenzenden Provinzen auftreten (Fig. 5 und 6).

Sandverteilung

Die Sandverteilung (Fraktionen 0,063–2 mm) in den Oberflächensedimenten bestätigt in grossen Zügen die Ergebnisse der Schwermineraluntersuchungen. Die Verteilung des Sandes wird im Brienzersee von Aare und Lütschine reguliert (Fig. 7). Die kleinen seitlichen Zuflüsse können kein grobes Material in den See hinaus verfrachten. Bei den grossen Zuflüssen ist eine rasche Korngrössenabnahme in Richtung Seemitte festzustellen; so liegen die Sandgehalte bereits wenige hundert Meter von der Flussmündung entfernt nur mehr zwischen 10% und 50%. In den zungenartigen Deltarinnen der Aare sind zwar auch in grösserer Entfernung hohe Sandgehalte feststellbar, «distale» Beckenbereiche können jedoch nur – wenn überhaupt – von sehr kleinen Sandmengen (1–5%) erreicht werden. Das zentrale Profundal und nahezu die gesamten seitlichen Beckenflanken sind sandfrei.

Gesamtkarbonatverteilung

Die Verteilungskarte der ausschliesslich detritisch-klastischen Karbonate (Fig. 8) zeigt eine allmähliche Abnahme des Karbonatgehaltes von W nach E. Karbonatreiche Sedimente finden sich dabei hauptsächlich im westlichen Seebecken und entlang des S-Ufers, während karbonatärmere Ablagerungen im östlichen Seebekken und am N-Ufer auftreten. Die Übergänge erfolgen unabhängig von der Morphologie des Seebeckens und oft quer zum Verlauf der Beckenflanken. Ergänzend sei darauf hingewiesen, dass auch bei der Karbonatverteilung trotz der ausserordentlich hohen Karbonatwerte der Seitenbäche (bis 81,5%) ein Einfluss dieser Zuflüsse auf die Oberflächensedimente praktisch nicht feststellbar ist. Eine Ausnahme bilden hier die Zuflüsse bei Brienz, deren hohe Karbonatgehalte sich – allerdings stark verdünnt – in den Seeablagerungen der näheren Umgebung abbilden (Fig. 8).

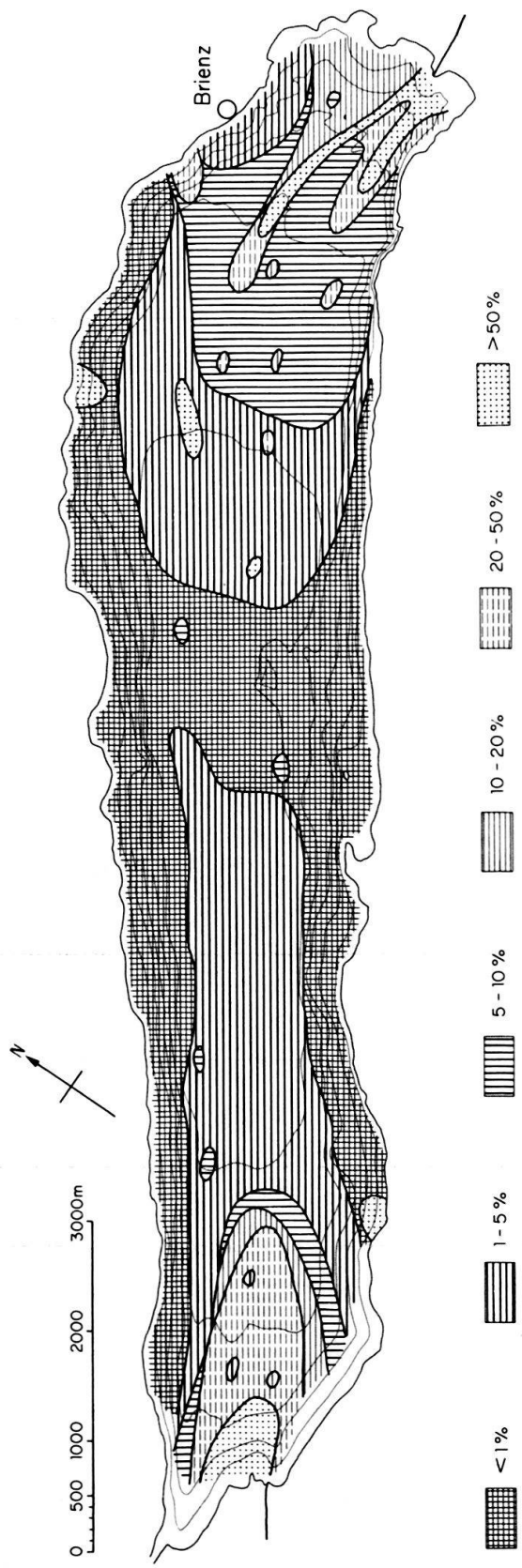

Fig. 7. Verteilung des Sandgehaltes (Fraktionen 0,063–2 mm) der Oberflächensedimente des Brienzersees.

