

Eine geologische Karte des Walensees

Autor(en): **Lambert, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **77 (1984)**

Heft 1

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-165500>

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. 77	Nr. 1	Seiten 101–113	Basel, April 1984
---------------------	---------	-------	----------------	-------------------

Eine geologische Karte des Walensees

Von ANDRÉ LAMBERT¹⁾

ZUSAMMENFASSUNG

Für die topographische Neukartierung des Walenseebeckens in den Jahren 1979 und 1981/82 mussten insgesamt 635 km Tiefenprofile gelotet werden. Die 33-kHz-Frequenz des verwendeten Echolots vermochte zudem je nach Zusammensetzung der Sedimente bis zu etwa 10 m in den Seegrund einzudringen, so dass dessen akustische Struktur gleichzeitig im Echogramm aufgezeichnet wurde. Mit Hilfe dieser akustischen Sedimentlotung wurde versucht, früher gesammelte sedimentologische Detailinformation (Kernproben von bis zu 7,5 m Länge) in einer geologischen Gesamtkarte zusammenzufassen. Auffallendste Merkmale sind zahlreiche subaquatische Bachschuttkegel, welche die meist steilwandige Felsberandung des Seebeckens überdecken und zum Teil weit in die feinschichtig aufgebaute zentrale See-Ebene hinausgreifen.

ABSTRACT

The topographic mapping of the Walensee basin (eastern Switzerland) required an echosounding survey of 635 km of lake bottom profiles. Due to the ability of the echosounder to penetrate sediment with a frequency of 33 kHz, subbottom structures were recorded at the same time. Penetration depth varied between 0 and 10 m depending on sediment composition. Combining these acoustic profiles with previously collected sedimentological information (sediment cores up to 7.5 m long) an attempt was made to draw a geologic map of the lake bottom. The most striking features are numerous subaqueous alluvial fans which cover the steep rock walls of the lake basin. These fans extend far into the central plain of the lake bottom which is built up of fine-grained, laminated sediments.

1. Einleitung

Im Frühjahr 1979 wurde im Rahmen eines von der ETH Zürich finanzierten Forschungsprojektes der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der westliche Teil des Walensees neu vermessen. Anlass dazu war die Volumenbestimmung des seit 1931 abgelagerten Schuttmaterials der Glarner Linth (LAMBERT 1980). Im gleichen Jahr erfolgte die topographische Vermessung des Seezeltas im östlichen Teil des Sees.

Nach Abschluss dieser Arbeiten waren 739 ha des Walensees, d. h. rund 30%, topographisch neu vermessen. Weil die bis anhin verfügbare Seekarte aus dem Jahr 1880 mit erheblichen Ungenauigkeiten behaftet ist, entschlossen sich darauf die Anrainerkantone St. Gallen und Glarus sowie die VAW zu einem gemeinsamen Projekt für die topographische Neuaufnahme der verbleibenden 1685 ha im zentralen Teil des Sees.

¹⁾ Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Damit konnte das kartographische Bild des Walenseebeckens wesentlich verfeinert und die Volumenberechnung dem neuesten Stand angepasst werden (LAMBERT & SCHLUND 1983).

Für die Vermessung mussten insgesamt 635 km Echolotprofile in einem engen Raster aufgenommen werden. Das als Grundlage für die Interpolation der Höhenlinien bestimmte digitale Terrainmodell hat eine variable Punktdichte von 3 bis 30/ha, je nach «Unruhe» des Reliefs.

Die VAW setzte sich dafür ein, dass für die Vermessung ein 2-Frequenz-Echolot (33/210 kHz) zum Einsatz kam, das bei geeigneter Einstellung nicht nur die Oberfläche des Seegrundes wiedergibt, sondern auch ein akustisches Bild der oberen Sedimentschichten vermittelt (vgl. Fig. 5). Somit konnten Informationen über die Struktur der rezenten Ablagerungen *gleichzeitig* mit der bathymetrischen Aufnahme gewonnen werden. Die geologisch-sedimentologische Interpretation kann sich also auf exakt lokalisierte Profile und auf eine zuverlässige topographische Grundlage abstützen (Tafel).

Die jüngeren Sedimente des Walensees sind seit 1969 für Forschungsarbeiten (LAMBERT 1978, LAMBERT & HSÜ 1979) sowie im Rahmen von VAW-Gutachten durch zahlreiche Sondierungen (Kerne bis 7,5 m Länge) aufgeschlossen worden (Fig. 1). Mit der topographischen Gesamtkartierung und der grossen Anzahl Echolotprofile ergab sich deshalb die einmalige Gelegenheit, das sich infolge der örtlich weit auseinanderliegenden Sedimentprofile abzeichnende lückenhafte Mosaik der Seesedimente versuchsweise in eine geologisch-sedimentologische Gesamtkarte zu integrieren.

2. Geologisches Umfeld

Das E-W angelegte Walenseetal verläuft bezüglich des allgemeinen Streichens der alpinen Deckenstrukturen ausgesprochen schief. Die Entstehung dieser markanten morphologischen Kerbe hängt wahrscheinlich mit den späthelvetischen Bewegungen der Decken östlich der Linth zusammen. Diese späten Vorstösse sind im Zusammenhang mit N-S verlaufenden, linkssinnigen Horizontalverschiebungen (z. B. der Murgseebruch) innerhalb der Glarner Alpen zu sehen, deren eine auch durch das untere Linthtal zieht und den Ostflügel um etwa 2 km nach Norden versetzt (TRÜMPY 1980).

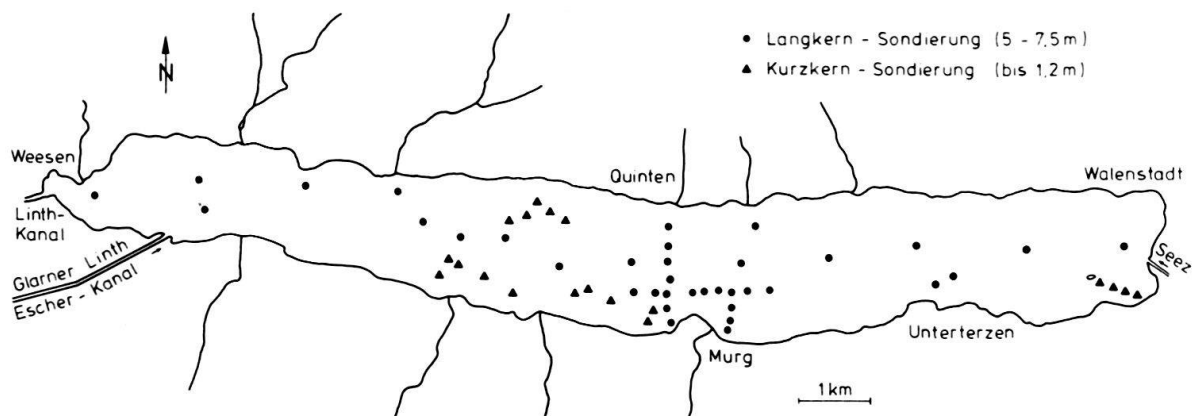


Fig. 1. Entnahmestellen der Sedimentkernproben im Walensee.

