

# Sedimentologische Untersuchungen in den grossen Berner Seen : Brienzer-, Thuner- und Bielersee

Autor(en): **Matter, A. / Sturm, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **39 (1982)**

PDF erstellt am: **14.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-318473>

## **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.

A. Matter<sup>1</sup> und M. Sturm<sup>2</sup>

## Sedimentologische Untersuchungen in den grossen Berner Seen: Brienzer-, Thuner- und Bielersee<sup>3</sup>

Nach einem Vortrag gehalten von A. Matter am 28. Oktober 1981  
vor der Natf. Ges. Bern

### 1. EINLEITUNG

Die Schweiz verfügt über zahlreiche natürliche Seen, deren Gesamtfläche über 1300 km<sup>2</sup> ausmacht. Der überwiegende Teil der von den Flüssen in diese Seebecken eingebrachten Feststoffe, ein Teil der gelösten Substanzen, sowie der Schadstoffe, wird zurückbehalten und abgelagert. Durch Untersuchung der Sedimentationsprozesse in Seen können Verteilungsmuster der Feststoffe, durch Analyse von Sedimentkernen langfristige Entwicklungen der Auffüllung, Umweltbelastung, klimatischen Entwicklung der Region, Erosionsrate usw. ermittelt werden.

Im Folgenden soll versucht werden, eine Vielzahl von Beobachtungen in den grossen Berner Seen in einen kausalen Zusammenhang zu bringen, und dabei die übergeordneten Mechanismen und deren Zusammenspiel zu ermitteln. Auf diese Weise erarbeitete Sedimentationsmodelle ermöglichen eine generalisierende Betrachtung der Sedimentationsprozesse und Prognosen der längerfristigen Entwicklung der Seen.

### 2. UNTERSUCHUNGSMETHODEN

In den Berner Seen wurden mit Airgun-Seismik (Signalfrequenz 0,1–2 kHz) die Lage des Felsuntergrundes bzw. die Gesamtmächtigkeit der Lockersedimente, mit Sedimentechographie (Signalfrequenz 3,5–5 kHz) die interne Sedimentstruktur und mit Echographie (Signalfrequenz > 30 kHz) die Seebodenmorphologie in den drei Seebecken bestimmt.

Von einer Arbeitsplattform aus wurden bis zu 10 m lange Kolbenlotkerne (Durchmesser 63 bzw. 100 mm) und 25 cm lange Kastengreiferkerne (100 x 200 mm) für die

Adressen der Autoren:

1 Geologisches Institut, Universität Bern, 3012 Bern

2 EAWAG-ETH, 8600 Dübendorf

3 Mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Gesuch Nr. 2.130.78).

sedimentologische Laborbearbeitung entnommen. Nach dem Aufschneiden, Photographieren, und der faziellen Analyse der Kerne wurde an den Sedimenten Gesamtkarbonatgehalt, Calcit/Dolomit-Verhältnis, Schwermineral- und Tonmineralzusammensetzung und Korngrössenverteilung bestimmt. An ausgewählten Proben erfolgten die Bestimmung von org. Material (Glühverlust) und radiographische Analysen. Pollenanalysen der Sedimente und  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen von Holzresten wurden für die Datierung durchgeführt.

Mit einem Transmissionsgerät mit angeschlossenem Thermistor erfolgte die kontinuierliche Aufnahme von Tiefenprofilen für die Bestimmung der Schwebstoff- und Temperaturverteilung in den Seen. Ausserdem wurden für Schwebstoffuntersuchungen Wasserproben in den Zuflüssen und im See entnommen und Sedimentationsgefässe (Zylinder 10:1) in der Wassersäule ausgesetzt.

### 3. BRIENZER- UND THUNERSEE

#### 3.1 *Allgemeines (Entstehung, Morphologie)*

Brienzer- und Thunersee sind inneralpine bzw. randalpine Seen, deren Sedimentation durch klastisch-allochthone Feststoffzufuhr dominiert wird. Das bedeutet, dass der überwiegende Teil der im Seebecken abgelagerten Sedimente durch die verschiedenen Zuflüsse in den See gebracht wird und nicht autochthon, im See selbst gebildet wird.

Obwohl in den letzten 100 Jahren die Zuflüsse der beiden Seen laufend verbaut wurden (Stauseen, Hochwasserverbauungen usw.), sind auch heute noch die von diesen Zuflüssen in die Seen transportierten Feststoffmengen beträchtlich. Verteilungsmechanismen und Ablagerungsprozesse klastischer Sedimente lassen sich daher im Brienzer- und Thunersee besonders gut studieren.

Die Entstehung der beiden Seebecken dürfte auf die glaziale Ausformung einer prä- bzw. interglazialen Talfolge zurückgehen. Im Falle des Brienzersees folgt diese der allgemeinen Streichrichtung der in nordvergente Falten gelegten helvetischen Wildhorndecke, deren Gesteine den geologischen Rahmen des Sees bilden. Der Thunersee ist dagegen quer zum Streichen verschiedener tektonischer Einheiten angelegt (Helvetikum, Ultrahelvetikum, Subalpiner Flysch, Molasse, Klippendecke), deren Gesteine für den heterogenen geologischen Aufbau des Seeufers verantwortlich sind.

Beiden Seen gemeinsam ist ihre heutige grosse Wassertiefe (Brienzersee: 261 m, Thunersee: 215 m) und die Ausbildung von steilen Uferflanken, die gegen die Seemitte in grosse Profundalebenen übergehen. Mit Hilfe reflexionsseismischer Messungen konnte nachgewiesen werden, dass seit der Entstehung der Seebecken im Brienzersee etwa 500 m und im Thunersee etwa 300 m unverfestigte Sedimente abgelagert worden sind.

Damit liegt der Felssockel des Brienzersee-Beckens etwa 200 m, der des Thunersee-Beckens etwa 50 m unter dem heutigen Meeresspiegel. Als Ursachen für diese Über-tiefungen ist glaziale, aber auch fluviatile Erosionstätigkeit anzunehmen.

Die Erforschung der gesamten Mächtigkeit der in den beiden Seebecken abgelager-ten, unverfestigten Sedimentmassen würde den Einsatz von schweren Bohrgeräten in der Mitte der Seen, sowie die Bereitstellung beträchtlicher finanzieller und personeller Mittel erfordern. Mit den relativ wenig aufwendigen Probenahmegeräten, wie sie bei unseren Untersuchungen verwendet wurden, lassen sich zwar nur die obersten 10 m der gewaltigen Schuttmassen beproben. Sie erlauben jedoch, die für diese Seen typi-schen Sedimentationsvorgänge zu erfassen und zu interpretieren.