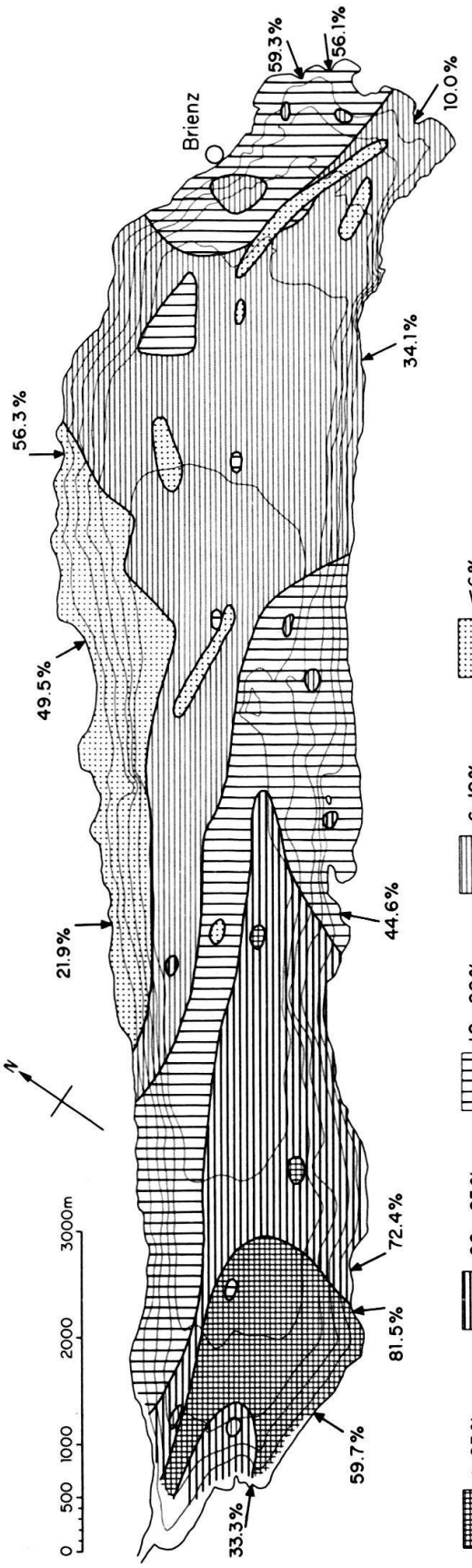

Fig. 8. Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes der Oberflächen- und Zufluss-Sedimente des Brienzersees.

Sedimenttypen (vgl. STURM 1975)

Die Verteilungskarten der Oberflächensedimente (Fig. 5, 7, 8) und die Auswertung der ca. 20 cm langen Kastengreiferkerne erlauben es, für die erwähnten drei morphologischen Beckenbereiche (S. 114) charakteristische Sedimenttypen zu unterscheiden (Fig. 9). In Deltaregionen treten sandreiche Sedimente auf mit lenticular geschichteten, unterschiedlich mächtigen Sand-, Silt- und (selten) Tonlagen (Fig. 9, BK 42). Gegen das Profundal zu nimmt der Sandgehalt rasch ab, und es finden sich parallel geschichtete Sedimente mit dünnen Feinsand- und mächtigeren Silt- und Tonlagen (Fig. 9, BK 54); strukturell ähnliche Ablagerungen wurden aus