Diese miozänen Bewegungen erfolgten nach vorausgehender Erosionsphase – bedingt durch das Herausheben des Aarmassivs – unter reduzierter Überlast (Obstalden-Phase), was zu Gesteinszertrümmerungen (Kakiriten) an den Überschiebungsflächen führte. Auf einer dieser Bewegungsbahnen sind möglicherweise die Churfürsten um 1–2 km nach Norden abgeglitten (TRÜMPY 1969), was die *Anlage* der heute tief eingeschnittenen Walenseetalung erklären könnte.

2.1 Seismische Profilaufnahmen

Im Jahr 1969 kam auf dem Walensee erstmals eine Apparatur für die Aufnahme kontinuierlicher seismischer Profile zum Einsatz (ein «air gun» der damaligen Bundesanstalt für Bodenforschung, Hannover). Auf einigen Profilen zeigte sich in der Seemitte ein stärkerer Reflektor in 400–500 m Tiefe unter dem Seespiegel, der sich als Felsunterlage deuten liess.

1974 fand eine weitere Messkampagne mit der inzwischen angeschafften ETH-eigenen Seismikarüstung (BOLT air gun) statt. Die Resultate bestätigten und vervollständigten das bereits fünf Jahre zuvor ermittelte Bild der Felsunterlage, wobei mit der zusätzlichen Auswertung *refraktierter* seismischer Signale Anhaltspunkte über die Schallgeschwindigkeit im Untergrund und damit über die mögliche Zusammensetzung der tieferen Lockergesteinsfüllung und ihre Mächtigkeit gewonnen werden konnten (FINCKH et al. 1984). In Querprofilen der Seemitte liess sich die Felsunterlage in rund 460 m Tiefe lokalisieren, d. h. etwa 40 m unter dem Meeresspiegel. Mächtige Alluvio-

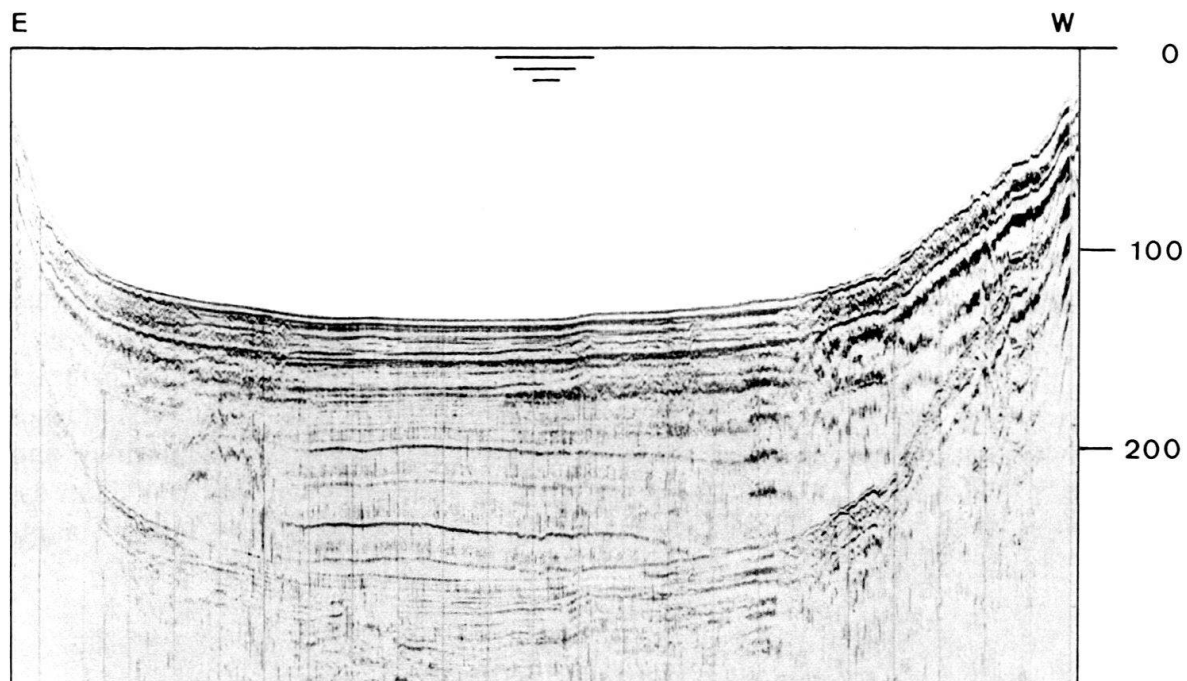


Fig. 2. Seismisches Längsprofil des Walensees zwischen Walenstadt (Ost) und Weesen (West). Unter dem Wasserkörper liegt die geschichtet erscheinende Lockergesteinsfüllung. Die Felsoberfläche, welche aufgrund ausgewerteter refraktierter Signale in rund 460 m Tiefe unter dem Seespiegel vermutet wird (FINCKH et al. 1984), ist auf diesem Profil nicht zu erkennen. Tiefenangabe in Metern.

nen im Westen (Linth, Flibach) und im Osten (Seez) maskieren den Felsuntergrund an beiden Enden des Sees. Nach sprengseismischen Untersuchungen von ZÜRCHER (1971) verläuft der Fels im Bereich des Glarner Autobahnanschlusses und bei Niederurnen um 330 m bzw. 440 m unter Terrain. Gegen Osten taucht der Fels bereits im See als kleine Insel an die Oberfläche und bildet im unteren Seeztal eine Reihe von Inselbergen. Im Querprofil bildet die Felsberandung ein asymmetrisches V mit steiler einfallendem Nordschenkel.

Die im seismischen Profil geschichtet erscheinende Talfüllung (Fig. 2) weist Schallausbreitungsgeschwindigkeiten von 1,5 bis 4,1 km/s auf (FINCKH et al. 1984). Aufgrund dieser Werte und analoger Untersuchungen im Zürichseebecken, wo der seismische Befund durch eine Tiefbohrung überprüft werden konnte (GIOVANOLI & HSÜ 1981, HSÜ & KELTS 1984), ist auch für den Walensee auf unterschiedlich konsolidiertes Lockergesteinsmaterial glaziogener Herkunft zu schliessen, wobei die zeitliche Zuordnung innerhalb des Quartärs fraglich bleibt.

