

Diss ETH 6146

GEOLOGICAL AND SEDIMENTARY
EVOLUTION OF
LAKES ZURICH AND ZUG, SWITZERLAND

ABHANDLUNG
zur Erlangung
des Titels eines Doktors der Naturwissenschaften
der
EIDGENOESSISCHEN
TECHNISCHEN
HOCHSCHULE
ZUERICH

vorgelegt von

KERRY KELTS

B.A. University of California
Riverside, California

Dipl. Geol. ETH

geboren am 3.Feb. 1947
von California, USA

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. K.J. Hsü, Referent
Prof. Dr. R. Trümpy, Koreferent

1978

ABSTRACT

Pleistocene to Recent sediments in Lake Zurich and Lake Zug were investigated with seismic and piston coring methods. The bedrock basins extend over 400 m below the water surface with 225 to 250 m of predominantly glacial and glaciolacustrine sediment. Basement features and discordant internal reflections indicate sedimentation from several glacier cycles. During some glacial advances, erosion must have been minimal. The seismic stratigraphy has been divided into six units in both lakes. Tectonic lineations are recognized in both lakes as some evidence of neotectonics.

The post glacial sediments in both lakes were found to have similar lithological trends which reflect synchronous climatic influences. Glaciolacustrine rhythmically laminated muds were encountered from 3 to 10 m below the sediment surface in both lakes. Pollen analysis, varve counts, radiocarbon and magnetic stratigraphy were combined to establish a time framework for sedimentation back to 13,500 years B.P. The sequence in both lakes was subdivided into 5 equivalent lithofacies which are considered chronostratigraphic units. Analyses show that the quantity of chemically precipitated calcite in the sediments is one of the most sensitive indicators of the environments of deposition. The units are: E) Millimeter-scale clastic rhythms deposited until the Bölling stage. D) At the end of the Late Glacial, fine clastic muds were slowly sedimented from 0.18 to 0.3mm/yr. The evidence suggests that glacial withdrawal from the basins was very rapid. The rise of indigenous organic activity is recorded as conspicuous, black iron-sulfide pigmentation. C) During the warm, dry Preboreal to Atlantic times, sediments are light gray to white chalks which also show slow sedimentation of 0.18 to 0.36 mm/yr. This indicates a reduction of detrital dilution as a result of heavy forestation and the complete withdrawal of glaciers from the drainage area. More than 70% of the basinal sediment is calcite precipitate. B) Cooler and wetter conditions from Subboreal to Subatlantic times are reflected in the sediments by diminishing calcite content and an increase in clastic influxes. Lake levels may have been low. Some calcite precipitation persists into the time of the "little ice age" although the carbonate curve reaches a minimum. A) During the last 90 years in Lake Zurich and 70 years in Lake Zug, sapropel-like, non-glacial varves formed on the lake bottom as a result of seasonal calcite precipitation and diatom blooms. Annual cycles were the

subject of SEM analysis. Crystals from recent calcite precipitate are irregular, porous polyhedra rather than perfect rhombs. Although bottom waters are undersaturated, SEM evidence suggests that most crystals reach the sediment with only moderate dissolution etching. Surface etching is selective, dependent on lattice directions. In the sediment, dissolution appears to be confined to the upper few centimeters. Although calcite precipitation in freshwater lakes seems to be the result of both biogenic and temperature inducements, some evidence suggests that the dominant mechanism has shifted since the Boreal chalks were sedimented.

Slump generated debris flows and turbidites were documented from the catastrophic events of Horgen, Lake Zurich, 1875 and Zug, 1887. The Horgen slide down a steep slope of 18-20° generated several progressive lithofacies types from each of the six or seven slump phases. In the mass flow, these include zones of chaotic sediments, mud-pebbles, homogenized mud and convolute folds. There is a transitional zone of coarse massive sand layers to proximal and distal turbidite facies. Fine graded lutites with a total bed thickness of 35 cm, ponded in the center of the basin 5 km from the source. Complications arise from the deflection of the turbidity currents by the counter slopes of the steep trough. The Zug slide on a gentle slope of 2-4° involved mostly silty-sands with low initial cohesion. The 1887 catastrophe occurred in two phases, each of which initiated a subaqueous mudflow slide of more or less cohesionless mass. The second phase traveled 1200 m, confirming Alb. Heim's original soundings. These flows do not appear to have generated a conspicuous sandy turbidite deposit, although stratigraphic problems hamper a definite correlation. Several parallels are drawn with the deposits from ancient slumps.

