

# Eintrag, Transport und Ablagerung von Feststoffen im Walensee

Autor(en): **Lambert, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **71 (1978)**

Heft 1

PDF erstellt am: **24.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164716>

## **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.

Eclogae geol. Helv.	Vol. 71/1	Seiten 35-52	9 Textfiguren, 1 Tabelle und 1 Tafel	Basel, März 1978
---------------------	-----------	--------------	---	------------------

# Eintrag, Transport und Ablagerung von Feststoffen im Walensee

VON ANDRÉ LAMBERT<sup>1)</sup>

## ABSTRACT

The predominance of detrital sediments in the perialpine Lake of Walenstadt (= Walensee) is attributed to occasional heavy runoff in the drainage area (1061 km<sup>2</sup>). From 1964 to 1974 the average annual input of suspended matter was estimated as 91 800 tons and 94% was deposited in the basin.

In 1811 the River Linth was diverted into the Walensee by the construction of a canal. Since then the Linth is the main tributary and its solid load dominates the sedimentation, at least in the western part of the basin. The beginning of the new sedimentary regime is recognized by a sharp contact - separating fine grained sediments below from coarse grained detritus above - in 7 of the 16 piston cores examined in this study. Based mainly on this time marker the sedimentation rate was calculated as 90 mm/year in the proximal delta region to less than 10 mm/year in the deeper areas of the lake. Graded beds (mostly sand to silt, sporadically also including gravel) are commonly encountered in the cores. These layers are considered to be the deposits of continuous turbidity currents generated by hyperpycnal inflow during river flood stages. Such density underflows also seem to account for the periodical deposition of rhythmically laminated sediments which do not represent annual layering but rather periods of high sediment influx; up to 5 micrograded layers per year were counted.

## 1. Einleitung

Die Untersuchung von Sedimentgesteinen durch Vergleich mit heute sich abspielenden sedimentären Vorgängen stösst dort auf Schwierigkeiten, wo der Ablagerungsraum unübersichtlich oder der zu beobachtende Sedimentationsprozess zeitlich und örtlich schwer zu fixieren ist. Andererseits ist die Anwendbarkeit experimenteller Studien für natürliche Phänomene in quantitativer Hinsicht wegen der Gesetze der Modelltheorie eingeschränkt. Deshalb nimmt die Sedimentforschung im limnischen Bereich zwischen mariner und experimenteller Sedimentologie eine intermediäre Stellung ein, die eine Beobachtung natürlicher Ablagerungsvorgänge in einem relativ überblickbaren Rahmen erlaubt. Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den klastischen Sedimenten und den Ablagerungsvorgängen im Walensee. Dieses Gewässer ist deshalb für das Studium der mechanischen Sedimentation geeignet, weil in seinem Einzugsgebiet mit einer hohen Reliefenergie (max. Höhendifferenz: 3200 m) und häufigen Niederschlägen eine starke Abtragung vorherrscht.

Als Teil einer Dissertation entstand diese Arbeit im Rahmen eines vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützten gemeinsamen Projektes der Geologischen Institute der ETHZ und der Universität Bern zur erdwissenschaftlichen Untersu-

---

<sup>1)</sup> Geologisches Institut, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

chung der schweizerischen Seen. Im Walensee erfolgten bereits 1969 die ersten seismischen Profilaufnahmen und Kolbenlot-Kernbohrungen. Eine ergänzende Bohrkampagne kam im Frühjahr 1972 in kurzer Zeit zum Abschluss, und ein Jahr darauf konnten Strömungsmessungen in Zusammenarbeit mit der Scripps Institution of Oceanography (Kalifornien) erfolgreich durchgeführt werden.

## 2. Wasserhaushalt und Feststoffbilanz des Walensees

Mit der Einleitung der Glarner Linth in den Walensee war am 8. Mai 1811 die erste Etappe der unter der Leitung von H. C. Escher unternommenen Linthkorrektur vollendet. Dieses Linthwerk hatte von einem Tag auf den anderen eine Vergrößerung des Walensee-Einzugsgebietes von 421 km<sup>2</sup> auf 1061 km<sup>2</sup> zur Folge, was einem Zuwachs von 620 km<sup>2</sup> oder 152% entspricht (Fig. 1).

Das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft in Bern (EAW) führt seit 12 Jahren an den Zuflüssen Seez und Glarner Linth (Escher-Kanal) sowie am Ausfluss (Linthkanal) hydrometrische Messungen durch. Dabei werden die Durchflussmengen kontinuierlich, die Schwebstoff-Belastung in regelmässigen Abständen (2-3 Tage) bestimmt.

Von den insgesamt 35 Zuflüssen des Walensees liefert die Linth (Fig. 2) die weitaus grösste Wassermenge, nämlich 25 m<sup>3</sup>/sec (Durchschnitt der letzten 12 Jahre) oder 59,4%. An zweiter Stelle folgt die Seez mit 3,5 m<sup>3</sup>/sec (8,3%) und der Beerenbach mit 0,2 m<sup>3</sup>/sec (0,5%) an dritter Stelle. Einige früher gefürchtete Wildbäche sind heute zum Teil verbaut (Fly- und Rotbach) oder werden zur Gewinnung elektrischer Energie genutzt (Murg, Fallenbach und Rombach). Diese Gewässer sowie die restlichen Bäche bringen jährlich durchschnittlich 13,9 m<sup>3</sup>/sec (31,8%) Wasser – inklusive Niederschläge – in den See. Dieser Wert errechnet sich aus der Differenz des gesamten Ausflusses (Linthkanal 42,1 m<sup>3</sup>/sec) und der Summe der gemessenen Zuflüsse (28,7 m<sup>3</sup>/sec, 68,2%) unter Berücksichtigung einer Verdunstung von ca. 0,5 m<sup>3</sup>/sec. In dieser Bilanz nicht berücksichtigt sind eventuelle Infiltrationen als Grundwasser in die Linthebene oder Karst-Erscheinungen.

Tabelle: Berechnung der durchschnittlich jährlich im Walensee zur Ablagerung gelangenden Schwebstoffe. Die Bilanz stützt sich auf Messwerte der Jahre 1964-1974.

Schwebstoff-Bilanz des Walensees		mg/l	t/Jahr
Zufuhr	Linth (Escher-Kanal)	84,3	66 400
	Seez	58,0	6 400
	übrige		19 000
	Total		91 800
Ausfuhr	Linthkanal	4,0	5 300
Rückbehalt im See			86 500

Die Schwebstoff-Bestimmungen des EAW ermöglichen auch eine grobe Schätzung der durchschnittlich jährlich im Walensee abgelagerten Feststoff-Menge (Tabelle). Die Schwebstoff-Belastung der kleineren Zuflüsse wird nicht gemessen und musste für diese Bilanz wie folgt abgeschätzt werden: Die gesamte Wasserzu-