2.2 Spät- und nacheiszeitliche Seegeschichte

Der heutige Walensee ist das Relikt eines nach dem Abschmelzen des würmeiszeitlichen Gletschers aus dem Zürich- und Walenseetal entstandenen, mehr oder weniger zusammenhängenden Gewässers. Durch die Alluvionen der Glarner Linth erfolgte die Abtrennung des Walensees vom Zürich-(Ober-)see, während das Geschiebe der Seez von Osten her den See weiter einengte. Die von HANTKE (z. B. 1980) vertretene Auffassung, der Walensee sei als Zungenbecken eines «Weesener Rückzugsstadiums» (= Feldkircher Stadium) zu deuten, ist schwer zu belegen, da die «Endmoränen» auch in zahlreichen Sondierbohrungen bisher nicht nachgewiesen werden konnten (C. Schindler, mündl. Mitt.).

Interessant sind die vereinzelt Funde von Seebodenleihen, welche z. B. in geotechnischen Sondierbohrungen bis 40 m über dem heutigen Seespiegel auftreten. Sie weisen darauf hin, dass bereits vor dem Hochwürm ein See das Tal erfüllte. Eine Publikation über diese Sedimente und über ihre pollenanalytische Datierung ist in Vorbereitung (B. Ammann, W. Fisch, P. Streiff und C. Schindler).

Sondierbohrungen in der nordöstlichen Linthebene haben zweifelsfrei ergeben, dass nach dem letzten Rückzug der Gletscher die Glarner Linth oder zumindest ein abzweigender Mündungsarm schon in vorgeschichtlicher Zeit vorübergehend Geschiebe in den Walensee geschüttet hat (C. Schindler, mündl. Mitt.). Ein dadurch entstandenes Delta ist noch als bewaldete Ufervorwölbung zwischen heutiger Linthmündung und Bootshafen «Gäsi» zu erkennen (Campingplatz). In geschichtlicher Zeit war dann die Seez Hauptzufluss des Walensees, bis 1811 mit dem «Linthwerk» der Glarner Hauptfluss kanalisiert in den See geleitet wurde.

3. Die nacheiszeitliche Sedimentation

Die Auswertung der seismischen Profilaufnahmen zeigt unterhalb des Wasserkörpers eine Zone mit Schallausbreitungsgeschwindigkeiten von rund 1,5 km/s (FINCKH et al. 1984), deren Mächtigkeit in der Seemitte etwa 30 m erreicht. Es handelt sich hier um

die noch wenig konsolidierten, stark wasserhaltigen, nacheiszeitlichen Seebodenlehme. Durch Kolbenlot-Kernbohrungen konnten die obersten 7,5 m dieser Ablagerungen direkt aufgeschlossen werden (Fig. 1). Zahlreiche Kurzkernsondierungen (bis 1,2 m), die unter anderem für Gutachten über die Beschaffenheit des Seegrundes im Bereich geplanter technischer Einrichtungen entnommen wurden, ergänzen das Beobachtungsnetz. Da die sedimentologische Auswertung dieser Proben Gegenstand früherer Arbeiten ist (LAMBERT 1978, LAMBERT & HSÜ 1979), genügt an dieser Stelle ein kurzer Überblick.

Mit der Einleitung der Linth in den Walensee wurde dessen Einzugsgebiet schlagartig um das Anderthalbfache vergrössert. Damit wurde auch die Sedimentation im See mit einem rasch anwachsenden Delta nachhaltig beeinflusst. Seit 1911 (erste bathymetrische Aufnahme des Deltas) beträgt der durchschnittliche jährliche Volumenzuwachs rund 130 000 m³ (LAMBERT 1980). Das von der Linth eingetragene Feststoffmaterial dominiert die Ablagerungen des gesamten westlichen Seeteils: Die Änderung der Sedimentation ist in den Kernprofilen deutlich als scharfer Schnitt zu erkennen. Über gut geschichteten rötlichen bis bräunlichen Silten und Tonen folgen mit abruptem Wechsel graue, gradierte Sande mit siltigen Zwischenschichten, zum Teil durchsetzt mit grobem Pflanzenhäcksel. Dieser «Linthschnitt» ermöglicht als genau definierte Zeitmarke die Ermittlung der seitherigen Sedimentationsrate, welche ausserhalb des eigentlichen Schuttkegels 8–40 mm/Jahr beträgt.

Im zentralen und östlichen Teil des Sees dominieren feinschichtige Wechsellagerungen von tonigen und siltigen Laminae, deren auffallendstes Merkmal die unterschiedliche Färbung ist; sie reicht von Grau über Olivgrün zu Rot, Hellrot und Rosa bis Gelb. Die Auszählung von Einzelschichten über der Zeitmarke 1811 («Linthschnitt») ergab, dass im Laufe eines Jahres mehrere dieser Laminae abgelagert werden können. Eine Einzelschicht repräsentiert also keinen jahreszeitlichen Zyklus, sondern jeweils einen kleineren oder grösseren Feststoffschub aus einem oder mehreren Zuflüssen, wobei die Farbe der Ablagerungen Hinweise auf das Teil-Einzugsgebiet gibt (LAMBERT & HSÜ 1979).

Zahlreiche Strömungsmessungen im Walensee haben gezeigt, dass sich Zuflusswasser dem Seegrund entlang als Suspensions-Dichtestrom einschichten kann und dass die Feinschichtung auf solche Ereignisse zurückzuführen ist. Grössere Hochwasser bringen grobkörnigeres Material auch weitab der Mündung als Turbidite zur Ablagerung. In mehreren Bohrkernen sind (in Seemitte) Kieslagen von einigen Dezimetern Mächtigkeit gefunden worden (s. Fig. 8). Sie sind als Ablagerungen von Murgängen der seitlich einmündenden Wildbäche oder als «slumps» (infolge abgerutschter Teile von Deltaablagerungen) zu interpretieren. Kerne aus den randlichen Regionen zeigen gelegentlich eine Schichtung, die über mehrere Dezimeter in intensive Falten gelegt wurde. Diese Strukturen sind auf kriechende Sedimentpakete am Übergang vom steilen Bekkenrand zur flachen See-Ebene zurückzuführen.

Neben den beiden grossen Schuttfächern der Linth und der Seez münden zahlreiche steile Bäche seitlich in den See. Die Steilheit des Geländes und die zum Teil stark erosionsanfälligen Einhänge prädestinieren diese Bäche dazu, ausgeprägte Bachkegel im See aufzubauen, welche morphologisch markant in Erscheinung treten, sowohl oberflächlich (Murg, Flibach, Meerenbach) als auch subaquatisch (Rombach = «Muslenbach», Fulenbach, Geissbach usw.).

3.1 Akustische Sedimentlotung

Seit 1970 sind verschiedene Versuche unternommen worden, mit starken Ultraschall-Echoloten («mud penetrators») die jungen Sedimente des Walensees akustisch zu «durchleuchten», um Schichtstrukturen im kontinuierlichen Profil verfolgen zu können.

