

Diss.ETH Nr. 6811

SEDIMENTOLOGISCHE UND GEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN
IM GREIFENSEE (KANTON ZUERICH, SCHWEIZ)

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN
der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

HANSPETER WEBER

Dipl.Natw.ETH

geboren am 28.10.1951

von Unterentfelden (Aargau)

Angenommen auf Antrag von:

Prof.Dr.K.J. Hsu , Referent

Prof.Dr.W. Stumm , Korreferent

1981

ABSTRACT

This paper attempts to establish the quantitative balance of calcium carbonate in Lake Greifensee (Switzerland) to further our understanding of the calcium carbonate sedimentation process in dilute hard-water lakes. I used a compilation of routine water chemical measurements, biomass productivity, regular trap samples and the sedimentological analysis of gravity and piston-cores of the recent to late glacial chalk-marl sediments.

Monthly water analyses show a fairly stable distribution of the chemical concentrations and even levels of temperature during the winter circulation period. At the beginning of summer the pH rises at surface level from 7.6 to 8.7 because of photosynthesis by phytoplankton. As a consequence the CO_3^{2-} concentration increases by a factor of 10 as the CO_2 concentration diminishes by the same factor.

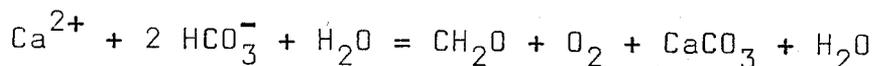
Chemical equilibrium calculations using "wateq" show that during summer month surface water becomes up to 24 times supersaturated with respect to calcite.

The recent summer trap samples contain more than 90% calcite and only 1-2% dolomite, whereas the winter sediment samples contain 30-40% calcite and 10-15% dolomite. The summer sediments are composed mostly of authigenic calcite, whereas the winter sediments contain almost entirely detritic carbonate.

Mass balance calculations (River input minus River output) for dissolved carbonate show that $22 \text{ mol/m}^2 \cdot \text{year}$ calcite precipitates. The total yearly sediment-accumulation rate is about 1700 g/m^2 . 66% (or $1200 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$) is composed of authigenic calcite and 7% (or $120 \text{ g/m}^2 \cdot \text{y}$) consists of organic carbon, the rest are detritic minerals. Dissolution of sedimented calcite is minor.

The primary biological production in the lake is $430 \text{ gC/m}^2 \cdot \text{y}$ (=36 mol). Most of the biomass produced in the epilimnion decomposes in the water column. Only ~30% is sedimented as dead organic matter.

The process of photosynthetically-induced carbonate precipitation can be summarized in the following equation:



Where for 2 moles of bicarbonate consumed one mole calcite and one mole organic matter are produced.

The authigenic carbonate production during summer is about 10 to 20 g/m²·day, it is composed of almost pure calcite (1-2 mol% MgCO₃). The measured oxygen-18 in the recent calcite ranges from -7.7⁰/oo to -12.2⁰/oo (PDB), the carbon-13 from -4.0⁰/oo to -8.0⁰/oo (PDB).

The top 6 metre sediment layer is mostly laminated lacustrine "chalk" and lacustrine "marls". The top 20 centimetres of it are black sapropelic muddy varves. Below the 6 metre sediment level there are "Seebodenlehm"-sediments, a detritic mud. Calcite sedimentation started about 12'000 years ago.

Because of the eutrophication of the lake in our century, the recent accumulation rate of authigenic calcite is much greater (10 to 20 times) than in the older sediments.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit versucht im Greifensee eine quantitative Karbonat-Bilanz, als Beitrag zum Verständnis der Kalzitausfällung in verdünnten Hartwasserseen, aufzustellen. Dazu wurden chemische See-wasseranalysen, Biomassen-Produktionsdaten, Sedimentiergefäßproben (während einem Jahr in verschiedenen Wassertiefen aufgefangene Sedimente) und sedimentologische Analysen von Kurzkernen und Kolbenlotkernen der rezenten bis spätglazialen Sedimente verwendet.