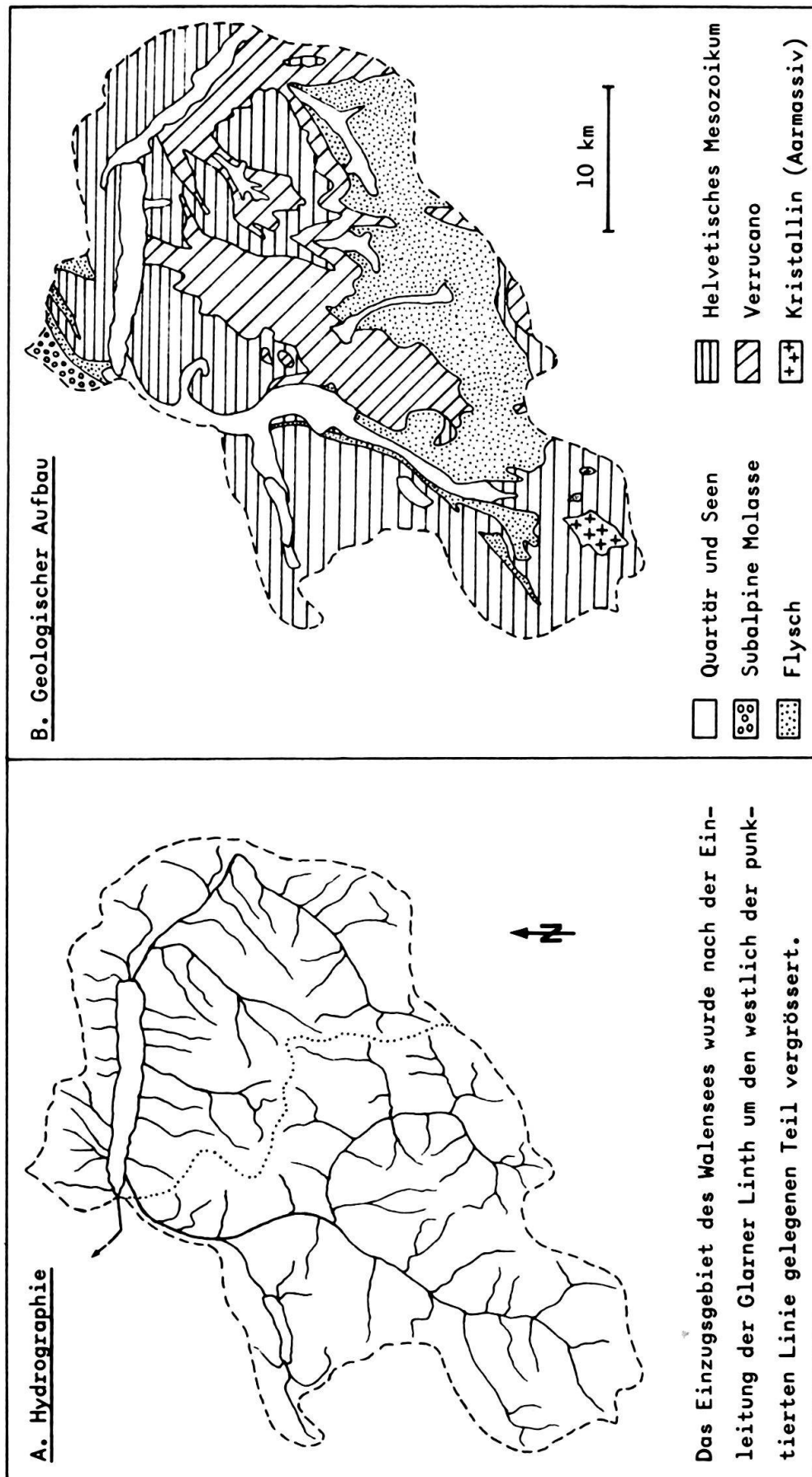


Fig. 1. Hydrographie und Geologie im Einzugsgebiet des Walensees.

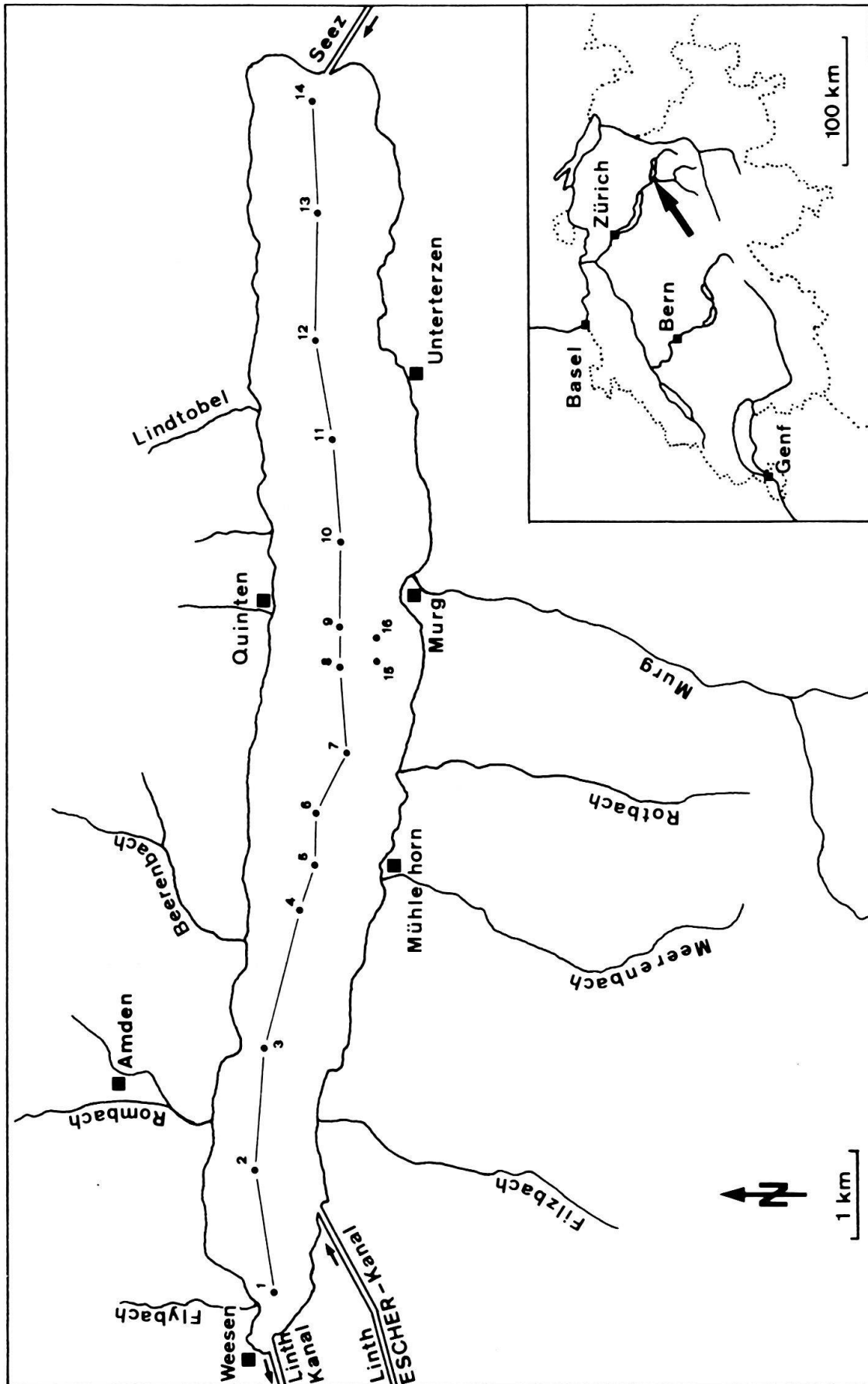


Fig. 2. Geographische Übersicht und Positionen der Bohrungen im Walensee. Die Bohrkerne 1–14 sind in einem Profil (Tafel) zusammengefasst.

fuhr dieser Zuflüsse macht etwa 31% der gesamten Wasserzufuhr des Sees aus und entspricht damit etwa dem dreifachen Wert der Seez. Da die Summe der Einzugsgebiete etwa der Fläche desjenigen der Seez entspricht (ca. 220 km<sup>2</sup>), wurde für die gesamte Schwebstoff-Belastung der kleineren Zuflüsse der dreifache Wert der Seez angenommen: 19000 t/Jahr. Diese Zahl kann aber wegen der vielen Annahmen höchstens als Grössenordnung angesehen werden.

Bei einer durchschnittlichen Dichte von 2,5 g/cm<sup>3</sup> entspricht die jährlich abgelagerte Menge einem Volumen von 34500 m<sup>3</sup>. Gleichmässig auf den Seegrund verteilt, entstünde daraus auf einer Fläche von rund  $2,0 \times 10^7$  m<sup>2</sup> eine Schicht von 1,7 mm/Jahr, wobei dieser Wert nur für trockenes Material ohne Zwischenräume gilt. Offenbar ist also der Wassergehalt der See-Sedimente (bis 75 Gew.-%) für die anhand der Bohrkerne (Kap. 4) errechneten Ablagerungsraten von ca. 8 mm/Jahr in erheblichem Masse mitbestimmend.

Wenn man versucht, die Grössenordnung der gesamten jährlichen Feststoff-Zufuhr abzuschätzen, muss der Geschiebe-Anteil in den Schuttkegeln der Zuflüsse berücksichtigt werden: Nach Untersuchungen von STUMPF (1916) im engeren Bereich des Linth-Deltas wuchs dieser Schuttkegel im Zeitraum von 1860 bis 1910 pro Jahr durchschnittlich um rund 70000 m<sup>3</sup>. Extrapoliert auf das gesamte Einzugsgebiet bei einer jährlichen Abtragung von etwas mehr als 100 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> ergibt sich ein Geschiebevolumen von rund 110000 m<sup>3</sup>/Jahr in den Schuttfächern des Walensees. Zusammen mit der vorher abgeschätzten Schwebstoff-Menge errechnet sich der gesamte jährliche Feststoff-Zuwachs auf rund 144500 m<sup>3</sup>. Rechnet man für den Schwebstoff-Anteil mit ca. 10 Gewichts-% Wassergehalt, müsste also der Walensee (Volumen:  $2,49 \times 10^9$  m<sup>3</sup>) in etwa 16000 Jahren verlandet sein (gegenwärtige Abtragungsverhältnisse vorausgesetzt).