Das von der Ultraschallquelle ausgehende Signal durchdringt das Wasser mit einer Geschwindigkeit von 1430 bis 1450 m/s (je nach Temperatur und Konzentration der Inhaltsstoffe). Die Sediment-Wasser-Zwischenschicht bildet einen ersten Reflektor, d.h. im wesentlichen eine Dichte-Diskontinuität, wo für die höherfrequenten Anteile der Schallwellen Reflexion eintritt, während für die niedrigfrequenten Anteile des Schalls die Penetration des Sediments beginnt. Die wichtigsten physikalischen Eigenschaften, welche die «akustische Struktur» der durchdrungenen Sedimente als Echogramm erscheinen lassen, sind die Dichte und die Porosität. Die akustische Impedanz (Scheinwiderstand) der Sedimente ist deshalb für feinkörnige Ablagerungen (Silt, Ton) kleiner als für sandiges oder kiesiges Material. Die auf dem Echogramm erscheinende Strukturierung muss aber nicht a priori lithologischen Abgrenzungen entsprechen. Im allgemeinen werden aber feinkörnige Sedimente die akustische Energie weniger dämpfen als grobkörnige, so dass die Echogramme von siltigen und tonigen Böden transparenter erscheinen als diejenigen von sandigen oder gar kiesigen Ablagerungen. Eine wesentliche Ausnahme bilden jedoch Gasblaseneinschlüsse im Sediment. Diese dämpfen die Schallenergie sehr wirkungsvoll und erscheinen deshalb auch innerhalb von tonigen Ablagerungen als ausgesprochene Reflektoren und können unter Umständen eine grobkörnige Zwischenschicht vortäuschen.

Abgesehen von diesen Eigenschaften der Sedimente ist die Dämpfung der akustischen Energie auch eine Funktion der Pulsfrequenz. So beträgt die Dämpfung für die 3,5-kHz-Frequenz in unsortiertem Sediment (Ton bis Sand) 0,2–2 db/m, für die 33-kHz-Frequenz 2–30 db/m und für die 210-kHz-Frequenz 20–200 db/m. Daraus geht deutlich hervor, dass die akustische Penetration mit tieferen Frequenzen erheblich zunimmt (MAY 1979).

3.1.1 3,5-kHz-Profilaufnahmen

1970 erfolgten im Walensee erstmals Profilaufnahmen mit einem 3,5-kHz-«mud-penetrator» des Musée Océanographique de Monaco. Dabei handelte es sich in erster Linie um einen konzentrierten Survey des Murgdeltas. Hier konnte der Übergang vom grobkörnigen (weitgehend kiesigen) Schuttkörper zum feinkörnigen, gut geschichteten mittleren Seeteil detailliert aufgenommen werden. Ein Querprofil zwischen Murg und Quinten (Fig. 3) zeigt, wie die grobdetritischen Schüttungen der Seitenbäche weit in die zentrale See-Ebene ausgreifen und allmählich in die gut geschichteten Serien der Beckenmitte übergehen.

1974 konnte mit dem inzwischen angeschafften, ETH-eigenen 3,5-kHz-Profilersystem (von ORE) der gesamte See – allerdings mit weit auseinanderliegenden Profilen – befahren und aufgenommen werden. Das akustische Bild bestätigte im wesentlichen den vier Jahre zuvor ermittelten Befund: gut geschichtete Ablagerungen im zentralen Seeteil, akustisch transparent bis etwa 30 m Tiefe (ab Seegrund). Darunter folgt offen-

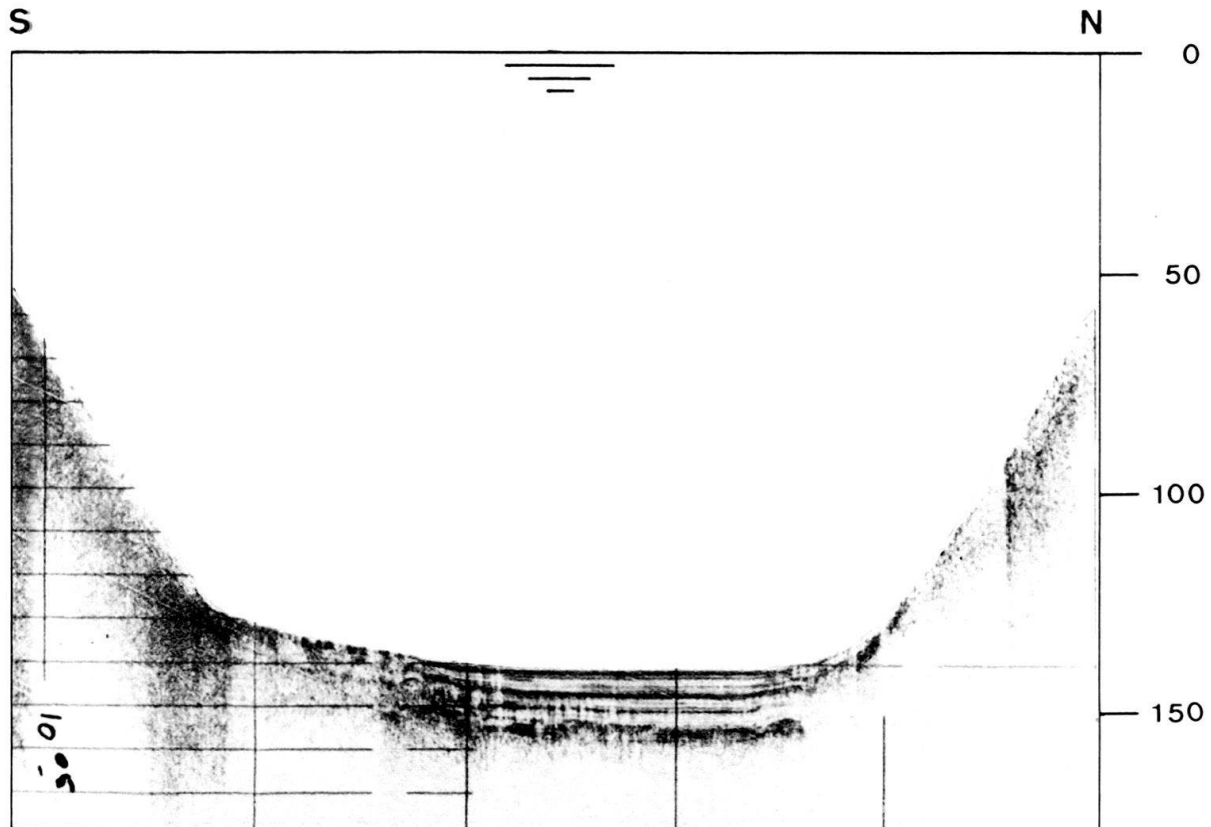


Fig. 3. Querprofil des Walensees zwischen Murg (Süd) und Quinten (Nord) (4,5-kHz-mud-penetrator). Im zentralen Teil erkennt man deutlich geschichtete Sedimente, welche an den Beckenrändern in die seismisch undurchsichtigen Bachkegelschüttungen übergehen. Tiefenangabe in Metern.

bar ein Gesteinswechsel, möglicherweise zu Moränenmaterial. An den Beckenrändern sowie im Einflussbereich der Zuflüsse – namentlich Linth und Seez – dringt der Schall infolge der grobkörnigen Schüttungen kaum mehr ein (Fig. 4).

