

Diss. ETH ex. B

Diss. ETH Nr. 11786

Paläoklimarekonstruktion am Van See
(Ostanatolien, Türkei)

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
Gerry Lemcke
Dipl. Geol. Georg August Universität Göttingen (BRD)
geboren am 3. April 1966
in Göttingen (BRD)

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. D. M. Imboden
Prof. Dr. J. A. McKenzie
Dr. M. Sturm



CatE

Kurzfassung

Die Sedimente des Van Sees, des viertgrößten hydrologisch geschlossenen Seesystems der Erde, zeigen eine kontinuierliche, ungestörte, jahresweise Abfolge chemisch gefällter Karbonatlaminae. Diese Varvenfolge wurde ausgezählt und bildete die Grundlage, um *Häufigkeit*, *Dauer* und *Geschwindigkeit* von Klimaänderungen der letzten 14720 ± 426 Jahre vor heute in der Region des Van Sees, dem ostanatolischen Bergland, zu rekonstruieren.

Insgesamt 24 verschiedene mineralogische und geochemische Parameter wurden mit einer zeitlichen Auflösung zwischen 9 und 180 Jahren hinsichtlich ihrer Eignung als Paläoklimaproxy untersucht. Der Gesamtsedimenteintrag während des Holozäns war nahezu konstant und betrug im Mittel $185 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$. Deutlich höhere Werte kennzeichnen nur das Spätglazial, insbesondere den Zeitraum zwischen 12000-10460 Jahren vor heute, mit bis zu $360 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$. Korrelations- und Hauptkomponentenanalysen zeigen, daß der Anteil allochthoner Sedimente, charakterisiert durch die Akkumulation von Al, Fe und Quarz, während des Holozäns ebenfalls konstant blieb. Demgegenüber zeichnet sich die Karbonatsedimentation durch stark wechselnde Proportionen zwischen den überwiegend präzipitierten Mineralen Calcit, Aragonit und Magnesiumcalcit aus. Über eine Massenbilanz wurde abgesichert, daß diese Karbonate ausschließlich autochthon gebildet wurden.

Es wurde ein Modell erstellt, das zeigt, daß alle dem See zufließenden Ca^{2+} -Ionen aufgrund der extremen Karbonatsättigung des Seewassers ($\Sigma\text{CO}_2 = 82.5 \text{ mmol l}^{-1}$) im Verlauf eines Jahres vollständig gefällt werden. Die gelöste Ca^{2+} -Konzentration bleibt nahezu konstant (0.10 mmol l^{-1}). Die jährlich gefällten Karbonate des Van See Sedimentes werden damit zum zentralen "Datenträger" für Paläoklimainformationen. Vor diesem Hintergrund wurde ein spezielles Aufschlußverfahren entwickelt, das es erlaubt, selektiv nur die Mg/Ca- und Sr/Ca-Verhältnisse aus den autochthonen Karbonaten einer Gesamtsedimentprobe zu isolieren. Damit kann eine Anreicherung von Mg und Sr im Karbonat, insbesondere geeignet ist Mg, als empfindliches Proxy für Salinitätsänderungen (Seespiegelschwankungen) eingesetzt werden.

Über ein isotopisch-hydrologisches Gleichgewichtsmodell wurde die Anreicherung von $\delta^{18}\text{O}$ im Van See Wasser quantifiziert. Es wurde nachgewiesen, daß die beobachteten Variationen im $\delta^{18}\text{O}$ -Signal der Karbonate vor allem über Änderungen des Verdunstungsflusses erklärt werden können. Es ist somit möglich, aus den $\delta^{18}\text{O}$ -Werten der Van See Karbonate Paläofeuchten zu rekonstruieren und damit Variationen in der Aridität des Van See Einzugsgebietes zu beschreiben.