ZUSAMMENFASSUNG

Mit Hilfe seismischer und Kolbenlot-Methoden wurden die quartären und rezenten Sedimentfüllungen der randalpinen Zürichsee und Zugersee untersucht. Die maximale Tiefe dieser Molassefelsebenen reicht bis über 400 m unter den Seespiegel. Diese tiefen Tröge enthalten 225 m bis 250 m, hauptsächlich glaziale und glazio-lakustrische, Sedimente.

Sowohl die Geomorphologie vom Felsuntergrund wie auch diskordante, interne, akustische Reflexe deuten auf die Möglichkeit hin, dass mehrere Vorstoss- und Rückzugsphasen sowie Interstadialen ihre Sedimente im See zurückliessen.

Seismische Kriterien wurden dazu verwendet, die akustische Stratigraphie in beiden Seen in sechs äquivalente Einheiten einzuteilen. Beide zeigen eine tiefliegende Schicht mit sehr hoher Wellengeschwindigkeit, welche als Anzeichen für Zementierungsprozesse gilt.

Vergleiche mehrerer Landbohrungen zeigen, dass die überragende Sediment-Füllung sehr wahrscheinlich feinkörnigen glazio-lakustrischen Charakter aufweist, und dass dies scheinbar typisch ist für viele randalpine Täler. Beide Seebecken sind von tektonischen Linamenten vorgezeichnet, und gewisse Strukturen konnten ebenfalls durch Neotektonik erklärt werden.

Beide Seen zeigen einen sehr ähnlichen lithologischen Aufbau in den Sediment-Kernen, welche synchrone klimatische Einflüsse widerspiegeln.

Mit Hilfe von Pollenanalysen, Warven-Zählung, Radiokarbon, magnetischer Stratigraphie und lithologischer Korrelationen war es möglich, die Sediment-Entwicklung bis zu einem Zeitraum von ca. 13 500 Jahren zurückzuverfolgen.

Die postglaziale Serie beginnt zwischen 3 und 10 Metern im Seeboden mit rhythmisch laminiertem glazio-lakustrischem Lehm.

Die Sedimentationsvorgänge dieser Sapropell-Warven wurden mit Hilfe von Rasterelektronen-Mikroskopie (SEM) näher untersucht. Ausgefällte Kalzit-Kristalle (4 bis 30 μm gross) vom Epilimnion sind unregelmässig poröse Polyheder statt perfekte Rhomboeder. Obschon die tiefen Gewässer untersättigt sind, erreichen die meisten Kristalle nach SEM-Beobachtungen die Sediment-Oberfläche mit nur geringfügiger Anätzung. Die Auflösung der Kristalloberflächen ist selektiv und folgt zuerst entlang bestimmter Gitterrichtungen. Die Kristall-Auflösung setzt sich fort bis ca. 3 cm unter die Sedimentbedeckung. In den nächsten 30 cm im Kern ändert die Kristallmorphologie nur geringfügig. Kalzitausfällung im Pelagialbereich vom See scheint sowohl biogen-, wie auch temperaturinduziert. Unterschiede zwischen feinkörniger Boreal-Seekreide und rezenten Warven deuten möglicherweise auf eine Verschiebung des Hauptmechanismus hin. Die Auflösung früherer Diatomeen Schalen konnte nicht bestätigt werden.

Subaquatische Schlammströme und Turbidite, ausgelöst durch die historischen Rutschungen von Horgen, Zürichsee, 1875, und Zug, 1887, wurden mit Kernen und seismischen Aufnahmen verfolgt. Die Horgener Masse rutschte in sechs bis sieben Phasen über ein steiles Bord, 18-20°, 120 m in die Tiefe. Der Schlammstrom erodierte am Hang und Boden und reichte bis zur Seemitte. Vom Hangfuss auswärts konnten verschiedene progressive Lithofazies Typen beobachtet werden; wie chaotische Blöcke, "mud-pebble conglomerate", homogenisierter Schlamm und "slump folds". Ein wesentlicher Teil der Massen wurde wahrscheinlich noch am Hang in Suspension geworfen und als Trübestrom weiter in die Tiefe verfrachtet. Die äussere Schlammstrom-Zunge wird zum Teil mit einer dünnen Sand- oder gradierten Schicht überlagert.

