



Doctoral Thesis

**Isotopengeochemische Untersuchungen ( $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ ) im Wasser und in den Sedimenten des Soppensees (Kt. Luzern, Schweiz)  
Klimaveränderungen und Entwicklungsgeschichte des Sees seit dem Spätglazial**

**Author(s):**

Fischer, Andrzej

**Publication Date:**

1996

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001755548> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 11'924

**ISOTOPENGEOCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN ( $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$ )  
IM WASSER UND IN DEN SEDIMENTEN DES SOPPENSEES  
(Kt. Luzern, Schweiz)**

**Klimaveränderungen und Entwicklungsgeschichte des Sees  
seit dem Spätglazial**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN

der EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

**Andrzej Fischer**

Dipl. Phil. II, Geologie, Universität Zürich

geboren am 15. November 1959

von Zürich, ZH

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. J.A. McKenzie

Dr. M. Sturm

Prof. Dr. B. Amman

Referentin

Korreferent

Korreferentin

## ZUSAMMENFASSUNG

### Untersuchungen im Wasser

Im Pelagial des eutrophen Soppensees (Kt. Luzern, Schweiz) wurde die saisonale Entwicklung der Eigenschaften des Wassers und der Sedimentation während eines Jahres untersucht. Das Interesse richtete dabei sich auf diejenigen Prozesse und Wechselwirkungen, welche bei der biologisch induzierten, anorganischen Calcit ausfällung zum  $\delta^{18}\text{O}$  und  $\delta^{13}\text{C}$  im authigenen Calcit führen.

Von März 1994 bis Januar 1995 wurden in ca. monatlichen Abständen die physikalisch-chemischen Parameter des Wassers von der Wasseroberfläche bis an die Sediment/Wasser Grenze bestimmt. Die Sedimentation im See wurde während dieser Zeitspanne mit Sedimentfallen in 7 m (unterhalb Epilimnion/Hypolimnion-Grenze) und in 19 m (oberhalb Sediment/Wassergrenze) verfolgt. In der untersuchten Periode konnten im Soppensee zwei Phasen der Calcit-sedimentation unterschieden werden. Die Phase biologisch induzierter, hoher anorganischer Calcit ausfällung im Sommer umfasste die Zeitspanne von Mitte Juni bis Anfang September. Maximale Calcit-Akkumulationsraten um ca. 5 - 6  $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$  wurden im Juli und August beobachtet. Die Phase geringer authigener Calcit ausfällung beinhaltete den Rest des Jahres. Bedingt durch die Wiederablagerung von resuspendiertem Sedimentmaterial, traten auch in dieser Phase zeitweise sehr hohe Calcit-Akkumulationsraten (bis ca. 4.5  $\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$ ) auf.

Die  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im sedimentierten Calcit entsprachen während der Phase hoher authigener Calcit ausfällung im Sommer, den für das Epilimnion aus den Wassertemperaturen und dem  $\delta^{18}\text{O}$  des Wassers berechneten Gleichgewichtswerten für anorganisch ausfallenden Calcit. Aufgrund dieser Übereinstimmung wird bei der anorganischen Calcit ausfällung für das  $\delta^{18}\text{O}$  isotopisches Gleichgewicht angenommen. Bei geringen Calcit fällungsraten im Frühling, Herbst und Winter wurden im sedimentierten Calcit bis 3 ‰ negativere  $\delta^{18}\text{O}$ -Werte im Vergleich zu Gleichgewichtswerten beobachtet. Diese entstanden aus der Mischung von im Epilimnion gefälltem Calcit und resedimentierten Calcitanteilen.

Die photosynthetische Aktivität des Phytoplanktons führte im Epilimnion im Verlauf des Frühlings und Sommers bei zunehmender biologischer Produktivität zur kontinuierlichen Abreicherung des gelösten anorganischen Kohlenstoffs (DIC) an leichtem  $^{12}\text{C}$  und so zu positiveren  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im DIC. Beim Einsetzen hoher authigener Calcit ausfällung Mitte Juni zeigten die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im sedimentierten Calcit einen markanten negativen Shift von ca. 4 ‰. Gleichzeitig dazu reduzierte sich die C-Isotopen Fraktionierung zwischen gelöstem

anorganischen Kohlenstoff (DIC) und Calcit um ca. 5 ‰. Während der Phase hoher authigener Calcit ausfällung und bei hoher biologischer Produktivität im Sommer, entsprachen die  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Calcit, im Gegensatz zum  $\delta^{18}\text{O}$ , nicht den berechneten Gleichgewichtswerten für ausfallenden Calcit. Gemessene  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte waren maximal um ca. 1.5 ‰ negativer als Gleichgewichtswerte. Daraus wird für das  $\delta^{13}\text{C}$  im anorganisch ausfallenden Calcit isotopisches Ungleichgewicht mit dem DIC abgeleitet. Dieses wird als Folge kinetischer C-Isotopenfraktionierung bei hohen Calcitfällungsraten interpretiert (Turner 1989). Die Beobachtungen im Soppensee stehen im Gegensatz zu Resultaten aus dem Greifensee, wo für das  $\delta^{13}\text{C}$  im authigenen Calcit kein isotopisches Ungleichgewicht mit dem DIC und zunehmende  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Calcit bei zunehmender Produktivität beobachtet wurden (Hollander 1989).