### 3. Geologischer Rahmen

Am Aufbau des Einzugsgebietes ist die gesamte Schichtreihe des Helvetikums samt Kristallin des Aarmassivs (Limmern-Kuppel) beteiligt (Fig. 1). Zusätzlich nehmen im Nordwesten tertiäre Konglomerate der Subalpinen Molasse noch einen kleinen Platz ein. Flächenmässig kommt dem permischen Verrucano, den mesozoischen Serien sowie den Flyschen grob geschätzt je etwa ein Drittel zu.

Die starke Erosion in den Flyschgebieten hat zur Folge, dass aus diesen Regionen dem See die bedeutendsten Sedimentmengen zugeführt werden. Diese Flyschzonen werden vor allem durch den Oberlauf der Glarner Linth und deren Zuflüsse – namentlich den Sernf –, die Seez im Weisstannental und den kurzen, aber zuweilen recht wilden Flybach entwässert. Auch Fallen- und Rombach durchfliessen Flyschgebiete; ihre Sedimentfracht wird aber zu einem grossen Teil im Staubecken des Amdener Elektrizitätswerkes zurückgehalten.

Die ebenfalls vorwiegend detritischen, aber etwas resistenteren Massen des Glarner Verrucanos, welche auf den südlichen Teil des Einzugsgebietes beschränkt sind, werden durch den Sernf (namentlich im Unterlauf) und seine Zuflüsse sowie durch Seez und Murg entwässert. Auch der gefürchtete Rotbach durchquert mit seinem Oberlauf eine Verrucano-Zone.

Die karbonatreichen mesozoischen Serien der helvetischen Decken und des Autochthons liefern relativ wenig Erosionsmaterial. Die Bäche auf der Südflanke der Churfürsten führen deshalb nur nach Lawinenniedergängen oder starken Gewittern nennenswerte Feststoff-Mengen. Dasselbe gilt für die Gebiete westlich der Glarner Linth sowie der Kerenzerberg-Mürtschen-Gruppe (Filzbach, Meerenbach).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Hauptzuflüsse Linth und Seez dem See praktisch das gesamte Spektrum der Erosionsprodukte zuführen. Im Gegensatz dazu steht der Murgbach, der fast ausschliesslich Verrucano-Material schüttet. Auch der Rotbach stammt aus einer Verrucano-Zone; er durchquert aber zusätzlich die karbonatischen Gebiete oberhalb Mühlehorn. Der Flybach seinerseits entwässert eine ausgesprochene Flyschregion sowie den kleinen Molasse-Anteil des Walensee-Einzugsgebietes. Fast ausschliesslich aus karbonatreichen Gebieten stammender und deshalb mengenmässig stark zurücktretender Detritus gelangt über die Churfürstenbäche sowie Meeren- und Filzbach in den See. Dem Aufbau des Einzugsgebietes in den grossen Zügen entsprechend sind die auffallend roten See-Sedimente im südlichen und zentralen Teil des Beckens konzentriert (Kap. 4), während im Norden vorwiegend graue Ablagerungen anzutreffen sind. Die weitaus stärkste Sedimentzufuhr ist im westlichen und östlichen Teil des Sees, d.h. im Bereich der Deltagebiete von Linth bzw. Seez zu verzeichnen.

#### 4. Holozäne Ablagerungen

##### *Bohrungen und Auswertung des Kernmaterials*

Nach dem letzten Rückzug der Gletscher aus dem Walensee-Tal blieb ein fjordartiger See zurück, der wahrscheinlich mit einem «Rheintalsee» in Verbindung stand (HANTKE 1968). Durch die trennenden Schuttfächer der Weisstannen-Seez und der Glarner Linth entstanden dann Zürichsee und Walensee. In die obersten Lagen der postglazialen Sedimente haben wir durch Kernbohrungen von max. 7 m Länge direkten Einblick erhalten. Die Bohrkampagnen erfolgten 1969 mit einem Rammkolbenlot (System Züllig,  $\varnothing = 3,5$  cm) und 1972 mit einem Freifall-Kolbenlot (System Kullenberg,  $\varnothing = 7$  cm). Die Bohrstellen sind aus Figur 2 ersichtlich. Die Bohrkern wurden der Länge nach in zwei Hälften geschnitten, fotografiert und beschrieben, speziellen Schichten Proben entnommen und nach entsprechender Fragestellung analysiert. Beide Hälften wurden - in Plastikfolien verpackt - aufbewahrt, damit die Möglichkeit besteht, nach anderen Gesichtspunkten Untersuchungen an diesem Probenmaterial vorzunehmen.

##### *Korngrössen*

Das Korngrössen-Spektrum im gewonnenen Material reicht von Kieskomponenten mit max. 55 mm Durchmesser bis hinunter zur Tonfraktion. Die Fraktionen wurden wie üblich eingeteilt in Kies: 63-2,0 mm; Sand: 2,0-0,063 mm; Silt: 0,063-0,002 mm; Ton: < 0,002 mm.

### *Schichtung*

Die auftretenden Schichtungsarten können in 4 Hauptgefügetypen gegliedert werden (z. T. nach REINECK, in FÖRSTNER et al. 1968):

1. Gradierte Schichten mit Mächtigkeiten von wenigen Millimetern bis max. 75 cm. Gesamtes Korngrößen-Spektrum, Sandfraktion jedoch vorherrschend (Fig. 3 und 6).
2. Feinblättrige Wechselschichtung im mm-Bereich von sandigen bis tonigen Silt-Laminae, die meist gradiert sind (Fig. 5).
3. Diffuse Schichtung ohne gerichtetes Gefüge mit unsortierter Kornverteilung (Fig. 6).
4. Gefälte Schichten (selten, Fig. 7).

Organisches Material (Holzreste, Blätter, Nadeln, Haselnüsse, usw.) tritt meist lagenweise in Erscheinung, oft als Abschluss einer gradierten Schicht. Es kann aber auch unregelmässig im Sediment verteilt vorkommen.

### *Mineralogische Zusammensetzung*

Je nach Einzugsgebiet der einzelnen Zuflüsse treten grosse Unterschiede in der mineralogischen Zusammensetzung auf. Die Komponenten der Kiese, z. T. auch der Sande, lassen sich petrographisch bestimmen und erlauben damit Rückschlüsse über ihr Herkunftsgebiet.

Der Gesamtkarbonat-Gehalt variiert zwischen 15 und 56%, bei einem Mittelwert von 20,4%. Auskunft über die tonmineralogische Zusammensetzung der Sedimente geben quantitative Untersuchungen, die M. Frey im Auftrag des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft durchgeführt hat (1965, Interner Bericht Nr. 6): In der Seemitte, wo die Einflussgebiete der verschiedenen Zuflüsse etwa gleich stark vertreten sind, setzt sich der Mineralgehalt der dekarbonatisierten Probe (Fraktion  $< 2 \mu$ ) wie folgt zusammen: Muskowit 75-80, Chlorit 10-15, Quarz 7, Feldspäte 4 Gewichts-%.

### *Färbung*

Ein auffallendes Merkmal der Walensee-Sedimente ist ihre mannigfache Färbung. Ungeachtet der Korngrösse herrschen besonders in den Kernen aus dem zentralen und südlichen Teil des Sees rote Farbtöne vor, die praktisch die gesamte 5R- und 10R-Skala der Rock Color Chart (Geol. Soc. Amer. 1951) umfassen. Am häufigsten sind jedoch Werte um 5R 4/6 («Blutwurstrot») vertreten. Die siltigen bis tonigen Ablagerungen erscheinen am intensivsten gefärbt. Diese Rotfärbung ist auf Abtragungsmaterial aus dem südlichen und südöstlichen Einzugsgebiet zurückzuführen, das grossenteils aus rotem Verrucano aufgebaut ist. Träger der roten Farbe ist der Hämatit und der Turgit,  $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (RYF 1965).

Weit weniger häufig treten geringmächtige (max. 1 cm) Tone bis Silte mit auffallend gelber Farbe (5Y 7/6) auf. Diese «gelben Schichten» erwiesen sich teilweise als Leithorizonte bei Korrelationen. Die Ursache dieser Färbung bleibt unklar, denn der Tonmineralbestand ist nicht aussergewöhnlich: Muskowit, Chlorit,



Quarz und untergeordnet Kaolinit. Offenbar bestehen diese Schichten aus Abtragungsmaterial tertiärer Serien, wie eine Untersuchung der eingeschwemmten Mikroflora durch Dr. S. Wise gezeigt hat: Die vorhandenen Spezies – *Reticulofenestra umbilica*, *Ericsonia pelagica* usw. – deuten auf unteres Obereozän (Globigerinenschichten?). Da der Flybach die rutschungsgefährdete subalpine Randflyschzone (HERB 1967) mit ihren hellgelben Globigerinenmergeln (oberstes Lutetian bis unteres Obereozän) entwässert, stammen die «gelben Schichten» im Walensee wahrscheinlich grossenteils aus diesem Abschnitt des Einzugsgebietes.