3.1.2 Echolotung

Das für die Vermessung des Walensees eingesetzte Echolot DESO 10 (Krupp-Atlas) verfügt über zwei Lotungsfrequenzen (210 und 33 kHz). Diese Kombination wurde namentlich für die Erfassung von Schlickmächtigkeiten im Küstenbereich entwickelt. Es stellte sich aber bereits bei der Vermessung des Zürichsees im Jahre 1972 heraus (SCHINDLER 1976), dass die 33-kHz-Frequenz des Echolots nicht nur Schlick, sondern auch weichgelagertes, feinkörniges Lockergestein zu durchdringen vermag. Dabei ist das verwendete Echolot-Schwingersystem (Typ SW 6020), bestehend aus einer Schwinerkombination von $12 + 7 = 19$ Einzelschwingern, die auf zwei konzentrischen Kreisen angeordnet sind, von ausschlaggebender Bedeutung: Diese Konfiguration erlaubt es, den Öffnungswinkel des Schallkegels von 10° bis auf 2° zu reduzieren und damit die gesamte Sendeleistung auf eine kleine Fläche des Seegrundes zu konzentrieren; dadurch wird das Eindringvermögen der Schallsignale in die Seeablagerungen substantiell vergrößert (Fig. 5).

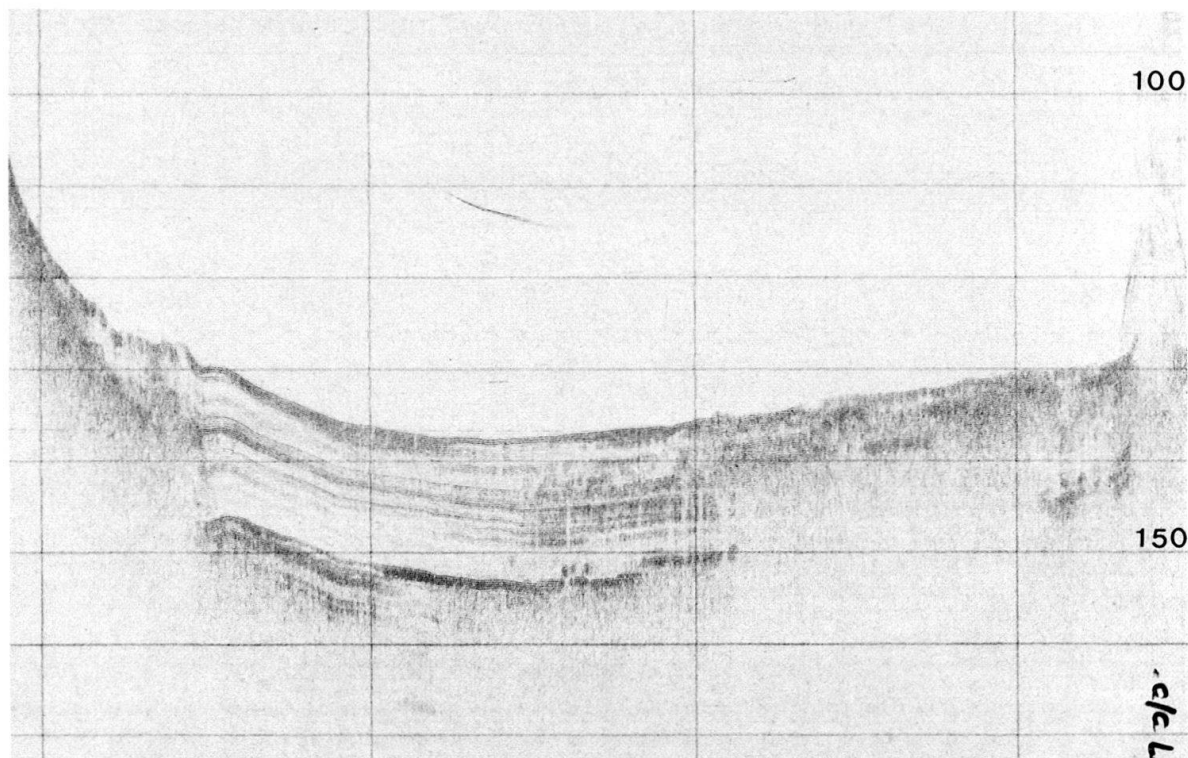


Fig. 4. Querprofil des Walensees zwischen Mühlehorn (Süd) und Betlis (Nord) (3,5-kHz-mud-penetrator, ORE). Zu erkennen ist der Übergang von den geschichteten Serien der Seemitte in die grobdetritischen, akustisch nicht penetrierbaren Schüttungen der Linth.