### **Untersuchungen in den Sedimenten**

In den gewarnten Sedimenten des Soppensees widerspiegeln die spätglazialen Schwankungen des  $\delta^{18}\text{O}$  im authigenen Calcit die damaligen Veränderungen des Klimas. Das Ende der letzten Eiszeit, die rapide Erwärmung am Ende der Jüngeren Dryas, ist durch einen sprunghaften positiven  $\delta^{18}\text{O}$ -Shift von 2 ‰ charakterisiert. Aufgrund von Warvenzählungen in den Sedimenten ergibt sich eine Dauer von 30 - 60 Jahren für diesen  $\delta^{18}\text{O}$ -Shift.

In den Sedimenten zahlreicher Seen des schweizer Mittellands und der schweizer Voralpen ist die klimatische Erwärmung am Ende der Jüngeren Dryas einheitlich durch einen positiven  $\delta^{18}\text{O}$ -Shift im authigenen Calcit von durchschnittlich 2 bis 2.5 ‰ gekennzeichnet (e.g. Eicher 1979, Eicher 1987, Lotter et al. 1992c). Dieser  $\delta^{18}\text{O}$ -Shift widerspiegelt die damalige Veränderung des  $\delta^{18}\text{O}$  im Wasser der Seen und dokumentiert so die regionale Veränderung des  $\delta^{18}\text{O}$  in den Niederschlägen. Gemäss der heute beobachteten Abhängigkeit des  $\delta^{18}\text{O}$  in Niederschlägen von der Lufttemperatur (in kontinentalen Lagen 0.5 - 0.6 ‰/°C), kann anhand des  $\delta^{18}\text{O}$ -Shifts im authigenen Calcit der Seesedimente auf eine Erhöhung der mittleren Jahrestemperaturen um mind. 3 - 5 °C am Ende der Jüngeren Dryas geschlossen werden.

Die in den jährlich laminierten Sedimenten des Soppensee rekonstruierten Änderungsrate und das absolute Alter (Hajdas et al. 1993) der klimatischen Veränderung am Ende der Jüngeren Dryas stimmen gut mit publizierten Resultaten aus jährlich laminierten kontinental-europäischen Archiven und Grönland-Eiskernen überein. Die Gesamtheit dieser Daten weist auf eine synchrone klimatische Erwärmung in Europa und der Arktis innerhalb weniger

Jahrzehnte. Die plausibelste Ursache für diese klimatische Veränderung stellt die rapide Reorganisation der thermohalinen ozeanischen Zirkulation im Nordatlantik dar. Dies führte in sehr kurzer Zeit zur Verlagerung der atmosphärischen Bedingungen und auf diese Weise auch der Temperaturverhältnisse im Einflussbereich des Nordatlantiks (Broecker & Denton 1990).

Die Veränderungen des  $\delta^{13}\text{C}$  im authigenen Calcit zeigen sowohl in den Spätglazialen bis Mittelholozänen Sedimenten als auch in den rezenten Sedimenten des Soppensees keine Korrelation mit der Entwicklung der biologischen Produktivität. Dies steht im Gegensatz zu Beobachtungen in rezenten Sedimenten des Greifensees, wo bei zunehmender Produktivität zunehmende  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im authigenen Calcit beobachtet wurden (Hollander 1989). Im Falle des Soppensees verhinderten möglicherweise Phasen der Calcit ausfällung im isotopischen Ungleichgewicht mit dem DIC die parallele Entwicklung der  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im authigenen Calcit und der biologischen Produktivität.

## ABSTRACT

### The Annual Cycle of Soppensee

The seasonal evolution of water properties and sedimentation was monitored in the pelagial of eutrophic Soppensee (Central Switzerland, Kt. Lucerne) during one year (1994/95). Attention was focused on the processes controlling  $\delta^{18}\text{O}$ - and  $\delta^{13}\text{C}$  in the calcite at biologically induced inorganic calcite precipitation.

Physical and chemical properties of the water were determined through the entire water column in the centre of the lake in about monthly intervals. Sedimented material was collected with sediment traps in 7 m (below epilimnion/hypolimnion boundary) and in 19 m water depth (above sediment/water interface).