### *Besprechung des Bohrprofils (Tafel)*

Anhand ausgewählter lithologischer Profile werden im folgenden einige Probleme diskutiert, die sich im Verlauf der Kernbeschreibungen und namentlich bei den Korrelationsversuchen ergeben haben.

*Der «Linthschnitt»:* Die untersten 80 cm von Kern 3 bestehen hauptsächlich aus rötlichen, z.T. auch bräunlichen Tonen und Silten. Diese Fazies steht in scharfem Kontrast zu den unmittelbar darüber folgenden grauen, gradierten Sanden und Silten, die den übrigen Kern aufbauen und mit z.T. grobem organischem Detritus durchsetzt sind. Offensichtlich fand an dieser Stelle (575 cm im Sediment) ein abrupter Wechsel der Sedimentationsbedingungen statt. Dieser «Sedimentationsprung» erscheint auch in den Bohrungen östlich von Kern 3, jedoch in geringerer Kerntiefe, und liegt in Kern 10 bei ca. 1 m. Einen vergleichbaren lithologischen Wechsel beschreiben STURM & MATTER (1972) aus dem Thunersee; sie bringen ihn mit der Einleitung der Kander (1714) in Zusammenhang, durch welche sich die Ablagerungsbedingungen grundlegend änderten und sich in den See-Sedimenten als deutlicher «Kanderschnitt» abzeichnet. In analoger Weise interpretieren wir den Sedimentationswechsel im Walensee als Resultat der 1811 erfolgten Linth-Korrektion.

Wegen der raschen Zunahme der Sedimentmächtigkeit in Richtung der Escher-Kanal-Mündung, d.h. nach Westen, konnte dieser «Linthschnitt» in den Bohrungen 1 und 2 offenbar nicht erreicht werden. Im Bereich der Bohrung 1 dominiert allerdings der Einfluss des Flybaches. Im Osten ist der «Linthschnitt» etwa bis zur Linie Quinten–Murg in unseren Bohrkernen erkennbar. Eine gewisse Komplikation stellt sich im Bereich der Kerne 6 und 7 ein, indem der «Linthschnitt» in diesen Bohrungen fast 1,5 m tiefer erscheint als in Kern 5, der in geringerer Entfernung von der Mündung gezogen wurde. Auf diese Frage wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen.

*Schutfächer und Turbidite:* Die verschiedenen Zuflüsse haben entsprechend ihrer Wasserführung und dem Aufbau ihres Einzugsgebietes vor ihrer Mündung in den Walensee ihre eigenen Schutt- und Ablagerungsfächer mit charakteristischer Sedimentationsgeschichte aufgebaut. So kann es geschehen, dass bei relativ weit auseinanderliegenden Bohrstellen jeder Kern aus einem anderen Fächer stammt, was die Korrelation zwischen den Profilen beträchtlich erschwert.

Am Aufbau dieser Schutfächer sind gradierte Ablagerungen mit Korngrössen bis zu 5 cm massgeblich beteiligt. Wie im Abschnitt über Ablagerungsprozesse noch

zu behandeln sein wird, sind diese gradierten Sedimente als Ablagerungen von Turbiditätsströmungen zu deuten; sie werden deshalb im folgenden kurz als Turbidite bezeichnet. Die Mächtigkeiten der einzelnen Turbidite können zwischen wenigen Millimetern und einigen Dezimetern liegen. Gelegentlich folgen mehrere Gradierungszyklen aufeinander, wobei ein Zyklus nicht ganz, d.h. bis und mit Siltfraktion, ausgebildet zu sein braucht. Diese Fazies kommt vor allem in Deltanähe vor. Wie verschiedene Schuttfächer seitlich ineinander übergehen, lässt sich am Beispiel der Verfäucherung von Linth- und Rotbach-Fächer darstellen: Im Bereich der Kerne 6 und 7 nimmt – wie bereits erwähnt – die Sedimentmächtigkeit über dem «Linthschnitt» zu, d.h. die Sedimentationsrate muss hier trotz grösserer Entfernung von der Linth-Mündung höher sein. Dies ist auf die starke Materialzufuhr durch den Rotbach zurückzuführen, der auch vor der Linth-Korrektur grobkörniges Material bis in die Seemitte geschwemmt hat: Die Sedimentkolonne von Kern 7 setzt sich aus zahlreichen, bis 25 cm mächtigen, roten, gradierten Sanden zusammen. In 465 cm Kerntiefe derselben Bohrung liegt eine 17 cm mächtige Kiesschicht als Basis einer 15 cm mächtigen gradierten Sandlage (Fig. 3).

Keinem bestimmten Schuttfächer konnten die Kiese zugeordnet werden, welche in Kern 12 zwischen 410 und 460 cm liegen: dunkle Kalkkomponenten von bis zu 6 cm Durchmesser sind völlig regellos in einer graubraunen, lehmigen Matrix eingebettet (Fig. 4). Diese Einlagerung ist rätselhaft, weil der Kern grossenteils aus tonig-siltigen Sedimenten aufgebaut ist, mit Ausnahme einiger wenig mächtiger, höchstens feinsandiger Lagen. Gegen die Annahme, dass es sich um Ausläufer eines Felssturzes handeln könnte, spricht die gerundete Form der Gesteinsstücke. Nicht auszuschliessen wäre aber ein Transportmechanismus, wie ihn HAMPTON (1975) beschreibt: In einem feinkörnigen «debris-flow» können durchaus Kieskomponenten (des Lindtobelbaches?) transportiert werden, indem diese in einer Ton-/Wassermischung «schwimmen».

Das perfekt ausgebildete Delta der Murg zeugt von der intensiven Erosions- und Transportaktivität dieses noch heute – trotz Verbauungen – gefürchteten Wildbaches. Der heutige Unterlauf der Murg fliesst nach Nordosten und mündet auf der Ostseite des Deltas. Diese Ablenkung von der ursprünglichen Fliessrichtung (Norden) geht nach Aussagen von Herrn Alb. Gmür, Chronist in Murg, auf den Beginn des 17. Jahrhunderts zurück, als die Sägerei Bosshard gebaut wurde (1615 erstmals urkundlich erwähnt). Die damit verbundene Veränderung der Sedimentation im See ist möglicherweise im unteren Teil von Bohrung 9 dokumentiert: In der ursprünglichen Schüttungsrichtung der Murg tritt eine mächtige Kieslage auf. Über dieser grobklastischen Ablagerung liegen feinkörnigere Sedimente – ein Fazieswechsel, der vielleicht zeitlich mit der Umleitung der Murg zusammenfällt.

*Feinblättrige Wechselschichtung:* Wechsellagerungen von tonigen und siltigen Laminae im mm-Bereich kommen in unseren Bohrungen in jeder Tiefe vor, auffallend häufig jedoch über dem «Linthschnitt» in der westlichen Seehälfte (Fig. 5). Es stellt sich nun die Frage, ob diese Wechsellagerungen eine Jahrschichtung – also echte Warven – darstellen. Auszählungen an geeigneten Kernen ergaben über dem «Linthschnitt», also seit 160 Jahren, eine Anzahl von 300 bis 360 Laminae. Demnach werden also pro Jahr durchschnittlich etwas mehr als zwei, meist

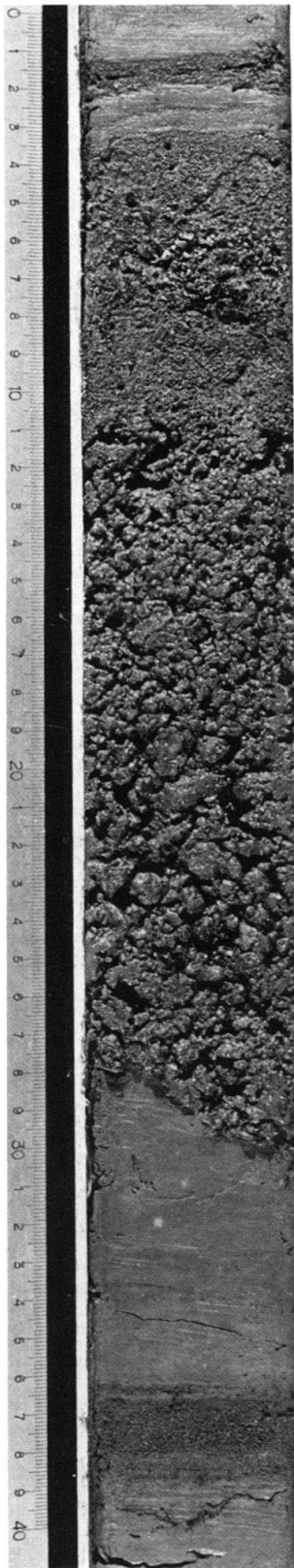


Fig. 3. Gradierte Kieslage, gegen oben in Sand übergehend. Die maximale Korngrösse beträgt 20 mm (Kern 7).

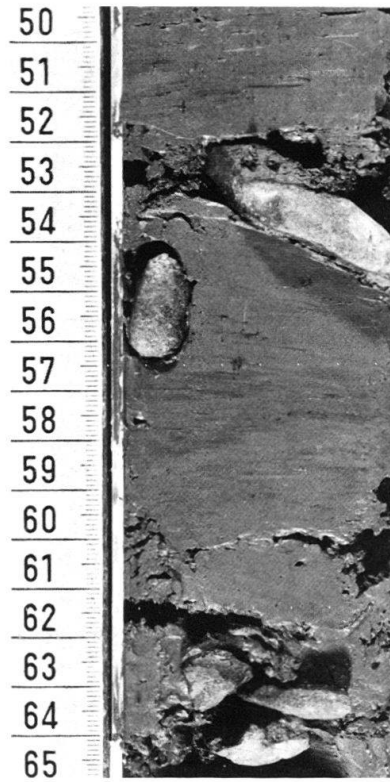


Fig. 4. Grobkies-Komponenten in siltig-toniger Matrix (Kern 12).

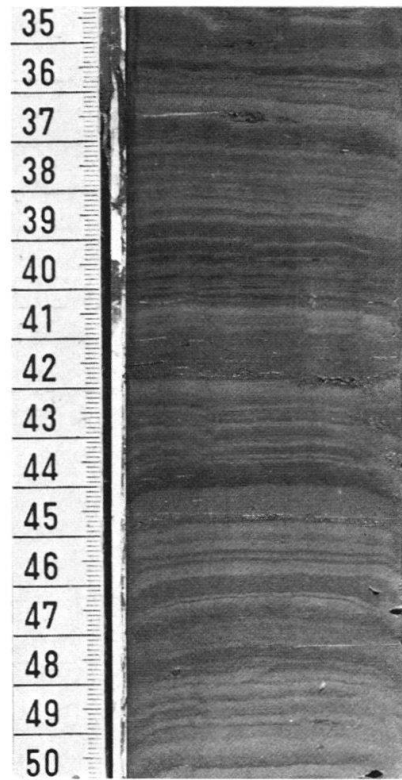


Fig. 5. Feinblättrige Wechelschichtung (Kern 10).

gradierte Einzelschichten abgelagert. Dies ist mit den Ergebnissen der Schwebstoff-Analysen gut vereinbar (vgl. Kap. 5): Die Messungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft sowie unsere eigenen Bestimmungen bestätigen, dass pro Jahr in der Regel zwei Hauptschübe von Feststoffen zu erwarten sind. Dass man aber gelegentlich mit mehreren Schüben rechnen muss, belegt eine Untersuchung von STUMPF (1916): In einem Sediment-Sammelgerät, welches vom 11. 5. 1911 bis 9. 5. 1912 gegenüber von Mühlehorn auf dem Seegrund lag, liessen sich sogar fünf deutliche Einzelschichten mit einer Gesamtmächtigkeit von 7 mm identifizieren. Während der Sommerperiode 1912 konnte dagegen mit dem gleichen Gerät an derselben Stelle nur gerade eine graue Schicht aufgefangen werden.

*Diffuse Schichtung:* Namentlich in den engeren Deltabereichen sind oft keine oder nur undeutliche Anzeichen einer Schichtung zu erkennen, wie z.B. in den Kernen 1, 2, 13 und 14. Als Kern 14 (Fig. 6) aus dem Delta der See gezogen wurde, beobachteten wir, wie eine Menge grosser Gasblasen im Wasser aufstieg und die



Fig. 6. Diffuse Schichtung über und unter einer gradierten Sandlage (Kern 14).



Fig. 7. Gefaltete Schichten (slump?). Beachte den scharfen Kontakt zu den darüber liegenden, feinblättrig geschichteten Sedimenten (Kern 15, ~ natürliche Grösse).

Oberfläche zum «Brodeln» brachte. Das wahrscheinlich durch Zersetzung von organischem Material entstandene Gas war offenbar im Sediment eingeschlossen gewesen und durch den Bohrvorgang befreit worden. Nach REINECK (in FÖRSTNER et al. 1968) können Gasblasen bei ihrer Migration durch die Sedimentkolonne eine diffuse Schichtung verursachen. Wir sind eher der Auffassung, dass die Zerstörung von Schichtstrukturen auf die Wühlarbeit von Bodenorganismen zurückzuführen sei (Bioturbation). Nach Untersuchungen von FLORIN (1972) ist die Besiedlung durch benthonische Fauna im Walensee verhältnismässig dicht. Namentlich Tubificiden, welche als Indikator-Organismen für organische Belastung von Bedeutung sind und vorzugsweise in den Wirkungsbereichen der Zuflüsse leben (max. 5000 Tiere pro 1000 cm<sup>3</sup> Sediment), können beachtliche Mengen Schlamm «durcharbeiten».

*Schichtverbiegungen:* In einer Bohrung (Kern 15), die am Beckenrand in geneigten Untergrund abgeteuft wurde, ist in ca. 1 m Kerntiefe eine Lagerungsstörung zu erkennen (Fig. 7), die auch im benachbarten Kern 16 auftritt (LAMBERT 1976). Wahrscheinlich sind die Schichten durch eine subaquatische Gleitung («slump») in Falten gelegt worden, zumal auch Ähnlichkeiten mit den Texturen der Horgener Rutschungsmasse zu beobachten sind (KELTS, in Vorb.). Dafür spricht auch die scharfe Abgrenzung gegen die liegenden und hangenden Sedimente, die völlig ungestört gelagert sind.

#### *Datierungen und Sedimentationsraten*

Der bereits erwähnte Versuch von STUMPF (1916), mit Hilfe eines Gefässes Sediment aufzufangen, gibt uns einen direkten Hinweis auf die jährlich anfallende Ablagerungsmenge, da nach Ablauf eines Jahres (1911/12) eine 7 mm mächtige Schicht festgestellt werden konnte, die ihrerseits in fünf verschieden gefärbte Laminae unterteilt war. Dank der von STUMPF durchgeführten exakten Beschreibung dieser Einzelschichten war es möglich, sie in der Sedimentkolonne wieder ausfindig zu machen, indem ungefähr an derselben Stelle im Oktober 1976 Kurzkernproben gezogen wurden: Über den erwähnten Ablagerungen von 1911/12 lagen 57 cm Sediment, was uns erlaubt, an dieser Stelle eine durchschnittliche Sedimentationsrate von knapp 9 mm/Jahr für die vergangenen 65 Jahre anzugeben.

Die Datierung der älteren Sedimente stellt wesentlich grössere Probleme, weil Pollen-Analysen und Radiokarbon-Bestimmungen nicht die erhofften Resultate hervorbrachten: Zwei Kerne (3 und 8) wurden von Frau B. Ammann-Moser pollenanalytisch untersucht. In den tiefsten Lagen, welche mit unserem Kolbenlot erbohrt werden konnten (7 m), kommen bereits *Castanea*-Pollen vor. Diese Schichten reichen also höchstens in die Römerzeit zurück. Das Alter eines Holzstücks in 423 cm Sedimenttiefe (Kern 9) wurde am Physikalischen Institut der Universität Bern (Prof. Oeschger) nach der C<sup>14</sup>-Methode bestimmt: 2010 ± 110 Jahre. Dieser Wert gilt zweifellos für das Alter des Holzes, aber nicht unbedingt für den Zeitpunkt seiner Einsedimentierung. Deshalb muss die aufgrund dieses Alterswertes berechnete Sedimentationsrate (2 mm/Jahr) mit Vorbehalt zur Kenntnis genommen werden.

*Historische Zeitmarken:* Die Einleitung der Glarner Linth in den Walensee am 8. Mai 1811 hatte, wie bereits erwähnt, eine Vergrösserung seines Einzugsgebietes

um das Anderthalbfache zur Folge. Die dadurch erhöhte Feststoff-Zufuhr leitete ein neues Sedimentationsregime ein, dessen Beginn sich in der Sedimentkolonne des westlichen Beckens als scharfer Übergang abzeichnet und eine Berechnung der durchschnittlichen Sedimentationsrate seit 1811 erlaubt:

Kern 3: 36 mm/Jahr  
Kern 6: 17 mm/Jahr  
Kern 8: 11 mm/Jahr  
Kern 9: 8 mm/Jahr

Es ist jedoch zu bedenken, dass in der Sedimentkolonne zahlreiche Turbidite auftreten, die bei ausserordentlichem Hochwasser entstehen und innerhalb weniger Stunden zur Ablagerung gelangen (FÖRSTNER et al. 1968). Der Turbidit von 40 cm Mächtigkeit (Kern 3, Basis bei 90 cm) ist wahrscheinlich auf das katastrophale Hochwasser vom 25. August 1944 zurückzuführen. Damals ereignete sich der Ausbruch des Durnagelbaches (Kt. Glarus), und die Linth verfrachtete das ausgeschwemmte Material in den See. Der Fischerei-Aufseher erinnert sich, dass in dieser Zeit ca. 100 Klafter Treibholz aus dem See entfernt werden mussten. Dieser Turbidit lässt sich in die Bohrung 2 zurückkorrelieren und ermöglicht damit auch hier eine Abschätzung der Sedimentationsrate, obwohl mit dieser Sondierung wegen der gegen Westen zunehmenden Mächtigkeit der Delta-Ablagerungen der «Linth-schnitt» nicht mehr erreicht werden konnte: 96 mm/Jahr.

## 5. Sedimentationsprozesse

Bei der diffusen Schichtung und den «slump»-artigen Schichtverbiegungen handelt es sich um postsedimentäre Erscheinungen, indem bereits abgelagerte Sedimente entweder von benthonischen Organismen durchwühlt wurden oder an Hängen ins Gleiten gerieten und dabei in Falten gelegt wurden.

Diesen Strukturen stehen die offenbar primären, synsedimentären Schichtgefüge wie die feinblättrige Wechselschichtung oder die in den Walensee-Ablagerungen häufig auftretenden gradierten Schichten gegenüber.

Die gradierten Sande in den Sedimenten des Thunersees sind auch von STURM & MATTER (1972) als Ablagerungen grundberührender Trübestrome gedeutet worden. Diese Suspensions-Dichteströmungen entstehen nach der Einmündung von feststoffreichem Flusswasser, wenn dieses wegen seiner höheren Dichte unter die Oberfläche des Sees taucht und dem Grunde folgend als «turbidity underflow» in die Tiefe fliesst. Beim rutschungsbedingten Trübestrom vom Typus Horgen (KELTS in Vorb.) beschränkt sich die transportierte Sedimentmenge auf das in Bewegung geratene und dabei suspendierte Material. Demgegenüber wird beim «underflow» die Suspension – solange das Hochwasser anhält – ständig nachgeliefert («continuous feeding»); dabei kann die Temperatur-Differenz zwischen Zufluss und See den Dichte-Unterschied positiv oder negativ beeinflussen. Das Auftreten solcher Strömungen ist seit den Beobachtungen von FOREL (1892) im Genfersee bekannt und konnte seither in einigen Fällen bestätigt werden (GOULD 1960; GUSTAVSON 1975). Wir haben unsererseits versucht, mit direkten Strömungsmessungen diese «under-

flows» im Walensee quantitativ zu erfassen (LAMBERT et al. 1976). Die folgende Aufzählung fasst die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchung kurz zusammen:

- Die Strömungen sind direkt vom Zufluss abhängig (Durchflussmenge, Feststoff-Zufuhr).
- Die Dauer kann mehrere Tage betragen.
- Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt mit wachsender Entfernung von der Mündung ab. Die gemessenen Werte schwanken zwischen 0 und 20 cm/sec mit Höchstwerten von 30 cm/sec.

Den grössten Teil der vom Trübestrom transportierten Sedimentmenge machen die suspendierten Feststoffe aus, denen die Strömung ihre Existenz hauptsächlich verdankt. Diese Partikel werden infolge des allmählich abnehmenden Transportvermögens der Strömung gradiert abgelagert. Ursache dieses Kapazitätsverlustes ist einerseits die turbulente Zwangsvermischung der Suspension mit dem umgebenden Seewasser und andererseits die Gefällsänderung am Übergang des Deltas zum Seeboden.

Bei starkem Hochwasser vermag ein «underflow» jedoch gröberes, nicht suspendiertes Material am Grunde mitzuschleppen. Diese Erosionswirkung lässt im Seegrund Rinnen entstehen, die auf Echogrammen recht deutlich sichtbar sind (Fig. 8).

KOMAR (1970) hat sich mit diesen Fragen auseinandergesetzt und quantitativ zu erfassen versucht. Damit ein Korn vom Durchmesser  $D$  ( $D > 7$  mm) von der Strömung erfasst und transportiert werden kann, ist die kritische Beanspruchung  $\tau_c$  gegeben durch

$$\tau_c = 0,06(\rho_s - \rho_l)gD$$

wobei  $\rho_s$  = Dichte des Korns und  $\rho_l$  = Dichte der Suspensionsströmung bedeutet.

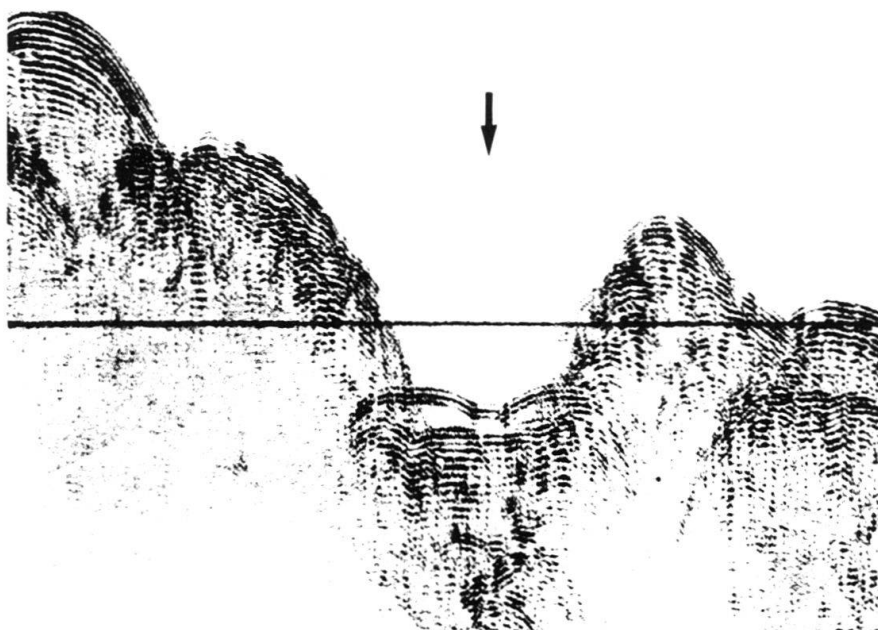


Fig. 8. Erosionsrinne (Pfeil) im Delta der Glarner Linth (Echogramm). Die Wassertiefe beträgt an dieser Stelle 75 m. Tiefe der Rinne = ca. 6 m; Breite = ca. 70 m.

Der Faktor 0,06 ist der relative Stress

$$\theta_t = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho_t)gD}$$

der für Körner mit  $D > 7$  mm konstant bleibt (Fig. 3 in KOMAR 1970).

Die Beanspruchung, die ein Trübestrom der Mächtigkeit  $h$  auf seine Unterlage ausübt, kann durch Ableitung der entsprechenden Formel für Flüsse wie folgt berechnet werden:

$$\tau_c = \frac{(\rho_t - \rho)gh \sin\beta}{1 + a}$$

$\rho_t$  = Dichte des Trübestroms,  $\rho$  = Dichte des umgebenden Wassers,  $\beta$  = Hangneigung.  $(1 + a)$  ist ein Korrekturfaktor, der die Verminderung der Beanspruchung durch Reibung an der Grenzfläche zwischen den verschiedenen dichten Flüssigkeiten berücksichtigt. Verschiedene Experimente haben für  $a$  einen Wert um 0,5 ergeben (MIDDLETON 1966).

Fasst man die Gleichungen für  $\tau_c$  zusammen, lässt sich für eine gegebene Suspensionsströmung der grösste Durchmesser der noch transportierbaren Körner berechnen:

$$D = \frac{(\rho_t - \rho)h \sin\beta}{0,09(\rho_s - \rho_t)}$$

Nehmen wir zum Beispiel eine Strömung mit einer Dichte von  $1,002 \text{ g/cm}^3$ , einer Mächtigkeit  $h$  von 2 m auf einem Hang von  $\beta = 20^\circ$  (Linth-Delta). Danach könnten noch Körner ( $\rho_s = 2,6 \text{ g/cm}^3$ ) vom Durchmesser  $D = 9,5$  mm transportiert werden.

Da die Bohrkern im Einflussgebiet der Linth keine Komponenten  $> 7$  mm geliefert haben, können wir aber diese Formel nicht anhand der von diesem Zufluss abgelagerten Sedimente prüfen. Dagegen konnten wir auf der Höhe der Mündungen von Rotbach und Meerenbach, mit den Sondierungen 7 und 5, Kieslagen an der Basis von Turbiditen durchbohren (Fig. 3); die grössten Komponenten haben Durchmesser zwischen 20 und 25 mm.

Aufgrund der Hangneigung kann man sich nun überlegen, welche Dichte der transportierende Trübestrom haben musste, um diese Kiese an ihren Ablagerungsort bringen zu können. Die grösste Hangneigung der Schuttfächer beträgt beim Rotbach ca.  $20^\circ$ , beim Meerenbach ca.  $25^\circ$ . Entscheidend für die Rechnung ist jedoch das Gefälle im Bereich der Kernbohrungen Nr. 7 ( $\beta = 4^\circ$ ) und Nr. 5 ( $\beta = 2,5^\circ$ ).

Nehmen wir für die Mächtigkeit  $h$  der Strömung wieder den minimalen Wert von 2 m an, dann müsste im Falle des Rotbaches die Dichte der Turbiditätsströmung  $\rho_t = 1,025 \text{ g/cm}^3$ , im Falle des Meerenbaches  $\rho_t = 1,035 \text{ g/cm}^3$  betragen haben. Diese hohen Dichtewerte können mit einer Feststoff-Menge von etwa  $45 \text{ g/l}$  erreicht werden, was jedoch eine ausserordentliche Konzentration bedeutet. Als Vergleich: am 17.7.1973 wurde im Escher-Kanal der bisher grösste Wert,  $3 \text{ g/l}$ , bestimmt. Wenn man aber bedenkt, dass diese Kiese wahrscheinlich während murgang-artigen Vorgängen in den See geschwemmt wurden, ist die Annahme solcher Dichtewerte nicht unrealistisch.



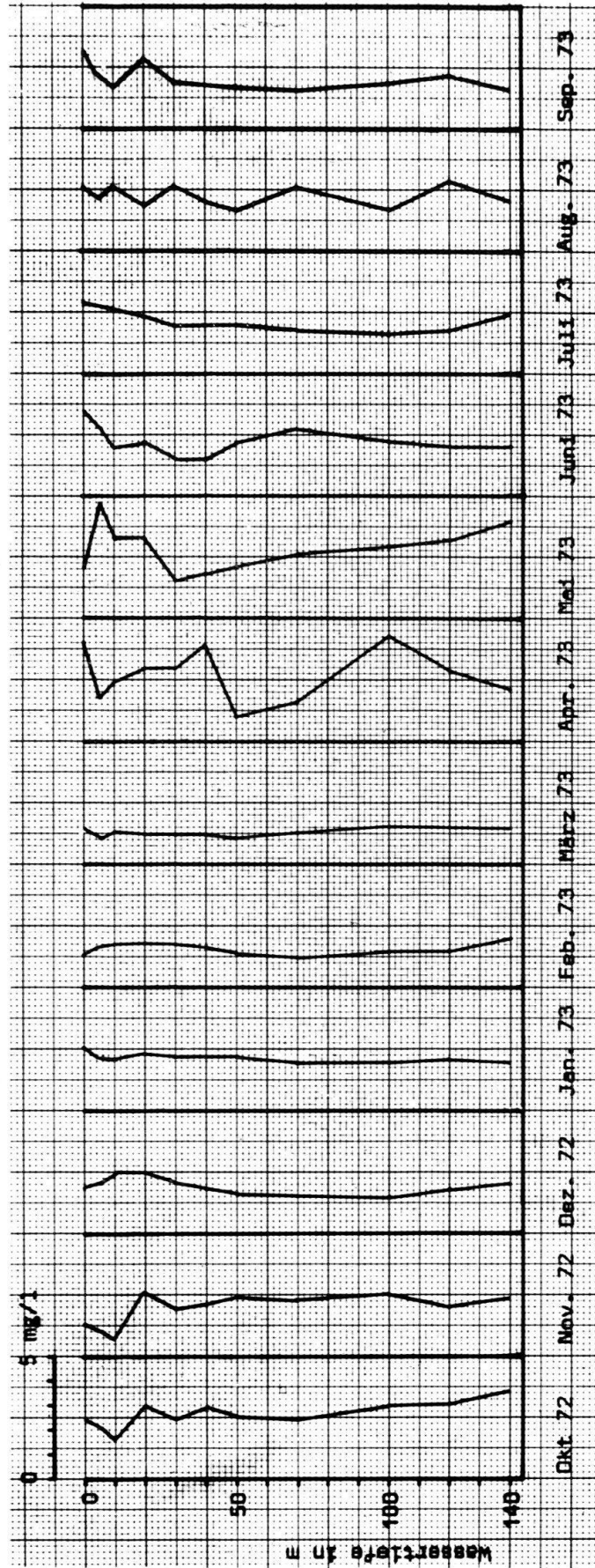


Fig. 9. Monatliche Schwankungen des Schweb- und Sinkstoffgehaltes in mg/l an der tiefsten Stelle des Sees (Koord. 735.375/220.700).

Kontinuierliche Trübeströmungen werden in der Literatur auch im Zusammenhang mit der Entstehung laminiertes Sedimente zum Teil kontrovers besprochen (Zusammenfassung in GUSTAVSON 1975). Wie bereits bei der Beschreibung der *feinblättrigen Wechselschichtung* (Fig. 5) erwähnt, ergab die Auszählung von Laminae über dem «Linthschnitt», dass während eines Jahres mehrere gradierte Einzelschichten (bis 5) meist unterschiedlicher Färbung abgelagert wurden, dass also von einer Jahrschichtung im Sinne von DE GEER (1912) keine Rede sein kann. Vielmehr drängt sich die Vermutung auf, dass die Anzahl Schichten pro Jahr die Häufigkeit von Hochwassern widerspiegelt. Da mit schwankender Wasserführung der Flüsse auch Änderungen im Schwebstoff-Gehalt des Sees zu erwarten sind, wurde die vertikale Verteilung der Feststoffe im See untersucht. Dazu führten wir an der tiefsten Stelle des Sees in regelmässigen Abständen (monatlich) während eines Jahres Schwebstoff-Bestimmungen durch. Die Probeentnahmen erfolgten mit einer 5-Liter-Schöpfflasche (System EAWAG). Der Schwebstoff-Gehalt wurde durch Filtrieren ermittelt, wobei Membranfilter der Porengrösse  $0,45\mu$  zur Anwendung kamen (Einzelheiten über diese Filtertechnik in NYDEGGER 1967).

Die Resultate unserer Schwebstoff-Bestimmungen sind in Figur 9 zusammengestellt: Auffallend ist die regelmässige Verteilung während der Wintermonate Dezember bis März. Ausgeprägte Trübungshorizonte treten im April auf, die Konzentration erreicht aber erst im Mai ein Maximum. Der Kurvenverlauf beruhigt sich in den Sommermonaten (Ausnahme: August) allmählich, während in den Herbstmonaten keine grossen Veränderungen festzustellen sind: Es bildet sich in ca. 20 m Tiefe ein Trübehorizont heraus. Offenbar bildet auch in diesem Fall die Sprungschicht (Thermokline) eine «Sinkstoff-Falle», wie dies NYDEGGER (1967) in verschiedenen Seen beobachten konnte. Diese trübe Schicht bleibt erhalten, bis die thermische Stratifikation im Winter aufgelöst wird und der Zustand der Homothermie eintritt. Dieser hält bis in den Spätfrühling hinein an, so dass die während der Schneeschmelze entstehenden Trübungswolken ungehindert relativ rasch zu Boden sinken, wie dies zum Beispiel in Figur 9 für die Monate April und Mai dokumentiert ist. Im Extremfall sichtet sich die Suspension- wie unsere Strömungsmessungen gezeigt haben - als grundberührender Trübestrom in unmittelbarer Bodennähe ein. Auch GUSTAVSON (1975) konnte im Malaspina Lake (Alaska) die Existenz von «continuous turbidity currents» nachweisen. Dieser Einschichtungsprozess führt zur Ausbildung einer trüben Zone in tiefsten Seeschichten, vergleichbar den «nepheloid layers» (BISCAYE & EITREIM 1977).

Wo auch immer die Suspension eingeschichtet wird, das allmähliche Absinken führt zu einer vertikalen Selektion der Korngrössen und damit zur Ablagerung der gradierten Laminae.