Es gibt eine Uebergangszone mit groben, massigen Sandlagen, gefolgt von proximalen und distalen gradierten Schichten. Der Trübestrom wurde zuerst vom Gegenhang dieses tiefen Trogs etwa 90° umgelenkt, bevor er zur Beckenmitte weiterfuhr, was zu Schwierigkeiten einer mechanischen Analyse der Faziesentwicklung führt.

Feinkörnige, gradierte Lutite bis zu 35 cm mächtig wurden in der Beckenmitte in 5 km Entfernung angehäuft.

Die postglaziale Abfolge beider Seen wurde in fünf lithologische Einheiten eingeteilt, welche als Zeit-Equivalente angesehen werden. Der absolute Anteil an Karbonaten, insbesondere der Menge chemisch ausgefällter Karbonate, hat sich als einer der empfindlichsten Schlüssel zum Verständnis der Sedimentations-Milieus erwiesen.

Von unten sind die Einheiten:

E) millimeter-mächtig rhythmisch laminierte, klastische, feinkörnige, blau-graue Lehme bis etwa ins Bölling-Alter.

D) Im Spätglazial wurden feinkörnige, graue, klastische Lehme mit Geschwindigkeiten von 0.18 bis 0.4 mm/y abgelagert. Auch schalteten sich mehrere Rutschungen ein, möglicherweise als Indiz für starke Seespiegelsenkungen. Der Wechsel im Sedimentbild deutet auf einen sehr rapiden Gletscherrückzug hin. Das allmähliche Auftreten von schwarzen, eisensulfidreichen Lagen in diesen spätglazialen Lehmen deutet auf das Aufkommen starker, interner organischer Produktion im See hin. Manchmal werden Eutrophen Grenzen erreicht.

C) Während des warmen, trockenen Präboreal bis Atlantikum wurde hellgraue bis weisse Seekreide auch in der Seemitte abgelagert. Sedimentationsraten sind klein, zwischen 0.18 bis 0.36 mm/y. Ueber 70 % der Sedimente besteht aus chemisch ausgefälltem Kalzit. Diese karbonatreichen Schichten sind eher ein Zeichen fehlender detritischer Ueberprägung als zunehmender Kalkausfällung. Dichte Wälder und das Verschwinden von Gletschern aus den Einzugsgebieten dürften hiezu beigetragen haben.

B) Kühlere und nassere Verhältnisse während des Subboreal bis Subatlantikum werden durch Abnahme des Karbonatgehaltes und zunehmende Klastika gekennzeichnet. Eventuell war der Seespiegel aber niedriger als heute. Klimaeffekte werden aber auch gedämpft durch zunehmende Waldrodung. Auch während der Kleinen Eiszeit wird Kalzit im See noch ausgefällt, obwohl die Karbonatkurve ein Minimum erreicht.

A) Als Resultat der jährlichen Zyklen von Diatomeen Wachstum und Kalzit Ausfällung bildeten sich während der letzten 90 Jahre im Zürichsee und während 70 Jahren im Zugersee sapropellartige, nicht-glaziale Warven im tieferen Seeboden.

Schlamm sand eines Urdeltas rutschte in Zug am 5. Juli 1887 entlang eines subaquatischen Hangs von nur 2-4 % Neigung. Diese Katastrophe fand in zwei Phasen statt, beide verursachten zungenförmige, subaquatische Schlammströme. Kerne aus dieser Masse zeigen eine mehr oder weniger strukturlose Schlamm sandmasse, welche auf ein kohäsionsloses Fließen deutet. Neue Vermessungen bestätigen weitgehend die Beobachtungen von Albert Heim. Die zweite Phase erreichte eine Distanz leicht über 1200 m, erkenntlich an seismischen Profilen, und keilt dann rasch aus. Zum Teil wurden grössere Blöcke weit nach vorn verfrachtet. Diese Rutschungsereignisse scheinen aber keine bedeutende Fortsetzung als Trübestrome gefunden zu haben. Kerne am Hang und in der Beckenmitte zeigten keine gradierten Schichten, welche sich klar diesen Ereignissen zuordnen lassen, weil Schwierigkeiten mit genauer Korrelation auftreten. Beobachtungen der Horgen und Zug Typen von Rutschungen und ihr zugehöriger Schlammstrom- und Trübestrom-Ablagerungen können auf fossile Beispiele übertragen werden.