Two phases of calcite sedimentation were distinguished in the investigated period in Soppensee. Biologically induced, high inorganic calcite precipitation, with calcite accumulation rates up to  $5 - 6 \text{ g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$ , occurred in the summer months. Inorganic authigenic calcite precipitation was reduced during the rest of the year. High calcite accumulation rates observed in this phase (up to  $4.5 \text{ g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}^{-1}$ ), were due to the sedimentation of resuspended material.

During high inorganic calcite precipitation in summer, measured  $\delta^{18}\text{O}$ -values of sedimented calcite corresponded to calculated equilibrium values for precipitating calcite. Because of this correspondence, O-isotopic equilibrium with temperature and  $\delta^{18}\text{O}$  of the water is assumed for inorganic calcite precipitation. In the period of low inorganic calcite precipitation, measured  $\delta^{18}\text{O}$ -values in sedimented calcite were up to 3 ‰ more negative than calculated equilibrium values. This was probably caused by the mixture of currently precipitated and of resuspended calcite in the sedimented material.

With increasing biologic productivity during spring and summer, the photosynthetic activity of phytoplankton led to  $^{12}\text{C}$  enrichment of the dissolved inorganic carbon (DIC) in the epilimnion and thus to a positive trend of  $\delta^{13}\text{C}$ -values in the DIC. With the onset of biologically induced, high inorganic calcite precipitation in early summer, C-isotopic fractionation between dissolved inorganic carbon (DIC) and calcite was reduced significantly (ca. 5 ‰). This caused a negative shift of  $\delta^{13}\text{C}$ -values in precipitated calcite of ca. 4 ‰. During the entire phase of high inorganic calcite precipitation and at high productivity conditions in the lake in summer, there was no correspondence between measured  $\delta^{13}\text{C}$ -values of sedimented calcite and calculated equilibrium  $\delta^{13}\text{C}$ -values for precipitating calcite. Measured  $\delta^{13}\text{C}$ -values were up to 1.5 ‰ more negative than the calculated  $\delta^{13}\text{C}$ . Therefore, in contrast to the  $\delta^{18}\text{O}$ , C-isotopic disequilibrium with DIC is assumed for authigenic inorganic calcite precipitation. This is interpreted as a result of kinetic C-isotope fractionation at high calcite precipitation rates (Turner

1989). The observations in Soppensee contrast with results from Greifensee, where no indications for C-isotopic disequilibrium calcite precipitation and a positive trend of  $\delta^{13}\text{C}$ -values in precipitating calcite with increasing productivity were observed (Hollander 1989).

### **The Sediments of Soppensee**

In the varved sediments of Soppensee Late Glacial fluctuations of  $\delta^{18}\text{O}$  in authigenic calcite mirror the climatic evolution of this time. The termination of the last Glacial, the climatic warming at the end of Younger Dryas, is represented by a rapid positive  $\delta^{18}\text{O}$ -shift of 2 ‰. According to varve countings, a duration of 30 - 60 years was determined for this isotopic transition.

In the sediments of numerous lakes of the Swiss plateau and the Swiss Alpine foreland, the climatic change from Younger Dryas to Preboreal is marked by an average positive  $\delta^{18}\text{O}$ -shift in authigenic calcite of 2 - 2.5 ‰. This uniform isotopic shift is attributed to a change of mean  $\delta^{18}\text{O}$  in the lake waters and it thus documents the regional change of  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation at this time. According to the present day relationships between air-temperatures and  $\delta^{18}\text{O}$ -values in precipitation (in continental areas 0.5 - 0.6 ‰/°C), this  $\delta^{18}\text{O}$ -shift points to a rise of at least 3 - 5 °C in mean annual temperature at the climatic change from Younger Dryas to Preboreal.

The Absolute age (Hajdas et al. 1993) and the rates of change, which were reconstructed in the annually laminated sediments of Soppensee for the climatic change at the end of Younger Dryas, agree well with corresponding published results from annually laminated continental European archives and Greenland ice-cores. These data together indicate a rapid and synchronous climatic change within a few decades in a European to Arctic region. The most plausible trigger for such a widespread, simultaneous and rapid change of climate is the fast reorganisation of thermohaline oceanic circulation in the N-Atlantic, causing a new distribution of temperatures and atmospheric conditions within reach of influence of the N-Atlantic ocean (Broecker & Denton 1990).

In the Late-Glacial to middle Holocene sediments and in the recent sediments of Soppensee  $\delta^{13}\text{C}$ -values in authigenic calcite do not vary correspondingly to the evolution of primary productivity in the lake. This is in contrast to observations in recent sediments of Greifensee (Hollander 1989), where increasing  $\delta^{13}\text{C}$ -values in authigenic calcite mirror increasing productivity conditions in the lake. In Soppensee, phases of C-isotopic disequilibrium between calcite and DIC possibly prevented parallel evolution of  $\delta^{13}\text{C}$  trends in authigenic calcite and primary productivity.