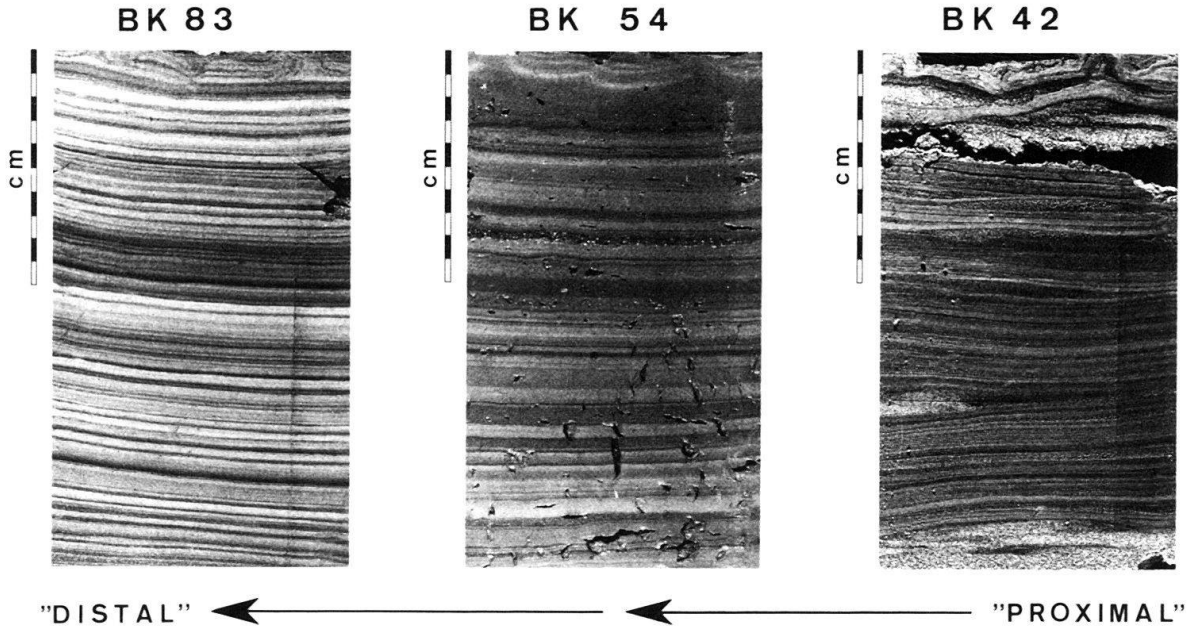

Fig. 9. Sedimenttypen des Brienzersees (Kastengreiferproben):
BK 42: Äusseres Aaredelta, «outer fan sediments»
BK 54: Seebodenebene (Profundal), «basin plain sediments»
BK 83: Seitliche Beckenflanken, Warvensedimente

dem Genfersee (HOUBOLT & JONKER 1968), aus rezenten «deep-sea fans» (NORMARK 1970, NELSON & KULM 1973) und von fossilen Turbiditen (MUTTI & RICCI LUCCHI 1975) beschrieben. In den «distalen» Bereichen der Beckenflanken treten schliesslich sandfreie, laminierte Warvensedimente auf (Fig. 9, BK 83).

4. Schlussfolgerungen

Die morphologische Entwicklung und die Sedimentbildung im Brienzerseebekken werden grossräumig fast ausschliesslich von den zwei grossen Zuflüssen, Aare und Lütschine, bestimmt. Diese Flüsse bauen ihre Deltakomplexe weit in den See vor und verbreiten ihre Sedimentfracht über die gesamte Seefläche.

Die groben Anteile des von den Flüssen bereitgestellten Sedimentmaterials werden dabei longitudinal, auf kürzestem Weg, dem Seebodenrelief entlang in ihre

Sedimentationsgebiete transportiert (Fig. 7); bei dieser morphologieabhängigen Transportart bleiben Hochzonen, wie z. B. die Beckenflanken oder die Uferplattform bei Iseltwald (Fig. 2A), immer sandfrei.

Die Verfrachtung der Feinfraktionen der Flussedimente (Fraktionen $<0{,}063$ mm) erfolgt dagegen in Form von Suspensionswolken innerhalb der Wassermasse selbst. Entsprechend zeigt die Karbonatverteilung (Fig. 8), dass karbonatreiches Lütschine-Material dem S-Ufer folgend weit nach E, karbonatärmeres Sedimentmaterial der Aare, abgedrängt an das N-Ufer, dagegen weit nach W gelangt; damit wird die Beobachtung von HOFER (1952) und NYDEGGER (1967) bestätigt, dass im Brienzersee eine vertikale, linksrotierende Strömungswalze besteht, die, angetrieben durch die an den beiden Seenden einströmenden Wassermassen, hauptverantwortlich ist für die Wasserbewegungen und die Verteilung der suspendierten Feststoffpartikel.

Auf Grund früherer Untersuchungen (STURM & MATTER 1972*a*, STURM 1975) sind daher auch im Brienzersee morphologieabhängige «turbidity currents» und morphologieunabhängige «undercurrents» die wichtigsten Transport- und Umlagerungsmechanismen. Ihre Geschwindigkeit, Kompetenz und regionale Ausdehnung wird einerseits von der Grösse der Wasser- und Feststoffführung von Aare und Lütschine, andrerseits von limnologischen Parametern (Schichtung/Temperatur des Wasserkörpers, Tiefe/Turbulenz der Thermokline etc.) bestimmt (vgl. NYDEGGER 1967, LAMBERT et al. 1976).