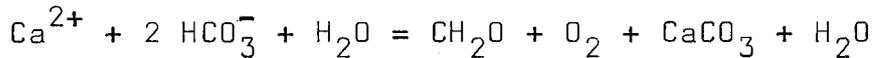
Aus den monatlichen Wasseranalysen ist ersichtlich, dass der See im Tiefenprofil während der Zirkulationsperiode im Winter eine ziemlich konstante chemische Zusammensetzung aufweist. Im Frühling steigt der pH im Oberflächenwasser wegen der Photosynthese des Phytoplanktons von ca. 7.6 auf 8.7 an. Parallel mit dieser pH-Erhöhung verschiebt sich das Karbonatgleichgewicht, die Karbonationenkonzentration nimmt um einen Faktor von 10 zu, während die Kohlensäurekonzentration im selben Masse abnimmt. Nach den Kalzitsättigungsberechnungen mit dem Wateq-Komputerprogramm ist das Oberflächenwasser im Sommer bis zu 24 fach übersättigt. Die theoretischen Berechnungen, die chemischen Wasseranalysen und die Sedimentuntersuchungen deuten daraufhin, dass Kalzit aus dem Oberflächenwasser ausfallen muss. Sowohl die Kalzium-, als auch die Bikarbonatkonzentration verringern sich um ca. 50%.

Die mit den Sedimentiergefäßen aufgefangenen rezenten Sedimente enthalten im Sommer mehr als 90% Kalzit und nur 1-2% Dolomit, im Winter aber 30-40% Kalzit und 10-15% Dolomit. In den rein detritischen Flusssedimenten wurde ein Kalzit/Dolomit-Verhältnis von 2:1 bestimmt, so dass das Sommersediment mehrheitlich aus authigenem Kalzit bestehen muss, während die Wintersedimente praktisch nur detritische Karbonate enthalten.

Aus der Bilanz (Input minus Output) des gelösten Karbonates lässt sich berechnen, dass der Rückhalt des Bikarbonates im See jährlich 22 mol/m^2 ausmacht. Die totale jährliche Sediment-Akkumulationsrate beträgt im Pelagial des Greifensees ca. 1700 g/m^2 , davon sind 66% ($1200 \text{ g/m}^2 = 12 \text{ mol}$) authigener Kalzit und 7% ($120 \text{ g/m}^2 = 10 \text{ mol}$) organischer Kohlenstoff.

Die jährliche Assimilationsrate des Phytoplanktons beträgt 430 g C/m^2 (36 mol). Da der grössere Teil des organischen Kohlenstoffes ständig im Epilimnion zirkulieren, kommen nur 30% davon ($120 \text{ g/m}^2 = 10 \text{ mol}$) zur Sedimentation.

Der Mechanismus der photosynthetischen Karbonatausfällung lässt sich mit der folgenden Gleichung verdeutlichen:



Pro 2 mol verbrauchtes Bikarbonat wird 1 mol Kalzit und 1 mol organisches Material produziert.

Im Sommer werden durchschnittlich 10 bis 20 $\text{g/m}^2 \cdot \text{Tag}$ authigener Kalzit ausgefällt. Der fast reine Kalzit hat einen sehr geringen Mg-Gehalt (1-2%), welcher mit dem Mg/Ca-Verhältnis des Wassers variiert.

Die gemessenen Sauerstoff-18 Isotopen in den rezenten Karbonatsedimenten liegen zwischen $-7.7^{\circ}/\text{oo}$ und $-12.2^{\circ}/\text{oo}$ (PDB), die Kohlenstoff-13 Isotopen zwischen $-4.0^{\circ}/\text{oo}$ und $-8.0^{\circ}/\text{oo}$ (PDB). Nach den Isotopengleichgewichtsberechnungen (Epstein-Gleichung) sind die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im authigenen Kalzit bis zu $2.5^{\circ}/\text{oo}$ zu leicht, relativ zum $\delta^{18}\text{O}$ des Seewassers. Die grössten Abweichungen wurden im Frühling, bei niedrigen Wassertemperaturen beobachtet. Bezogen auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ist der ausgefällte Kalzit durchwegs um ca. $2.5^{\circ}/\text{oo}$ zu schwer, relativ zum $\delta^{13}\text{C}$ des Seewassers. Die höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Kalzit wurden im Sommer bei der maximalen biologischen Produktion gemessen, da dann das leichtere Kohlenstoff-12 bevorzugt photosynthetisiert wird.

Bei den Kolbenlot-Sedimentkernen im Pelagial des Greifensees bestehen die obersten 6 Meter Sediment aus Seekreide und Seekreidemergeln mit einem durchschnittlichen Gehalt an authigenem Kalzit von 65%. Der erbohrte Seebodenlehm unterhalb von 6 Metern Sedimenttiefe gehört nach Pollenanalysen der ältesten Dryas an. Die Seebodenlehm/Seekreide-Grenze liegt bei ca. 12'000 Jahren B.P. Die jährlichen Sediment-Akkumulationsraten und die Korngrössen der authigenen Kalzitkristalle steigen in den jüngsten Sedimenten infolge der zunehmenden biologischen Produktion (Eutrophierung) stark an.