Im Sommer 1977 konnten im Walensee während verschiedener Hochwasserstände der Glarner Linth in 85 m Tiefe Bodenströmungen von bis zu 50 cm/sec gemessen werden. Damit steht fest, dass die thermische Schichtung des Sees die Zuflüsse nicht daran hindert, sich als grundberührende Trübestrome auszubreiten. Nach Berichten von DILL, bei Tauchgängen im Mündungsgebiet der Rhone im Genfersee (SHEPARD & DILL 1966), spaltet sich der einflussende Dichtestrom in einen grundberührenden Trübestrom und einen der Thermokline folgenden «interflow» auf. Die fortschreitende Untersuchung der Strömungsverhältnisse im Walen-

see wird diesem Phänomen und den daraus abzuleitenden Sedimentstrukturen besonders Rechnung tragen.

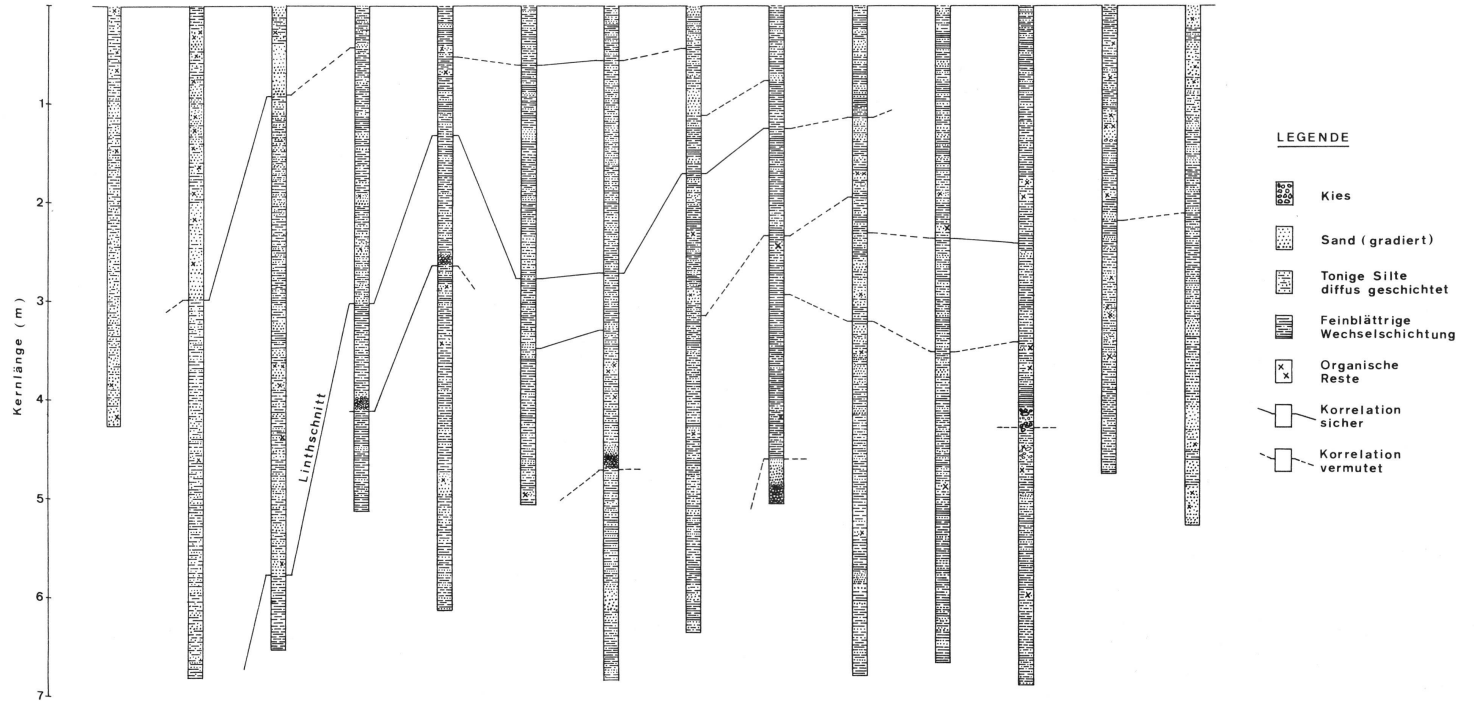
### Verdankungen

Der Schweizerische Nationalfonds unterstützte diese Arbeit finanziell im Rahmen des Projektes 2.765.072. Den Herren Professoren K. Hsü, R. Trümpy, R. Hantke und A. Matter danke ich für wertvolle Hinweise und die kritische Durchsicht des Manuskriptes. Ohne die Mithilfe meiner Kollegen Kerry Kelts und Peter Finckh hätte der grösste Teil der «Feld»-Arbeiten nicht durchgeführt werden können; ihr Einsatz sei hier besonders hervorgehoben. Den Herren Dr. Liskay und P. Kohler vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft verdanke ich gute Ratschläge und hydrometrische Daten. Unsere Mechaniker Kurt Ghilardi und Werner Schneider sorgten für die reibungslose Funktion der Geräte, und Urs Gerber übernahm die Anfertigung der Fotografien in gewohnt sorgfältiger Weise.

### LITERATURVERZEICHNIS

- BISCAYE, P.E., & EITREIM, S.L. (1977): *Suspended particulate loads and transports in the nepheloid layer of the abyssal Atlantic Ocean*. - *Marine Geol.* 23, 155-172.
- FLORIN, J. (1972): *Ergebnisse aus Benthos-Untersuchungen am Walensee, Schweiz*. - *Verh. int. Ver. Limnol.* 18, 461-466.
- FOREL, F.A. (1892): *Le Léman* (tome I). - F. Rouge, Lausanne.
- FÖRSTNER, U., MÜLLER, G., & REINECK, H.E. (1968): *Sedimente und Sedimentgefüge des Rheindeltas im Bodensee*. - *N. Jb. Mineral. [Abh.]* 109, 33-62.
- GEER, G. DE (1912): *A geochronology of the last 12,000 years*. - XI. int. geol. Congr. Stockholm 1910, 241-253.
- GOULD, H.R. (1960): *Turbidity currents*. In: *Comprehensive Survey of Sedimentation in Lake Mead, 1948-1949*. - Prof. Pap. U.S. geol. Surv. 295, 201-207.
- GUSTAVSON, T.C. (1975): *Sedimentation and physical limnology in proglacial Malaspina Lake, south-eastern Alaska*. - *Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Mineral.* 23, 249-263.
- HAMPTON, M. (1975): *Competence of fine grained debris flows*. - *J. sediment. Petrol.* 45/4, 834-844.
- HANTKE, R. (1968): *Die Diffluenz des würmeiszeitlichen Rheingletschers bei Sargans (Kt. St. Gallen) und die spätglazialen Gletscherstände in der Walenseetalung und im Rheintal*. - *Mitt. geol. Inst. ETH u. Univ. Zürich [N.F.]* 102.
- HERB, R. (1967): *Weesen-Amden* (Exkursion 34a). - *Geol. Führer Schweiz* 7 (Wepf & Co, Basel).
- KELTS, K. (in Vorb.): *Geology and Sedimentology of Lakes Zurich and Zug, Switzerland*. - *Diss. ETH Zürich*.
- KOMAR, P.D. (1970): *The competence of turbidity current flow*. - *Bull. geol. Soc. Amer.* 81, 1555-1562.
- LAMBERT, A.M. (1976): *Über die klastische Sedimentation im Walensee*. - *Diss. ETH Zürich* 5717.
- LAMBERT, A.M., KELTS, K.R., & MARSHALL, N.F. (1976): *Measurements of density underflows from Walensee, Switzerland*. - *Sedimentology* 23, 87-105.
- MIDDLETON, G.V. (1966): *Sedimentology on density and turbidity currents. - II. Uniform flow of density currents*. - *Canad. J. Earth Sci.* 3, 527-637.
- NYDEGGER, P. (1967): *Untersuchungen über Feinststofftransport in Flüssen und Seen, über Entstehung von Trübungshorizonten und zuflussbedingten Strömungen im Brienersee und einigen Vergleichsseen*. - *Beitr. Geol. Schweiz, Hydrol.* 16.
- RYF, W.H. (1965): *Geologische Untersuchungen im Murgtal*. - *Diss. Univ. Zürich*.
- SHEPARD, F.P., & DILL, R.F. (1966): *Submarine Canyons and other Sea Valleys*. - Rand McNally, Chicago.
- STUMPF, W. (1916): *Methode der Deltavermessungen der Abteilung für Wasserwirtschaft*. - *Ann. schweiz. Landeshydrogr., Bd. II*.
- STURM, M., & MATTER, A. (1972): *Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee*. - *Eclogae geol. Helv.* 65, 563-590.

Kern Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Wasser-tiefe (m)	40	81	110	141	143	144	143	146	147	149	135	131	111	58



Korrelationsversuch der Sedimentproben aus dem Walensee  
 (die Profilsur geht aus Figur 2 hervor)