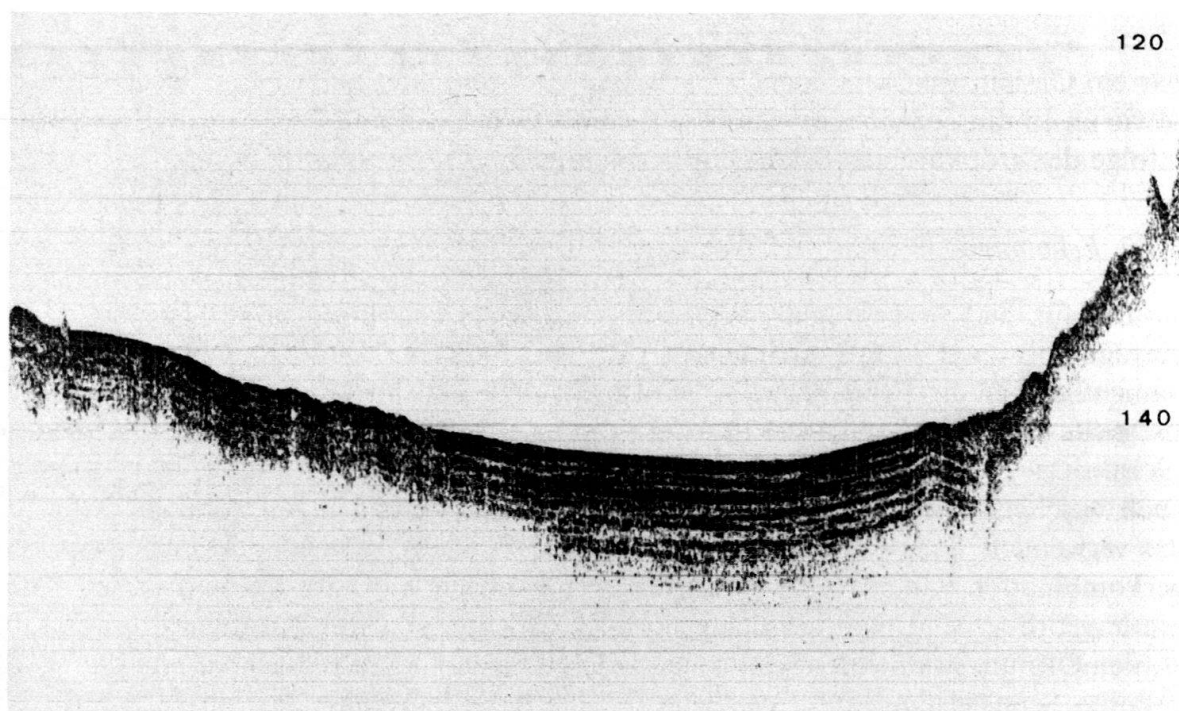


Fig. 5. Echogramm (33 kHz) des Seegrundes zwischen Quinten (links) und Walenstadt (rechts). Es zeigt die deutlich ausgeprägte Feinschichtung der Sedimente in der zentralen See-Ebene. Tiefenangabe in Metern.

Von grossem Vorteil erweist sich die Kombination von Echolot und automatischer Distanzmessung auf der Profilfahrt, weil damit die Koppelung der Papiervorschubgeschwindigkeit mit der Schiffsgeschwindigkeit erreicht wird. Dadurch werden die Echogramme auch horizontal maßstäblich aufgezeichnet. Die bei der Vermessung des Zürichsees aufgenommenen Profile sind deshalb bereits von SCHINDLER (1976) als Grundlage für den Entwurf einer geologischen Karte des Zürichsees verwendet worden, als Ergänzung zu zahlreichen geotechnischen Sondierungen und Feldaufnahmen.

4. Geologische Kartierung

Die Beckenberandung des Walensees besteht, wie bereits über dem Seespiegel eindrücklich erkennbar, weitgehend aus anstehendem *Fels*. Dieser taucht oft senkrecht oder gar überhängend unter den Wasserspiegel (Fig. 6, 7). Im Echogramm zeigen sich dann infolge des ungünstigen Einfallwinkels nur noch undeutliche Reflexe. In weniger steilen Partien ist der Fels stellenweise durch eine dünne Schicht von Gehängeschutt oder Moräne bedeckt, was sich im Echogramm durch eine «faserige» Aufzeichnung zu erkennen gibt.

Eine interessante Beobachtung machten Mitglieder des Unterwassersportzentrums Zürich (USZ) bei Tauchvorstössen vor der Halbinsel Betlis (Stralegg). In 30 bis 60 m Tiefe entdeckten sie eine horizontale Striemung an den senkrechten Felswänden



Fig. 6. Unterwasseraufnahme der Felswand südlich von Betlis (etwa 40 m Tiefe). Der dunkle Fels ist stellenweise von einem Flaum heller Sedimente bedeckt. (Photo A. Kammer, 1982.)



Fig. 7. Horizontale Schliffspuren des eiszeitlichen Gletschers an den Felswänden der Halbinsel von Betlis in etwa 50 m Wassertiefe. Bildhöhe etwa 1 m. (Photo A. Kammer, 1982.)

Tiefe entdeckten sie eine horizontale Striemung an den senkrechten Felswänden (Fig. 7), die sie korrekterweise als Gletscherschliff interpretierten. Dank der vor Erosion schützenden Wassermasse sind diese Schliffspuren hier erhalten geblieben. Die Fliessgeschwindigkeit des eiszeitlichen Gletschers war in diesem Abschnitt infolge der Querschnittsverengung erhöht und führte hier zur intensivsten Schleifwirkung. Es ist darum bezeichnend, dass die Suche nach weiteren Schliffspuren in Luv und Lee des Betliser Felssporn trotz wiederholten Tauchgängen bisher vergeblich blieb.

Bachschuttkegel heben sich in der Regel bereits morphologisch deutlich vom felsigen Ufer ab, meist in der Verlängerung von Runsen oder Wildbächen. Grössere Schuttfächer greifen bereits über der Wasserlinie in den See hinaus und bilden dadurch oft die einzig möglichen Standorte für Siedlungen und Weiler, namentlich in den steil-ufrigen Partien der Nordseite. Die ausgeprägteste Ausbuchtung formt der Kegel des Flibachs und dokumentiert damit die intensive Erosion im Einzugsgebiet dieses Wildbachs. Gegenwärtig sind umfangreiche Verbauungsarbeiten im Gang. Von 1931 bis 1979 wuchs der Schuttkegel des Flibachs um rund 450 000 m³.

Diese Schuttkegel bestehen im oberen (mündungsnahen) Teil überwiegend aus kiesigem Material, das mit zunehmender Tiefe allmählich in feinere Kornfraktionen übergeht. Es kommt aber vor, dass selbst am Fuss der weit ausgreifenden Kegel, der im allgemeinen aus sandig-siltigem Schutt aufgebaut ist, kiesige Einschaltungen im Vertikalprofil erscheinen (Fig. 8). Die kartierten Trennungslinien zwischen den Kornklassen sollen deshalb nur auf die jeweilige *Vorherrschaft* der entsprechenden Fraktion hinweisen, soweit sie in Bohrkernen erkannt werden konnte. Wo keine Kernsondierungen vorhanden sind, erfolgte die Unterscheidung im Echogramm – zumindest zwischen Kies/Sand und Silt/Ton, da letztere dem Schall einen geringeren Widerstand entgegen-

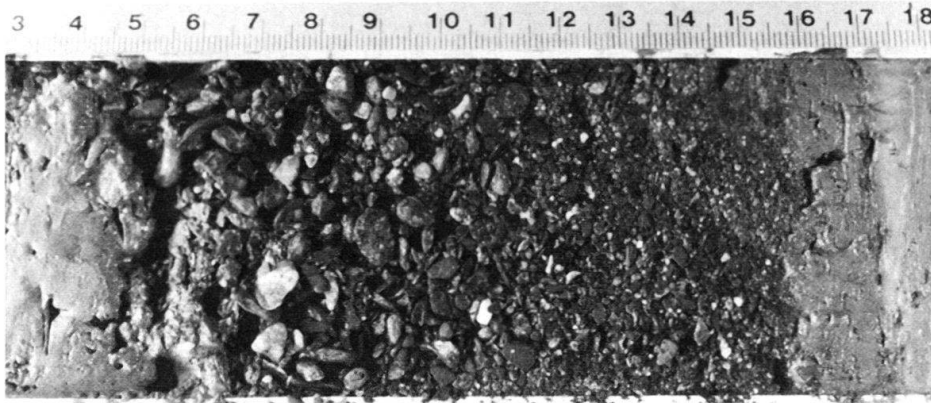


Fig. 8. Kiesige Zwischenschicht in den überwiegend feinkörnig aufgebauten Sedimenten der zentralen See-Ebene. Solche Einschaltungen können als Folge von murgangartigen Ereignissen in den seitlich einmündenden Wildbächen interpretiert werden (cm-Maßstab).