### 3.2 *Der Brienzersee*

Wie bereits erwähnt, wird der Brienzersee hauptsächlich durch die Feststoffe seiner Zuflüsse beeinflusst. Wie stark dabei die beiden Hauptzuflüsse Aare (am E-Ende) und Lütschine (am W-Ende) das Sedimentationsgeschehen im See dominieren, zeigt sich bereits in der Morphologie des heutigen Seegrundes. Das relativ einfach gegliederte Becken mit steilen lateralen Flanken weist jeweils vor den Mündungen der beiden Zuflüsse deutliche Delten auf, die weit in Richtung Seemitte vorgebaut werden. Be-dingt durch die Erosionskraft der durch Flusshochwässer ausgelösten grundberühren-den Trübestrome (turbidity currents) entstanden bis zu 30 m tiefe und 200 m breite Erosionsrinnen (delta channels). Durch Trübestrome, also Strömungen mit hoher Par-tikelkonzentration, wird aber nicht nur der eigentliche Deltabereich beeinflusst, son-dern in klastisch-allochthonen Seen die Sedimentation im gesamten Seebecken be-stimmt. Ein Beispiel für einen grundberührenden Trübestrom soll im folgenden be-schrieben werden.

#### 3.21 *Der Ausbruch des Lammbaches 1896*

Am 31. Mai 1896 ereignete sich im Einzugsgebiet des Lammbaches bei Brienz eine grosse Rutschung, die einen Murgang auslöste, der nicht nur weite Teile des Kienholz und der anschliessenden Aare-Schwemmlandschaft zum Teil meterhoch überlagerte, sondern auch den oberen Teil des Aare-Deltas im See mit Geröllschutt zudeckte. Diese plötzliche Auflast auf den wassergesättigten, relativ instabilen Deltasedimenten führte zum Abrutschen eines Teils der Deltafront. Durch Beimischung von Wasser bildete sich ein grundberührender Trübestrom, der über den Deltahang abwärts floss und sich in der tiefen Profundalebene ausbreitete. Die mitgeführten Feststoffe wurden als Turbidit (gradierte Ablagerung der mitgeführten Teilchen eines Trübestromes) im Seebecken abgelagert (Abb. 1).

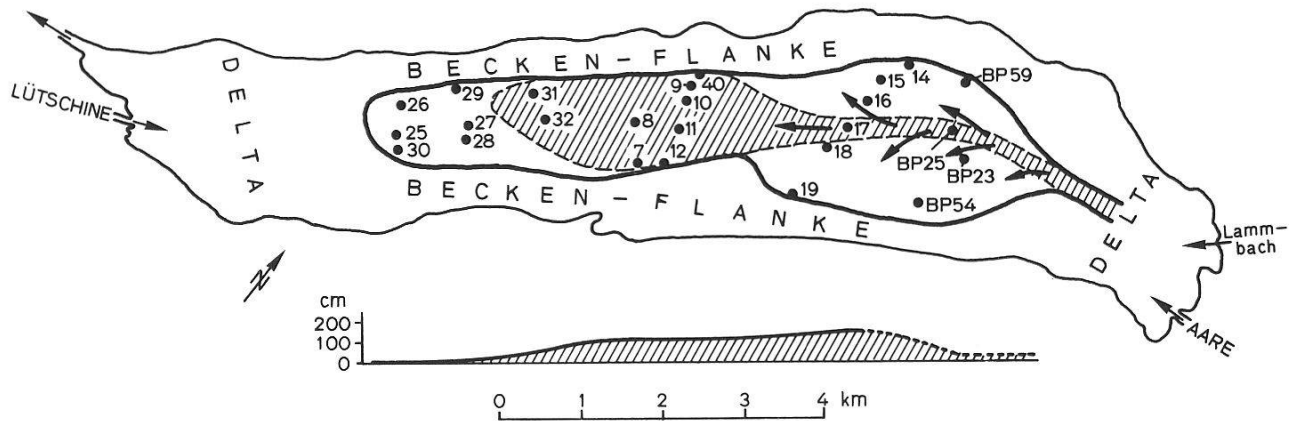


Abb. 1: Brienzersee. Ausdehnung und Längsprofil (unten) des vom Lamm-bach-Ausbruch verursachten Turbidites. Schraffiert ist die Hauptmasse des Turbidites mit festgestellter Erosionsbasis. Deutlich ist die seitliche Begrenzung durch die steilen Beckenflanken erkennbar (nach STURM und MATTER, 1978, Figur 9).

Die Ausdehnung des Turbidites beträgt etwa 11 km<sup>2</sup>, das sind nahezu 37 % der gesamten Seefläche. Mit einem Gesamtvolumen von 5 Mio. m<sup>3</sup> und einer Masse von etwa 8 Mio. Tonnen entspricht dieser Turbidit der 30-fachen Schwebstoffmenge, die jährlich in den Brienzersee gelangt. Allerdings handelt es sich beim schliesslich abgelagerten Turbiditsediment nicht nur um abgerutschtes Material des Aaredeltas. Durch Erosion an der Basis des turbulent fliessenden Trübestromes, der noch 6 km vom Delta entfernt eine Geschwindigkeit von etwa 40 cm · sec<sup>-1</sup> gehabt haben muss, wurden bereits abgelagerte Sedimente resuspendiert (bis zu einer Mächtigkeit von 40 cm), im Trübestrom mittransportiert und schliesslich wieder abgelagert.

Turbidite dieses Ausmasses haben in der geologischen Vergangenheit wesentlich zur Akkumulation und Umlagerung der Ablagerungen im Brienzersee beigetragen.

### 3.22 Die Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes

Ein differenzierteres Bild der Sedimentverteilung im Brienzersee liefert die Kartierung des Gesamtkarbonatgehaltes der Oberflächensedimente (Abb. 2). Bedingt durch die unterschiedliche Gesteinszusammensetzung in den Einzugsgebieten der Aare (Kristallin, wenige karbonatische Gesteine) und der Lütschine (hauptsächlich Karbonatgesteine) weist die Feststoff-Fracht der beiden Flüsse deutliche Unterschiede im Karbonatgehalt auf. Mit 33 % haben die Feststoffe der Lütschine einen rund 3 mal höheren Karbonatgehalt als die Aaresedimente. Entsprechend zeigt die Verteilungskarte der Oberflächensedimente eine allmähliche Abnahme des Gesamtkarbonatgehaltes von W nach E. Dabei ist auffällig, dass, im Gegensatz zur Turbiditfazies der grundberührenden

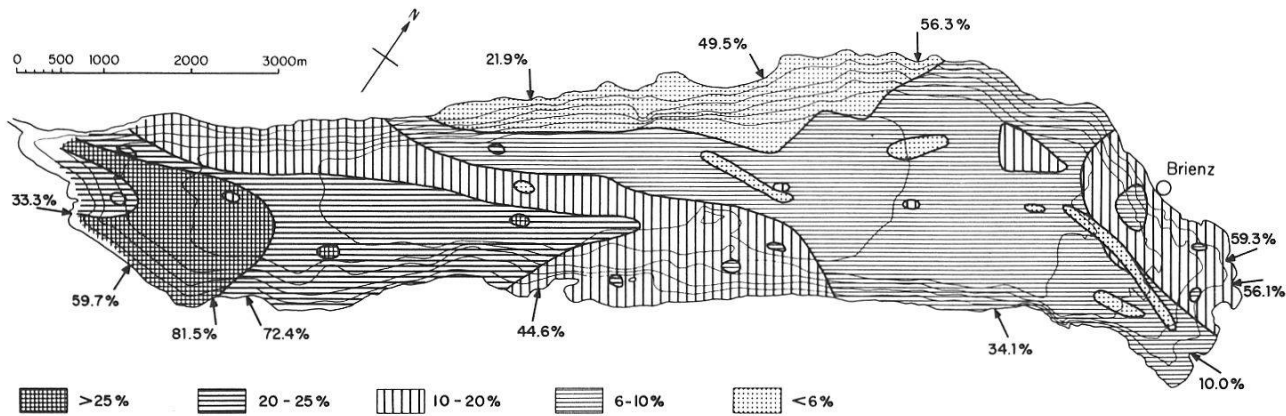


Abb. 2: Brinzersee. Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes der Oberflächen- und Zufluss-Sedimente. Lütschine (mit 33,3 %) im Westen und Aare (mit 10,0 %) beherrschen die Sedimentation im See (aus STURM 1976, Figur 8).

Trübestrome, die Übergänge unabhängig von der Morphologie des Seebeckens verlaufen, wobei höhere Karbonatwerte entlang des S-Ufers, niedrigere Werte entlang des N-Ufers auftreten. Die übrigen Zuflüsse, mit Ausnahme von Lamm bach und Glissibach bei Brienz, können dieses Verteilungsbild trotz der vorwiegend hohen Karbonatgehalte nicht beeinflussen.

### 3.23 Das Sedimentationsmodell

Die Ablagerung von Turbiditen, z. B. vom Typ der beschriebenen Lamm bach-Rutschung und die Verteilung der Oberflächensedimente, wie sie sich in der Karte des Gesamtkarbonatgehaltes dokumentiert, wird durch unterschiedliche Sedimentationsmechanismen ausgelöst, die mit dem nachfolgenden Sedimentationsmodell beschrieben werden können (Abb. 3).

Den unterschiedlichen Ablagerungen – Morphologie-abhängige Turbidite und Morphologie-unabhängige Sedimente – ist zunächst gemeinsam, dass die sich bildenden Feststoffe durch Zuflüsse des Sees herantransportiert werden. Erreicht der sedimentbeladene Fluss den See, werden Geschiebe und grobe Partikel in unmittelbarer Mündungsnähe im oberen Teil des Deltas abgelagert. Der Grosse Rest der Schwebstoffe wird dagegen je nach Wasserführung, Temperatur und Partikelkonzentration des Zuflusses in verschiedene Tiefenbereiche des Sees eingeschichtet und durch seeinterne Strömungen verteilt. Die Einschichtung erfolgt entsprechend der unterschiedlichen Dichte der Suspension in den Bereichen von Oberflächen-, Einschichtungs- oder Bodenströmungen.

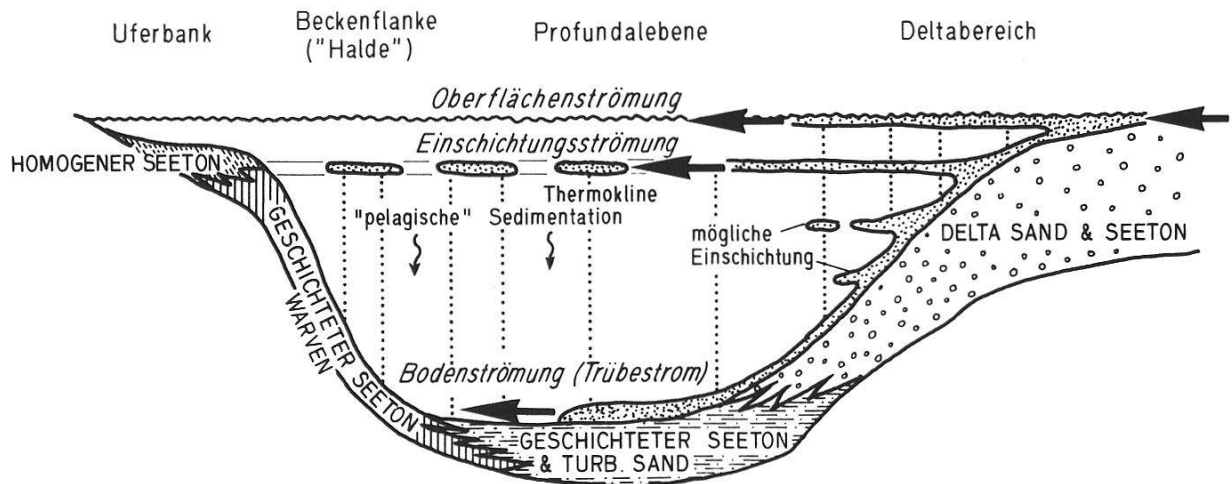


Abb. 3: Sedimentationsmodell eines temperaturschichteten Sees mit allochthon-klastischer Sedimentation (nach STURM und MATTER 1978, Figur 10).

Zufluss- und windinduzierte Oberflächen- und Einschichtungsströmungen verteilen die Feinfraktion der allochthonen Schwebstoffe im oberen Teil der Wassersäule (Epi- und Metalimnion). Auch wenn ein Teil dieser Schwebstoffe unmittelbar nach seinem Eintrag in den See aussedimentiert, wird ihr grösster Teil während der Sommerstagnation in der Thermokline eingeschichtet und erst zu Beginn der Zirkulationsphase, nach dem Zusammenbrechen der Temperaturschichtung (im Spätherbst), abgelagert. Während Hochwasser, ausserordentlichen Murgängen oder Rutschungen, verteilen Bodenströmungen (Trübestrome) die suspendierten Feststoffe auf dem Seeboden. Die Fliessgeschwindigkeiten dieser bodenberührenden Trübestrome sind wesentlich höher, dafür aber viel kurzlebiger als diejenigen der Oberflächen-, bzw. Einschichtungsströmungen. Daher können auch grobkörnige Feststoffe sehr rasch (innerhalb weniger Stunden) von ihrer Quelle (Delta, Zufluss) her in den Profundalbereich des Sees transportiert und dort abgelagert werden.