Das CO_2 im Karbonatreservoir des Van See Wassers stand während des Spätglazials,

analog der heutigen Situation, im isotopischen Gleichgewicht mit dem atmosphärischen CO₂. Die Rate einer δ¹³C_{DIC}-Anreicherung als Folge eines atmosphärischen CO₂-Gasaustausches von heute 18 mol m⁻²a⁻¹ beträgt 1.8‰ pro 1000 Jahre. Aquatische Photoautotrophe führen zu einer δ¹³C-Anreicherung von 0.5-0.9‰ pro 1000 Jahre. Eine Änderung dieser Situation erfolgte zwischen 8556-2000 Jahren vor heute. In dieser Zeit sank das δ¹³C der autochthonen Karbonate von 4.8‰ auf 2.2‰. Ursache der Abnahme war die verstärkte ¹²C_{DIC}/¹³C_{DIC}-Fraktionierung der Oberflächenwässer mit zunehmender terrestrischer Vegetationsdichte. Ein Beleg für diesen Zusammenhang ist das erst- und einmalige Auftreten einer ausgeprägten Vegetationsbedeckung im Einzugsgebiet des Sees. Dies geht aus dem neuerstellten Pollendiagramm hervor.

Faßt man die Ergebnisse zusammen, dann können für die Van See Region insgesamt acht Klimaphasen unterschieden werden: (1) vor 13500 a, (2) 13500-12900 a, (3) 12900-11550 a, (4) 11550-10460 a, (5) 10460-8190, (6) 8190-4200 a, (7) 4200-2100 a und (8) 2100 a bis heute. Eine gegenüber heute markant erhöhte Aridität charakterisierte die Klimaphasen 2, 4 und 7. Deutlich humidere Bedingungen kennzeichneten die Phase 6. Die Klimaphasen 1, 3 und 5 entsprachen in ihrem Klima etwa der heutigen Situation (Phase 8).

Der extreme Ariditätsschub der Klimaphase 4 - die relative Feuchte sank von 0.58 auf 0.48, der Seespiegel um bis zu 260 m - entspricht in Dauer (1090 a), Verlauf und Änderungsraten dem europäischen Kaltereignis der Jüngeren Dryas. Der Übergang ins Präboreal erfolgte nach Pollen-, Mg/Ca- und δ¹⁸O-Analysen innerhalb von 10-50 Jahren.

Von archäologischer Seite wurde die Hypothese formuliert, wonach der Untergang und die Migrationsbewegungen zahlreicher früher mesopotamischer Hochkulturen ab 4100 a vor heute auf eine markante Klimaverschlechterung (Dürre) zurückzuführen sind. Mit dem Nachweis zunehmender Aridität ab 4200 a vor heute in der Van See Region kann diese Hypothese unterstützt werden.

Diese Arbeit zeigt, daß ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen dem Einsetzen zunehmender Aridität der Van See Region und markant kühleren Klimabedingungen in Europa besteht (und umgekehrt). Eine qualitativ gute Übereinstimmung zwischen einzelnen Ariditätsschüben/Kaltphasen und ¹⁴C-Aktivitätsmaxima (Sonnenaktivitätsminima) liefert Grundlagen für die Hypothese, wonach Änderungen der Sonnenaktivität als mögliche Auslöser synchroner Klimaänderungen im Holozän verantwortlich sind.

Abstract

The sediments of Lake Van, the fourth largest hydrologically closed lake system on earth, contain a continual, undisturbed sequence of chemically precipitated annual carbonate laminae. This varve sequence was counted, and forms the basis for a reconstruction of the *frequency, duration and rate* of climate changes occurring during the last 14720 ± 426 yr in the mountainous region of eastern Anatolia in which the lake is situated.

With a temporal resolution of between 9 and 180 yr, the suitability of a total of 24 different mineralogical and geochemical parameters as proxy palaeoclimate data was assessed. During the Holocene, total sedimentation rates were virtually stable at a mean around $185 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$. Significantly higher values than this occurred only during the Late Glacial, especially from 12000-10460 BP, with values of up to $360 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$. Correlation and principal components analyses show that the proportion of allochthonous sediment, characterized by the accumulation of Al, Fe and quartz, also remained constant during the entire Holocene. In contrast, carbonate sedimentation was distinguished by strong variations in the proportions of the predominant minerals precipitated out, *viz.* calcite, aragonite and magnesium calcite. Mass balance calculations confirmed that these carbonates were exclusively autochthonous in origin.

A model was constructed which showed that all Ca^{2+} ions entering the lake are precipitated out during the course of the year, due to the extremely high degree of carbonate saturation of the lake water ($\Sigma\text{CO}_2 = 82.5 \text{ mmol l}^{-1}$). The concentration of dissolved Ca^{2+} ions remains virtually constant at 0.10 mmol l^{-1} . The annually precipitated carbonates of Lake Van can therefore be regarded as the main palaeoclimatic "data carrier". With this background in mind, a special chemical technique was developed to separate out the autochthonous carbonates of a bulk sediment sample in order to determine the Mg/Ca and Sr/Ca ratios of the autochthonous carbonates alone. The degree of enrichment of the carbonates with Mg and Sr, especially with the former, can thus be employed as a sensitive proxy for changes in salinity (*i.e.* changes in lake level).

The enrichment of $\delta^{18}\text{O}$ in Lake Van water was quantified using an isotopic-hydrological equilibrium model. It was shown that the observed variations in the carbonate $\delta^{18}\text{O}$ signal can be explained mainly in terms of changes in the evaporative mass flux. It is therefore possible to reconstruct palaeohumidities based on the $\delta^{18}\text{O}$ values of the Lake Van carbonates, and hence to describe variations in the aridity of the Lake Van catchment area.

Analogous to the situation prevailing today, the CO_2 of the carbonate reservoir of the Lake Van water during the Late Glacial was in isotopic equilibrium with atmospheric

CO₂. Rates of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ enrichment due to gas exchange with the atmosphere (currently $18 \text{ mol m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) were 1.8‰ per 1000 yr. The activities of aquatic photoautotrophs lead to an $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ enrichment of $0.5\text{--}0.9\text{‰}$ per 1000 yr. This situation changed during the period 8556–2000 BP, when the $\delta^{13}\text{C}$ values of the autochthonous carbonates sank from 4.8‰ to 2.2‰ . The cause of this isotopic impoverishment was an increase in $^{12}\text{C}_{\text{DIC}}/^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ fractionation in the surface water associated with an increase in terrestrial vegetation density. Evidence for this interpretation is supplied by a newly constructed pollen diagram showing the first and only occurrence of a period of marked vegetation cover in the catchment area of the lake during this period.

Summarising the results, a total of eight climate phases can be distinguished for the Lake Van region: (1) before 13500 BP; (2) 13500–12900 BP; (3) 12900–11550 BP; (4) 11550–10460 BP; (5) 10460–8190 BP; (6) 8190–4200 BP; (7) 4200–2100 BP; and (8) 2100 BP to the present. Phases 2, 4 and 7 were much more arid than today, Phase 6 more humid, and Phases 1, 3, and 5 similar to the situation prevailing today (Phase 8).

The extreme aridity event of Phase 4, when the relative humidity sank from 0.58 to 0.48 and the lake level fell by as much as 260 m, corresponds in duration (1090 yr), pattern and rate of change with the European Younger Dryas cold event. Based on analyses of pollen, Mg/Ca and $\delta^{18}\text{O}$, the transition from the Younger Dryas to the Preboreal lasted 10–50 yr.

Archaeologists have advanced the hypothesis that the decline and migration of many of the earlier Mesopotamian cultures subsequent to 4100 BP was the result of a marked worsening of climatic conditions, i.e., drought. The evidence brought here of increasing aridity in the Lake Van region beginning in 4200 BP supports this hypothesis.

This study demonstrates the synchronous occurrence of aridity in the Lake Van region and cool climate conditions in Europe. Good qualitative agreement between individual arid/cool phases and ^{14}C maxima (solar activity minima) lend credence to the hypothesis that changes in solar activity may trigger synchronous changes in climate during the Holocene.