setzen und deshalb im Echogramm transparenter erscheinen. Diese Übergänge zeigen sich besonders ausgeprägt in den Profilen, welche die Deltas der Linth und der Seez abdecken. Diese weit ausgreifenden Schüttungen dominieren den östlichen und westlichen Teil des Sees, wobei der Übergang in die zentrale See-Ebene kontinuierlich erfolgt.

Die zentrale See-Ebene umfasst etwa 6 km² und ist praktisch horizontal. Hier herrscht «pelagische» Sedimentation vor, mit laminiert ausgebildeten feinkörnigen Ablagerungen (Fig. 5 in LAMBERT 1978). Die Allgegenwart seitlicher Zuflüsse zeigt sich aber immer wieder in Form grobkörniger Einschaltungen, namentlich gradierter Sande. Vor allem im Einflussbereich der grösseren Wildbachzuflüsse kann das Eindringvermögen des Ultraschalls lokal vermindert sein. Dies ist auf kiesige Zwischenschichten zurückzuführen, wie sie inmitten siltig-toniger Ablagerungen in der Seemitte vorgefunden wurden (Fig. 8). Wo solche schallabsorbierenden Sedimente nicht durch Kerne aufgeschlossen werden konnten, muss die Frage offenbleiben, ob es sich auch um solche grobkörnigen Einschaltungen handelt oder ob Lagen mit gaserzeugendem organischem Material die Fortpflanzung der Schallwellen hemmen.

Am Übergang von den steileren Randzonen zum flachen Seegrund treten in den Echogrammen stellenweise Wellungen auf, welche eine buckelige Oberfläche dokumentieren. Bohrkerne aus solchen Zonen zeigen gelegentlich verfaltete Schichten, was auf ein *Kriechen* instabiler Sedimentpakete deutet. Diese Kriechzonen sind nicht nur auf schuttkegelnahe Gebiete beschränkt, sondern treten auch am Hangfuss dazwischen auf. Eigentliche Rutschungen mit ausgeprägten frontalen Stauchzonen, wie sie SCHINDLER (1976) aus dem Zürichsee beschreibt, konnten im Walensee keine gefunden werden. Dies mag damit zusammenhängen, dass im Walensee praktisch keine Seekreidesedimente vertreten sind. Auch fehlen grössere künstliche Aufschüttungen, welche Rutschungen hervorrufen könnten.

Die historisch dokumentierten, mit bergmännischer Ausbeutung von Gestein in ursächlichem Zusammenhang stehenden *Felsstürze* in den Walensee (HUBER 1982) haben lokal zu Ansammlungen recht grobkörniger Sturzmassen unter Wasser geführt, was sich im Echogramm als unruhiges Reflexbild äussert. Die Gesteinstrümmer der im Sallerentobel aufgeschlossenen Kakirit-Zone haben im See einen morphologisch deut-

lich in Erscheinung tretenden Schuttkegel aufgebaut, der sich über die steilen Felswände gelegt hat. Dieser Kegel ist zum Teil mit Ausbruchmaterial (und einer Stollenlokomotive!) aus der Zeit des Bahntunnelbaus «angereichert» worden. Auch im Bereich Mülital scheint der Fels brekziös aufgelockert zu sein (W. Fisch, mündl. Mitt.).

Die *Bergsturzmasse von Unterterzen* bildet eine markante morphologische Erhebung. Sie ist von einer Sedimenthülle bedeckt, deren Mächtigkeit mit der akustischen Lotung infolge zu geringer Penetration nicht eruiert werden konnte. Zwei Kernsondierungen von etwa 3 m Länge haben keinen festen Grund erreicht. Die Sedimentationsrate seit dem Niedergang des Bergsturzes bleibt somit unbekannt.

In der südwestlichen Uferzone des Sees (Gäsi) dokumentiert ein markanter uferparalleler Gefällsknick (etwa 70 m vom heutigen Ufer entfernt) einen früheren, tieferen Seestand. Dass der Seespiegel bereits in geschichtlicher Zeit nicht viel tiefer stand, bezeugen römische Funde bei Hüttenbösch (LAUR-BELART 1962). Diese kleine Erhebung 100 m südlich der Einmündung in den Linthkanal bildete zur Zeit der höchsten Wasserstände vor der Linthkorrektur ein Inselchen und diente offenbar auch den Römern als relativ trockener Standort.

Schlusswort

Die vorliegende geologische Kartierung des Walensees ist der Versuch, zweidimensionale lithologische Information (Bohrkerne) mit Hilfe akustischer Sedimentlotung räumlich zu projizieren und in einem Flächenplan darzustellen. Ein grosser Teil dieses Kartenbildes beruht also auf der Interpretation seismischer Aufzeichnungen, welche naturgemäss mehrdeutig sein können. Trotz ausgewogener Verteilung der Sedimentproben als Stützpunkte der Auswertung kann diese kartographische Synthese deshalb nicht den Anspruch erheben, die jungen Sedimente des Walensees in ihrer *Gesamtheit* erfasst zu haben. Detailuntersuchungen werden in Zukunft zweifellos zu einem verfeinerten und korrigierten Kartenbild führen.

Immerhin mag diese Karte als Ergebnis von Grundlagenforschung auch für die Lösung angewandter Probleme als Entscheidungsbasis beigezogen werden. Neben ihrer Funktion als sensible Indikatoren für ökologische Veränderungen gewinnen Aufbau und Zusammensetzung der Seeböden für Planung, Berechnung und Durchführung von baulichen Massnahmen im See und in seinem engeren Umkreis zunehmend an Bedeutung.

Verdankungen

Die vorliegende Arbeit entstand mit finanzieller Unterstützung der ETH Zürich sowie der Kantone St. Gallen und Glarus. Die hydrographische Vermessung besorgten Dr. R. A. Schlund und seine Mitarbeiter. Prof. C. Schindler ergänzte das Manuskript mit wertvollen Hinweisen. Mit Peter Finckh und Kerry Kelts verbinden mich langjährige gemeinsame Tätigkeit und abenteuerliche Feldkampagnen auf Seen im In- und Ausland. Ihrem hilfreichen Einsatz verdanke ich einige Grundlagen für diese Arbeit. Arthur Kammer berichtete mit Begeisterung von seinen Beobachtungen unter Wasser und stellte Bildmaterial zur Verfügung.