Nach den bisherigen Untersuchungen der Ablagerungsverhältnisse im Brienzersee, Thunersee und Bielersee lassen sich mächtige Sedimentakkumulationen in einem Seebecken nur in Deltabereichen bzw. in *den* Regionen des Profundals erwarten, die von «turbidity currents» erreichbar sind. In Bereichen morphologischer Hochzonen (Uferbänken, Beckenflanken, Schwellen etc.), wo die Sedimentation nur aus «undercurrents» heraus erfolgen kann, werden dagegen die kleinsten Sedimentzuwachsraten zu finden sein; gleichzeitig sind hier die ältesten Ablagerungen eines Beckens der Probenentnahme am leichtesten zugänglich.

LITERATURVERZEICHNIS

BECK, P. (1934): *Thuner- und Brienzersee.* - Geol. Führer der Schweiz 1934, Fasc. VIII, Exk. Nr. 39B, 584-592.

Eidg. Amt für Wasserwirtschaft (1939): *Deltaaufnahmen des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft.* - Mitt. EAW *34.*

EPPER, H. (1910): *Versuche über die Schlammablagerung im Brienzersee.* - Verh. schweiz. natf. Ges. *93/2*, 75-76.

FERRAZZINI, B. (1974): *Geologische Untersuchungen in der Wildhorn-Decke südlich des Brienzersees.* - Unveröff. Lizentiatsarb. phil.-natw. Fak. Univ. Bern.

FLÜCK, H. (1926): *Beiträge zur Kenntnis des Phytoplanktons des Brienzersees.* - Aarau.

FUNK, F. (1968): *Fische und Fischerei im Brienzer- und Thunersee.* - Jb. Thuner- u. Brienzersee *1968*, 51-68.

GÜNZLER-SEIFERT, H. (1934): *Interlaken–Schynige Platte–Grindelwald.* - Geol. Führer der Schweiz 1934, Fasc. IX, Exk. Nr. 47, 647-656.

HOFER, F. (1952): *Über die Energieverhältnisse des Brienzersees.* - Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol. *7.*

HOFSTEN, N. v. (1911): *Zur Kenntnis der Tiefenfauna des Brienzer- und des Thunersees.* - Stuttgart.

HOUBOLT, J.J.H.C. & JONKER, J.B.M. (1968): *Recent sediments in the eastern part of the Lake of Geneva (Lac Léman).* - Geol. en Mijnb. *47/2*, 131-148.

LAMBERT, A.M., KELTS, K.R., & MARSHALL, N.F. (1976): *Measurements of density underflows from Walensee, Switzerland.* - Sedimentology *23/1*, 87-105.

MATTER, A., DESSOLIN, D., STURM, M. & SÜSSTRUNK, A.E. (1973): *Reflexionsseismische Untersuchung des Brienzersees.* - Eclogae geol. Helv. *66/1*, 71-82.

MUTTI, E. & RICCI LUCCHI, F. (1975): *Turbidite facies and facies associations.* - 9. int. Congr. Sedimentol. Nice, Field Guide A11, 21-37.

NELSON, C.H. & Kulm, V. (1973): *Submarine fans and channels.* In: MIDDLETON, G.V. & BOUMA, A.H.: *Turbidites and deep water sedimentation.* - Soc. econ. Paleont. Mineral., Pacific Sect. (Short Course, Anaheim 1973), 39-78.

NIKLAUS, M. (1968): *Wildbäche und Lawinen am rechten Brienzerseeufer.* - Jb. Thuner- u. Brienzersee *1968*, 23-36.

NORMARK, W.R. (1970): *Growth pattern of deep-sea fans.* - Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol. *54/11*, 2170-2195.

NYDEGGER, P. (1957): *Vergleichende limnologische Untersuchungen an sieben Schweizerseen.* - Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol. *9*.

— (1967): *Untersuchungen über Feinstofftransport in Flüssen und Seen, über Entstehung von Trübungshorizonten und zuflussbedingten Strömungen im Brienzersee und in einigen Vergleichsseen.* - Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol. *16*.

STEIGER, H.v. (1896): *Der Ausbruch des Lammbaches vom 31. Mai 1896.* - Mitt. natf. Ges. Bern *1896*, 265-275.

STURM, M. (1975): *Depositional and erosional sedimentary features in a turbidity current controlled basin (Lake Brienz).* - 9. int. Congr. Sedimentol. Nice *5/2*, 385-390.

STURM, M. & MATTER, A. (1972a): *Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee.* - Eclogae geol. Helv. *65/3*, 563-590.

— (1972b): *Geologisch-sedimentologische Untersuchungen im Thuner- und Brienzersee.* - Jb. Thuner- u. Brienzersee *1972*, 52-72.