Die einmal im See abgelagerten Sedimente lassen sich entsprechend den dargestellten Strömungs- und Verteilungsmechanismen ganz bestimmten Faziestypen zuordnen. Grobkörnige Ablagerungen treten als Delta-, bzw. Turbiditsande nur in den Bereichen des Sees auf, die von grundberührenden Trübestrome erreicht werden können. Regelmässig geschichtete Seetone (Warven) sind dagegen ein Anzeichen dafür, dass ihre Ablagerung, unbeeinflusst von sandführenden Trübestromen, aber unterhalb der Thermokline erfolgt ist; oberhalb der Sprungschicht würden nur ungeschichtete, homogene Seetone auftreten.

Das dargestellte Modell kann sowohl bei den Ablagerungen des Brienzer- als auch jenen des Thunersees angewendet werden. Die Sedimentation im Bielersee kann wegen der zusätzlichen autochthonen chemisch-biologischen Sedimentbildungsvorgänge mit diesem Modell nicht beschrieben werden.

### 3.3 *Der Thunersee*

Auch wenn sich die Sedimentationsverhältnisse im Thunersee wegen der Komplexität von Beckenmorphologie und Ufergeologie weniger modellhaft darstellen lassen als im Brienzersee, so erlaubt die Verschiedenheit der Zuflüsse und ihrer Sedimentfracht doch eine differenzierte Darstellung der Sedimentverteilungsmechanismen im See. Der Thunersee besitzt mit der Kander nur einen einzigen Zufluss, der in der Lage ist, ein Delta in den See zu schütten. Die übrigen Zuflüsse bauen nur steile Schuttfächer an den Uferflanken auf, oder bringen trotz hoher Wasserführung, keine Feststoffe in den See (Aare).

#### 3.31 *Die Schwermineralverteilung*

Als Schwermineralien werden solche Mineralien bezeichnet, deren Dichte  $> 2,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  beträgt. Sie sind wichtige Hilfsmittel in der Sedimentologie, um Sedimente heterogener geologischer Herkunft voneinander abzugrenzen und ihre Ausbreitung in einem Ablagerungsbecken zu bestimmen.

Ausgehend vom heterogenen geologischen Aufbau des Einzugsgebietes können in den Ablagerungen des Thunersees 4 Schwermineralprovinzen ausgeschieden werden (Abb. 4). Sie zeigen, dass allochthon-klastische Flussfracht auch im Thunersee für weitaus den grössten Teil der Sedimentation verantwortlich ist. Ferner dokumentieren sie, dass die Kander heute den dominierenden Feststofflieferanten für den See darstellt. Obwohl auf diesen Zufluss nicht einmal 50 % der Gesamtwasserzufuhr entfallen, übernimmt er etwa 85 % der Sedimentzufuhr des Sees. Die Verteilung der Kander-Sedimentfracht erfolgt dabei hauptsächlich durch grundberührende Trübestrome, die das Sediment vom Kanderdelta in die tiefe Profundalebene verlagern. Bereiche des Seebodens, die von diesen Bodenströmungen nicht erreicht werden, können lokal von den Sedimenten kleinerer Zuflüsse beeinflusst werden.

#### 3.32 *Die Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes*

Der dominierende Einfluss der Kander widerspiegelt sich auch im Verteilungsbild der Gesamtkarbonatwerte (Abb. 5). Karbonatreiches Material der Kander beherrscht den grössten Teil des westlichen Seebeckens und nimmt nur allmählich gegen E hin ab. Die Übergänge erfolgen dabei – ähnlich wie im Brienzersee, allerdings nicht so ausgeprägt – oft unabhängig von der Beckenmorphologie. Dies ist ein Hinweis auf die Verteilung der Schwebstoffe durch morphologieunabhängige Oberflächen- und Einschichtungsströmungen. Wie bei der Schwermineralverteilung ermöglicht das die lokale Beeinflussung der Seeablagerungen durch Material kleinerer Zuflüsse.

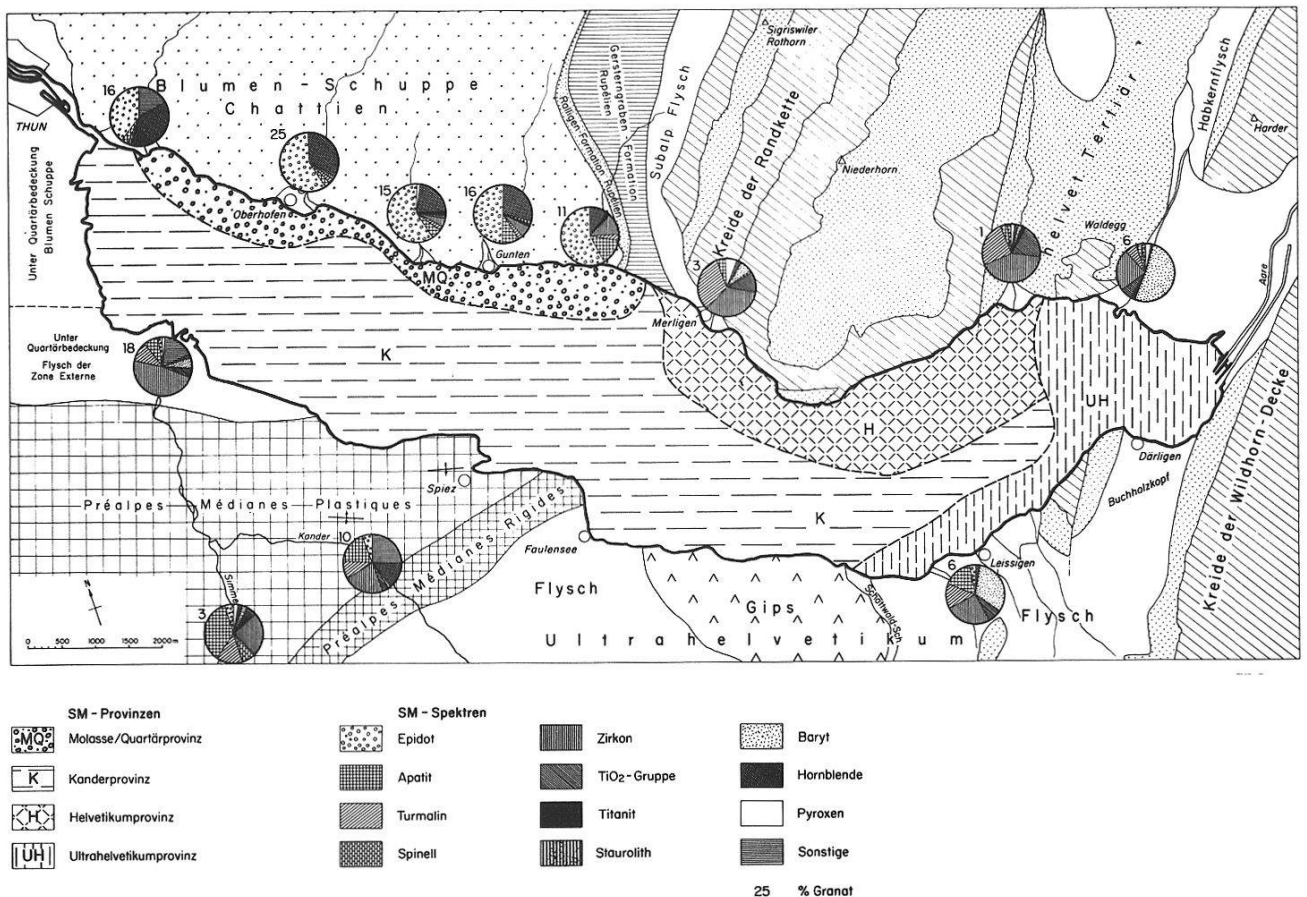


Abb. 4: Thunersee. Schwermineralprovinzen der Oberflächensedimente, Schwermineralverteilung der Zufluss-Sedimente und geologisch-tektonischer Rahmen des Seebeckens (aus STURM und MATTER 1972, Figur 4).

Bedingt durch den geringeren Flächenanteil von Kristallinegebieten im Einzugsbereich des Thunersees sind die Gesamtkarbonatwerte der Thunerseesedimente deutlich höher als diejenigen der Brienerseeablagerungen.

### 3.33 Die Einleitung der Kander

Die Kander ist heute der bedeutendste Sediment- und Wasserzubringer des Thunersees. Sie gehört jedoch nicht zu den natürlichen Zuflüssen des Sees, sondern wurde erst am 18. Mai 1714 in den Thunersee eingeleitet. Obwohl eine Gesamtableitung des Flusses ursprünglich nicht vorgesehen war – geplant war nur ein Hochwasserüberlauf – hat sich diese Einleitung aus heutiger Sicht als ausgezeichnete Sanierungsmassnahme für den Thunersee herausgestellt. Das ehemals schlecht durchlüftete, nährstoffreiche untere Seebecken mit anaeroben Sedimenten meist autochthonen Ursprungs wurde

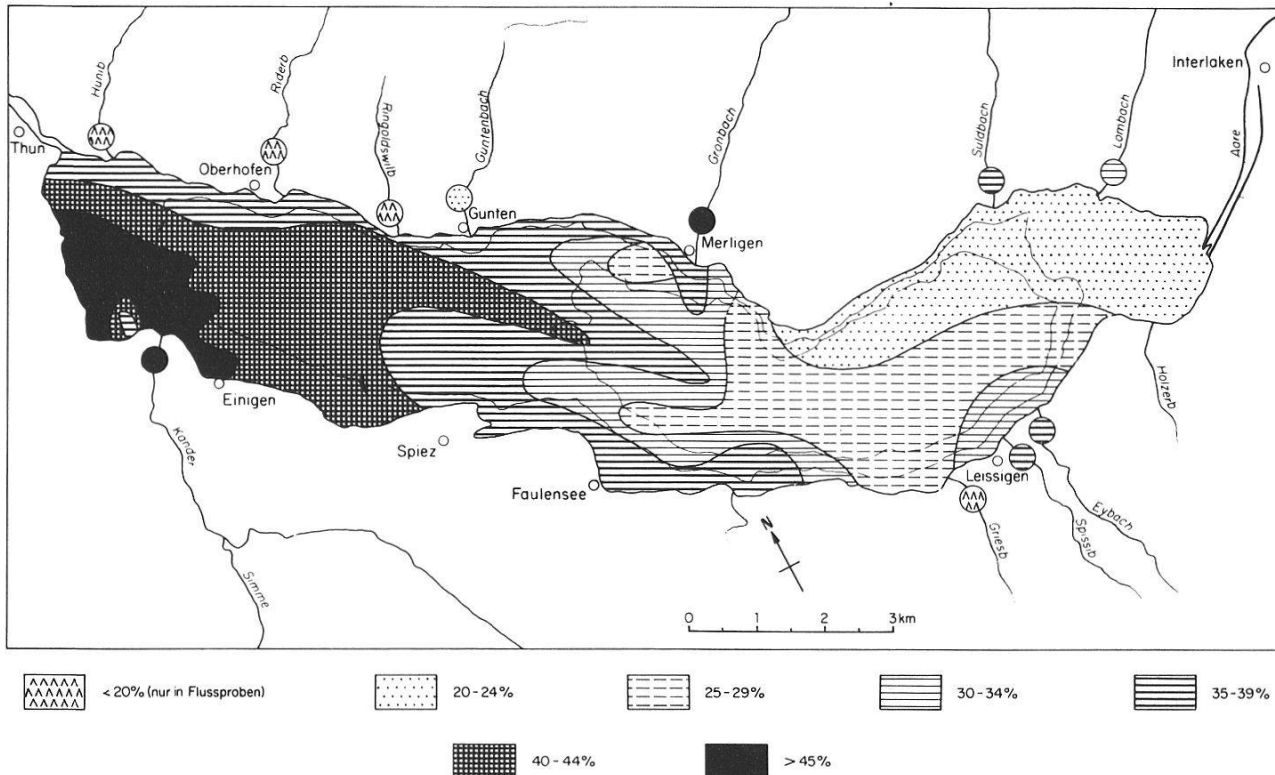
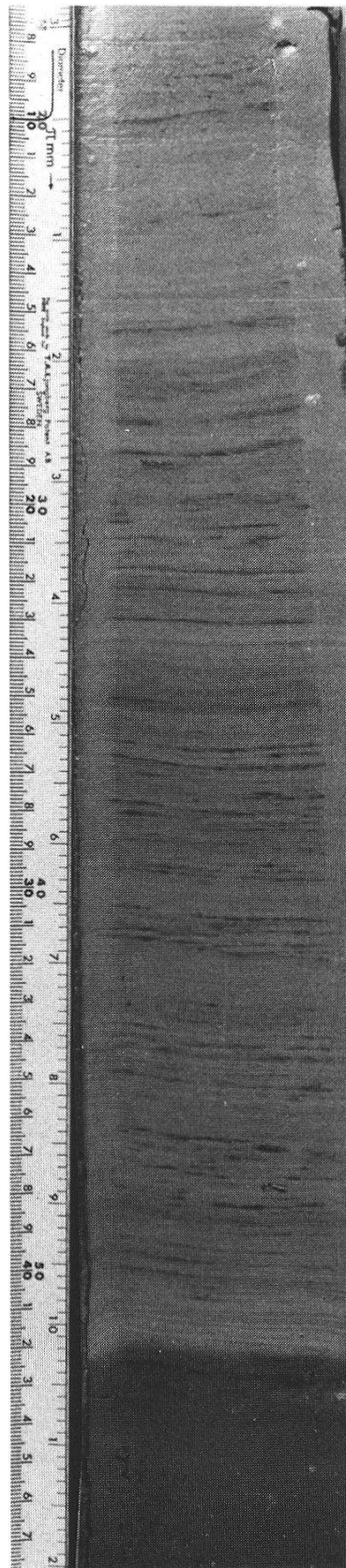


Abb. 5: Thunersee. Verteilung des Gesamtkarbonatgehaltes der Oberflächen- und Zufluss-Sedimente (aus STURM und MATTER 1972, Figur 5).

durch die unbeabsichtigte, schlagartige Erhöhung der Wasser- und Sedimentzufuhr zu einem gut durchmischten, oligotrophen Seebecken mit vorwiegend allochthon-klastischer Sedimentation umgewandelt. Diese Entwicklung ist sehr deutlich in den Seesedimenten dokumentiert, wobei FeS-reiche, schwarze, homogene Sedimente vor der Kandereinleitung von hellgrauen, fein- bis grobgeschichteten, zum Teil turbiditischen Kandersedimenten überlagert werden (Abb. 6). Niedrigen Gesamtkarbonatgehalten (< 15 %), höheren Werten an org. Material (> 1 %), einer sehr hohen Anzahl an Pollen (52 000 bis 103 000 Pollen pro g) und kleinen Sedimentationsraten (< 0,5 mm pro Jahr) in den Sedimenten, die vor 1714 abgelagert wurden, stehen hohe Karbonatwerte (> 40 %), sehr kleine Werte org. Materials (< 0,5 %) mit kleineren Pollenzahlen (4000 bis 12 000 Pollen pro g) und höheren Sedimentationsraten (> 2 mm pro Jahr) in den Ablagerungen nach der Kandereinleitung gegenüber.

Subaerisch führte die Kandereinleitung auf der Uferbank bei Einigen zum Aufbau eines Deltas von etwa 850 000 m<sup>2</sup> Fläche, das sich mit einem geschätzten Volumen von 60 Mio. m<sup>3</sup> in das Seebecken hinab ausdehnt. Eine Vergrößerung des Deltas, und damit eine weitere Verlandung des unteren Seebeckens, wird durch den 1913 eingesetzten, zum Teil sehr intensiven Kiesabbau, verhindert.



— Kandereinleitung 1714

Abb. 6: Oberste 50 cm des Bohrkerns Nr. 17 von der Uferplattform vor Faulensee mit den seit der Einleitung der Kander im Jahre 1714 abgelagerten Jahresschichten (laminirt) und den älteren dunkelgrauen Faulschlammen (Lokalität vgl. STURM und MATTER 1972, Figur 1).

## 4. DER BIELERSEE

### 4.1 Allgemeines

Der Bielersee, zweitgrösster der Jurafuss-Seen, unterscheidet sich sowohl bezüglich geologischer Lage, geringerer Tiefe, grösseren Einzugsgebietes und kürzerer theoretischer Aufenthaltszeit des Wassers von Thuner- und Brienersee (Tab. 1). Analog zu den Verhältnissen im Thunersee bringt ein einzelner Zufluss, die im Jahre 1874 anlässlich der ersten Juragewässerkorrektion künstlich in den See abgeleitete Aare, den grössten Teil, nämlich etwa 80–90 % des Wasserzuflusses, der gelösten Stoffe und allochthonen Feststoffe, in den See.

Tabelle 1: Physikalische Parameter der untersuchten Seen

|                                                        | Brienersee | Thunersee | Bielersee |
|--------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|
| Max. Länge (km)                                        | 14         | 17,7      | 14,8      |
| Max. Breite (km)                                       | 2,5        | 3,6       | 4,2       |
| Max. Tiefe (m)                                         | 261        | 215       | 74        |
| Mittl. Tiefe (m)                                       | 174        | 137       | 31        |
| Fläche (km <sup>2</sup> )                              | 30         | 48        | 40        |
| Volumen (km <sup>3</sup> )                             | 5,2        | 6,6       | 1,2       |
| Tot. Wasserabfluss (m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ) | 61         | 113       | 241       |
| Theor. Aufenthaltszeit (y)                             | 2,8        | 1,9       | 0,16      |
| Einzugsgebiet (km <sup>2</sup> )                       | 1140       | 2470      | 8305      |
| Verh. Einzugsgeb./Seefläche                            | 38         | 51        | 208       |

Infolge seiner verhältnismässig geringen mittleren Wassertiefe erwärmt sich das Epilimnion im Sommer relativ rasch, das Oberflächenwasser wird kalkübersättigt und es fällt Kalzit aus. Der Bielersee kann deshalb als Beispiel eines Sees mit gemischter klastisch-allochthoner und karbonatisch-autochthoner Sedimentation dienen.

Durch die St. Petersinsel wird der See in drei Teilbecken gegliedert, die hydrologisch und in bezug auf die Sedimentation eine gewisse Eigenständigkeit aufweisen. Mittels einer Anzahl von Sedimentationsgefässen, die an stationären Bojen in der Mitte eines jeden Teilbeckens auf verschiedenen Tiefen ausgesetzt und monatlich beprobt wurden, gelang es, die Sedimentationsprozesse weitgehend aufzudecken.

### 4.2 Oberflächensedimente

Die Karte des Gesamtkarbonatgehalts widerspiegelt die unterschiedlichen Sedimenttypen des Seebodens (Abb. 7). Die karbonatarmen Sande am Südufer und um die St. Petersinsel stellen Erosionsprodukte der anstehenden Molasse und Quartärsedi-

Verteilung des GESAMTKARBONATGEHALTES  
der Oberflächensedimente des Bielersees

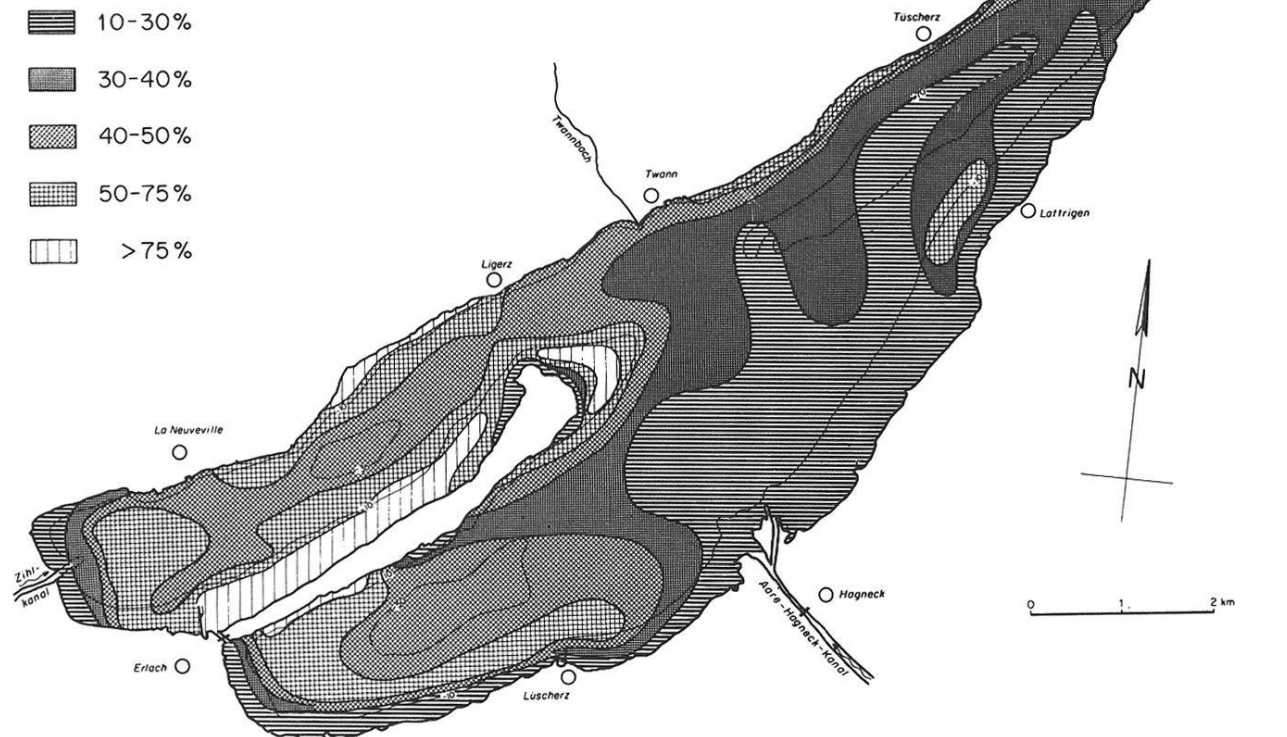


Abb. 7: Verteilung des Gesamtkarbonat-Gehalts der Oberflächensedimente des Bielersees (aus WEISS 1979, Figur 3).

mente dar. Dagegen handelt es sich bei den kalkreichen Ablagerungen des Nordufers und der breiten Uferplattform nördlich des Heidenweges um autochthone, d. h. im See selbst gebildete laminierte Kalkablagerungen ("Seekreide"). Diese bestehen aus Organismenschalen, verkalkten Teilen und Umkrustungen submerser Pflanzen, sowie bis einige Mikron grossen formlosen, seltener perfekt rhomboedrischen Kalkzitkristallen.

Zungenförmig schieben sich kalkarme Sedimente der Aare weit ins Profundal des Tüschertzer Beckens vor, während – besonders deutlich im Neuenstädter Becken – die Abnahme des Kalkgehalts mit der Wassertiefe erkennbar ist. Die Sedimente des Profundals sind dunkelgraue bis schwarze laminierte kalkige Faulschlamme.

#### 4.3 Sedimentationsmodell

Wie erwähnt, bestehen die Sedimente des Bielersees teilweise aus allochthonem, siliziklastischem Material, das von der Aare stammt. Kalzit wird zum Teil ebenfalls von der Aare geliefert, zum grösseren Teil jedoch autochthon im See selbst gebildet.

Das Ausmass der autochthonen Karbonatproduktion in den drei Teilbecken, sowie der detritischen Zufuhren, lässt sich auf Grund der in den Sedimentationsgefässen aufgefangenen Schwebstoffe bestimmen. So ist im Neuenstädter Becken die Karbonatbildung in Gramm pro m<sup>2</sup> und Tag doppelt so hoch wie im Becken von Tüscherz. Andererseits ist hier — da stärker von der Aare beeinflusst — eine viel höhere Sedimentationsrate von siliziklastischem Material (Quarz, Feldspat, Tonmineralien) festzustellen. Dies ist eine direkte Folge der starken zuflussbedingten, im Gegenuhrzeigersinn fliessenden Wasserströmungen im See; das Aarewasser fliesst dem Südufer entlang Richtung Biel ab, so dass die meisten mitgeführten Schwebstoffe im Tüscherzer Becken abgelagert werden und nur ein geringer Teil die beiden anderen Becken erreicht.

In diesen zwei Becken dominiert dagegen die autochthone Kalkproduktion, welche durch die Reaktion



beschrieben werden kann. Kalkfällung kann sowohl rein physikalisch durch Erhöhung der Seewassertemperatur, und damit Abnahme der Löslichkeit von CO<sub>2</sub>-Gas wie auch biologisch durch den mit der Photosynthese verbundenen Entzug von CO<sub>2</sub> erfolgen. Obwohl das Oberflächenwasser während des ganzen Sommers deutlich in bezug auf Kalzit übersättigt ist, erreicht die Kalkfällungsrate während der sogenannten "Klarwasserperiode" im Frühsommer ein Minimum. Daraus geht hervor, dass die Kalkfällung im Bielersee sowie in anderen ähnlichen Seen hauptsächlich biologisch bedingt ist.

Messungen der stabilen Sauerstoffisotopen führen jedoch zum Schluss, dass besonders im Frühjahr bei hoher Wasser- und Schwebstoffführung der Aare bis 50 % des Karbonats allochthonen Ursprungs sein kann. Ausserdem zeigen sie, dass die auf den Uferplattformen während des Sommers gebildete Seekreide durch Winterstürme resuspendiert und im Profundal abgelagert wird. Damit im Einklang steht die Beobachtung, dass die Seekreiden im Bielersee durch Erosion freigelegte ältere Ablagerungen sind und rezente Seekreide bislang nicht nachgewiesen werden konnte.

Die Sedimentation im Bielersee erfolgt nicht gleichmässig während des Jahres, sondern lässt drei Maxima erkennen. Das Maximum im Frühjahr hängt mit der hohen Wasser- und Schwebstoffführung der Aare bei Schneeschmelze zusammen. Das Maximum im Sommer ist auf die durch hohe Phytoplanktonblüte erzeugte Kalkfällung zurückzuführen, während ein Maximum im Spätherbst mit dem Abbau der Sprungschicht und der aus ihr aussedimentierenden Teilchen zusammenhängt.

### *Literatur*

- ASHLEY, G. M. (1975): Rhythmic sedimentation in glacial Lake Hitchcock, Mass.-Connect. In: Glaciofluvial and Glaciolacustrine Sedimentation (Eds. A. V. Jopling & B. C. McDonald), Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Miner., Tulsa, 23, 304–320.

- BECK, P. (1934): Thunersee und Brienzersee. Geol. Führer der Schweiz 1934, Fasc. VIII, Exk. Nr. 39B, 584–592
- (1954): Aus der Entstehungsgeschichte der Talfolge Thun-Interlaken-Luzern. Jb. Thuner- und Brienzersee 1954, 39–51
- BELL, H. S. (1942): Density currents as agents for transporting sediments. J. Geol. 50, 512–547
- BODMER, R., MATTER, A., SCHELLER E. und STURM M. (1973): Geologische, seismische und pollenanalytische Untersuchungen im Bodeli bei Interlaken. Mitt. Naturf. Ges. Bern, NF 30, 51–62
- CHRIST, P. (1942): Geologische Generalkarte der Schweiz 1:200 000, Blatt 6: Sion. Schweiz. Geol. Komm., Basel
- EAW (Eidg. Amt f. Wasserwirtschaft) (1939): Deltaaufnahmen. Mitt. 34 —
- FOREL, F. A. (1885): Les ravins sous-lacustre des fleuves glaciaires. Compte rendu hebdomadaire. Séance Acad. Sci., Paris, 101, 725–728
- GROSJEAN, G. (1962): Die Ableitung der Kander in den Thunersee vor 250 Jahren. Jb. Thuner- und Brienzersee 1962, 18–40
- KOMAR, P. D. (1971): Hydraulic jumps in turbidity currents. Bull. Geol. Soc. Amer. 82, 1477–1488
- KUENEN, P. H. (1951): Mechanics of varve formation and the action of turbidity currents. Geol. Fören. Förhandl. 73, 69–84
- KUENEN, P. H. und MIGLIORINI, C. I. (1950): Turbidity currents as a cause of graded bedding. J. Geol. 58, 91–127
- LAMBERT, A. M. (1978): Eintrag, Transport und Ablagerung von Feststoffen im Walensee. Eclogae geol. Helv. 71, 35–52
- MATTER, A., DESSOLIN, D., STURM, M. und SÜSSTRUNK, A. E. (1973): Reflexionsseismische Untersuchung des Brienzersees. Eclogae geol. Helv. 66, 71–82
- MATTER, A., SÜSSTRUNK, A. E., HINZ, K. und STURM, M. (1971): Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen im Thunersee. Eclogae geol. Helv. 64, 505–520
- MILLER, M. C. and KOMAR, P. D. (1977): The development of sediment threshold curves for unusual environments (Mars) and for inadequately studied materials (foram sands). Sedimentology 24, 709–721
- NIKLAUS, M. (1969): Die Kander und ihr Delta im Thunersee. Jb. Thuner- und Brienzersee 1969, 59–85
- NYDEGGER, P. (1967): Untersuchungen über den Feinstofftransport in Flüssen und Seen, über die Entstehung von Trübungshorizonten und zuflussbedingten Strömungen im Brienzersee und einiger Vergleichsseen. Beitr. Geol. Schweiz, Hydrologie 16, 92 S.
- NYDEGGER, P. (1976): Strömungen in Seen. Untersuchungen in situ und an nachgebildeten Modellseen. Beitr. Geol. Schweiz, kl. Mitt. 66, 142–177
- REINECK, H. E. (1963): Der Kastengreifer. Natur Mus. Frankfurt, 93, 102–108
- (1967): Ein Kolbenlot mit Plastik-Rohren. Senckenberg. leth. 48, 285–289
- SANTSCHI, P. (1975): Chemische Prozesse im Bielersee. Diss. Univ. Bern, 1975
- STEIGER, H. von (1896): Der Ausbruch des Lammbaches vom 31. Mai 1896. Mitt. naturf. Ges. Bern 1896, 265–275
- STEINER, A. (1953): Die Zuschüttung des Thunersees. Geogr. Helv. 8, 226–233
- STURM, M. (1976): Die Oberflächensedimente des Brienzersees. Eclogae geol. Helv. 69, 111–123
- (1979): Origin and composition of clastic varves. In: Moraines and Varves (Ed. Ch. Schlüchter), INQUA-Symp. Zürich, Balkema-Rotterdam, 281–285
- STURM, M. und MATTER, A. (1972): Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee. Eclogae geol. Helv. 65, 563–590
- (1978): Turbidites and varves in Lake Brienz (Switzerland): deposition of clastic detritus by density currents. In: Modern and Ancient Lake Sediments (Eds. A. Matter and M. E. Tucker), Spec. Publ. Int. Ass. Sedim. 2, 147–168

- WEISS, H. P. (1977): Sedimentologische und isotopengeologische Untersuchungen der Lockersedimente im Bielersee. Dipl. Univ. Bern 1977
- (1979): Die Oberflächensedimente des Bielersees. *Eclogae geol. Helv.* 72, 407–424
- WRIGHT, R. F., MATTER, A., SCHWEINGRUBER, M. und SIEGENTHALER, U. (1980): Sedimentation in Lake Biel, an eutrophic, hardwater lake in northwestern Switzerland. *Schweiz. Z. Hydrol.* 42, 101–126
- WRIGHT, R. F. and NYDEGGER, P. (1980): Sedimentation of Particulate Matter in Lakes: Influence of Currents Produced by Inflowing Rivers. *Water Resources Res.* 16/3, 597–601