LITERATURVERZEICHNIS

- FINCKH, P., KELTS, K., & LAMBERT, A. (1984): Seismic stratigraphy and bedrock forms in perialpine lakes. – Bull. geol. Soc. Amer. (im Druck).
- GIOVANOLI, F., & HSÜ, K.J. (1981): Die wissenschaftliche Sondierbohrung im tiefsten Teil des Zürichsees. – N. Zürcher Ztg. Nr. 155.
- HANTKE, R. (1980): Eiszeitalter (Bd. 2). – Ott, Thun.
- HSÜ, K.J., & KELTS, K. (Ed.) (1984): Quaternary Geology of Lake Zurich: An interdisciplinary approach by deep drilling. – Contr. Sedimentol. (im Druck).
- HUBER, A. (1982): Felsbewegungen und Uferabbrüche an Schweizer Seen, ihre Ursachen und Auswirkungen. – Eclogae geol. Helv. 75/3, 563–578.
- LAMBERT, A. (1978): Eintrag, Transport und Ablagerung von Feststoffen im Walensee. – Eclogae geol. Helv. 71/1, 35–52.
- (1980): Die Entwicklung des Linthdeltas im Walensee zwischen 1931 und 1979. – Eclogae geol. Helv. 73/3, 867–880.
- LAMBERT, A., & HSÜ, K.J. (1979): Non-annual cycles of varve-like sedimentation in Walensee, Switzerland. – Sedimentology 26, 453–461.
- LAMBERT, A., & SCHLUND, R.A. (1983): Die topographische Neukartierung des Walensees. – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 11/83, 397–402.
- LAUR-BELART, R. (1962): Der frühromische Wachtposten auf dem Biberlikopf (SG). – Ur-Schweiz 26.
- MAY, J.R. (1979): The application of waterborne geophysical techniques in fluvial environments. – Geotech. Lab. U.S. Arm. Eng. Waterways Exper. Stn. Rep. 3.
- SCHINDLER, C. (1976): Eine geologische Karte des Zürichsees und ihre Deutung. – Eclogae geol. Helv. 69/1, 125–138.
- TRÜMPY, R. (1969): Die helvetischen Decken der Ostschweiz: Versuch einer palinspastischen Korrelation und Ansätze zu einer kinematischen Analyse. – Eclogae geol. Helv. 62/1, 105–142.
- (1980): Geology of Switzerland – A guide-book (Part A). – Wepf, Basel.
- ZÜRCHER, JOH. (1971): Seismische Untersuchungen im Walenseegebiet. – Unveröff. Diplomarb. ETH Zürich.
- Geologische Karte*
- HEIM, ARN., & OBERHOLZER, J. (1907): Geologische Karte der Gebirge am Walensee. – Beitr. geol. Karte Schweiz [N. F.] 20, Spez.-Karte 44.

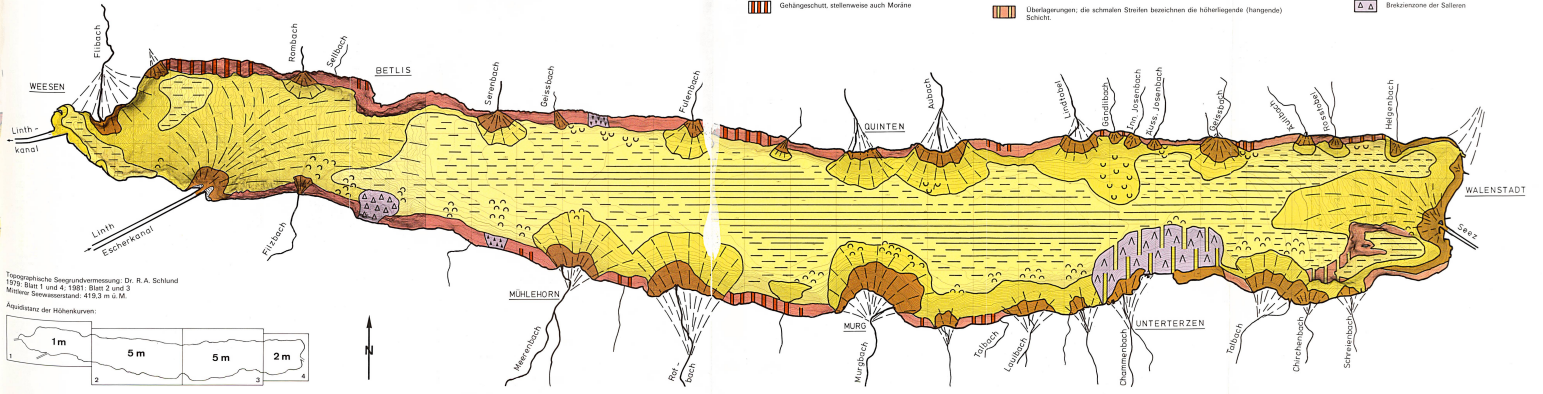
Geologische Karte des Walensees 1:25 000

Zusammengestellt unter Verwendung von seismischen Profilen, Echolotaufnahmen, Sedimententwürfen und Tauchbeobachtungen.
 Die vorliegende Karte ersatzlich die Resultate verschiedener geologisch-sedimentologischer Forschungsarbeiten seit 1970 als Synthese zu vereinen. Sie bedarf der Ergänzung und Korrektur durch weitere Untersuchungen und Beobachtungen.

- Fels und Lockergesteine**
- Fels
 - Kies
 - Sand
 - Schluff und Ton
 - in Vertikalschnitt oft wechsellagernd
 - Gehängeschutt, stellenweise auch Moosde

- Schichtung**
- Deutlich ausgebildete Schichtung (Wechsellagerung) silberer und toniger Sedimente im Millimeter bis Zentimeterbereich; karstische Einlagerungen aus Sand, selten auch Kies.
 - Diffuse Schichtung, meist infolge von Umlagerungen (Strömung, wühlende Organismen) oder von Einlagerungen organischer Reste (Blätter, Holz) und Bildung von Gasbläschen.
 - Umlagerungen; die schmalen Streifen bezeichnen die höherliegende (hängende) Schicht.

- Besondere Strukturen**
- Flussdelta und Bachschuttkegel
 - Erhöhte Sedimentmengen
 - Felsen (geschichtet)
 - Bergspur von Untertieren (postglazial)
 - Beckenzone der Salinen



Topographische Höhenvermessung: Dr. R. A. Schindl
 1979; Blatt 1 und 4, 1981; Blatt 2 und 3
 Mittelere Seewasserstand: 419,3 m ü. M.
 Äquidistanz der Höhenkurven:

