

3-21 Die laminierten Sedimente des Suigetsu-Sees, Japan

Weder Nachweis von Jahresschichten noch von 50.000 Kalenderjahren – modellierte „Warven“-chronologie wird in den ¹⁴C-Altersrahmen eingepasst

Suigetsu-Seesedimente – Ablagerungen im Jahresrhythmus?

In einer Pressemitteilung des Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ vom 19. 10. 2012¹ wird von einer in 2006 durchgeführten Bohrkampagne im japanischen Suigetsu-See (Abb. 1 und 2) berichtet. Dessen laminierte² Seesedimente werden als Jahresschichten interpretiert. Die geschichteten Ablagerungen sollen „mit einer jahreszeitlichen Auflösung bis über 50.000 Jahre zurück reichen.“ Das Hauptziel des Projektes „Suigetsu Varves 2006“ war, eine genauere Eichung von Radiokohlenstoffdatierungen für den Zeitabschnitt von 12.500 bis etwa 50.000 ¹⁴C-Jahren jenseits der Dendrokali-brierung zu ermöglichen.

Es stellt sich die Frage, ob eine jahreszeitliche Prägung der laminierten Sedimente (Warvierung) nachgewiesen wurde und ob die Schichtenzeitskala unabhängig, frei von anderen Altersbestimmungsmethoden, entwickelt wurde.

Die Bohrkampagne 1991/1993

Der Bohrkampagne in 2006 (SG06) war bereits eine Bohrkampagne in 1991/1993 (SG93) vorausgegangen, die mehrere Sedimentkerne bis in eine Tiefe von 75 m förderte (KITAGAWA et al. 1995, KITAGAWA & VAN DER PLICHT 1998a, 1998b, 2000). Den laminierten Abschnitt beschrieben KITAGAWA et al. als einen ausgeprägten Hell/Dunkel-Wechsel von Feinlagen, die sie jeweils einer Saison des Jahres zuordneten: „Die Laminae bestehen aus zwei Lagen; die tonmineralarme und diatomeenreiche hellfarbige Lage (korrespondierend mit der Diatomeenblüte im Frühjahr) und die tonmineral- und orga-

nischreiche dunkelfarbige Lage (korrespondierend mit den Ablagerungen im Herbst/Winter). Auch sind Siderit (FeCO₃) und Pyrit (FeS₂) zwischen den zwei Lagen konzentriert (...).“



Abb. 1 Suigetsu-See bei Mikata am Japanischen Meer. (Foto: Achim Brauer/GFZ)

Suigetsu-See kompakt

Lokalität: Honshu Insel, Japan
Koordinaten: 35°35'N, 135°53' E
Größe: ca. 2 km Ø; 4,3 km²
Höhe über Meeresspiegel: 0 m
Wassertiefe (WT_{max}): 34 m
Entstehung: tektonisch
Geologisches [radiometrisches] Alter (Stand nach SG06): > 150 ka (¹⁴C, K-Ar (> 89 ka) + Extrapolation)
Bohrkampagnen: 2 (1991/93 [SG93], 2006 [SG06])

Bohrkampagne 2006 (SG06)

Kompositprofil: 73,19 m
Tephralagen: 30
Laminierter Abschnitt: ca. 0,2 m - 46,01 m
Geologisches [radiometrisches] Alter (nur laminierter Abschnitt): ca. 70 ka (¹⁴C + Extra-/Interpolation)
„Warven“-zählung: 12,88 – 31,67 m (ca. 10,2-40 ka BP, radiometrisch); Anzahl „Warven“ allerdings nicht genannt! Vgl. SG93 (10,42 – 30,45 m, 29.100 „Warven“)
Verankerung der schwebenden „Warven“-chronologie: 13,97 m (Tephralage), 11.271 ± 17 cal ¹⁴C-Jahre BP
„Warven“-zählung, Teilbereich: 12,88 – 18,15 m; ca. 3.300 „Warven“, modelliert zu ca. 6.100 „Warven“-jahre

¹ <http://www.gfz-potsdam.de/pressemitteilungen/article/einschaerferer-blick-zurueck-fuer-die-archaeologie-und-klimaforschung/?cHash=58138284593c4269c702c00529e27a06> (Abfrage 08. 10. 2013)

² Feinschichtung mit Einzellagen (Laminen), deren Dicke (Stärke) häufig im Bereich zwischen 0,1 und 1 mm liegt.

Weißer Lagen von Diatomeenansammlungen konnten sie unter dem Mikroskop klar erkennen und abzählen. Die typische Dicke eines Paares

weißer und dunkler Lagen wurde mit etwas weniger als 1 mm angegeben.

Einen Nachweis der Warvierung erachteten KITAGAWA et al. durch folgende Feststellungen als erbracht: „Wir bestätigten den jahreszeitlichen Charakter der Feinschichtungen mit: 1) detailliertem Studium der saisonalen Wechsel in der Diatomeen- und Mineralzusammensetzung, 2) mikroskopischen Untersuchung von Dünnschliffen und 3) Beobachtungen an selektierten Lagen mit dem Rasterelektronenmikroskop.“ Dies sind aber lediglich Untersuchungsbausteine. Dieser Aussage (Zitat oben) schloss sich die o. a. Lagenbeschreibung an und es scheint, als erfolgte die saisonale Zuordnung einer selbstverständlichen Regel.

Weitere für die Fragestellung wichtige Daten und ihre Interpretation werden wie folgt zusammengefasst:

- In dem Tiefenbereich 10,42 m – 30,45 m wurden insbesondere unter Auswertung von 1.500 hochauflösenden Digitalbildern 29.100 „Warven“ ausgedient. Details zur „Warven“chronologie sind allerdings nicht veröffentlicht worden.

- Über die in den Ablagerungen zahlreich vorkommenden Pflanzenreste konnte der gesamte Sedimentkern ^{14}C -datiert (> 250 Proben) werden. Der obere (jüngere) Teil der schwebenden „Warven“chronologie wurde über die U-Oki-Aschenlage (10.650 ± 250 cal. ^{14}C -Jahre BP, etwa 11,63-11,66 m) in die „absolute“ dendrokalierte ^{14}C -Zeitskala eingehängt.

- Den 29.100 „Warven“jahren stehen 27.200 ^{14}C -Jahre gegenüber (Tiefe 10,42 m, ca. 7.800 ^{14}C -Jahre BP; Tiefe 30,45 m, ca. 35.000 ^{14}C -Jahre BP); eine Abweichung um bis zu etwa 2000 Modelljahren.

- Die errechneten Sedimentationsraten wurden als jeweils einheitlich beschrieben; für das Holozän 1,2 mm/Jahr, für das Glazial 0,62 mm/Jahr; für den Bereich unterhalb 30,45 m bis 75 m wurde die Sedimentationsrate des Glazials fortgeschrieben. So ergaben sich rein rechnerisch etwa 110.000 [radiometrische] Jahre (^{14}C und extrapoliert).

Fazit: Ein Nachweis der Warvierung wurde nicht erbracht. Größenordnungsmäßig passt die Anzahl der ausgewiesenen „Warven“ zu den ^{14}C -Jahren.

Die Bohrkampagne in 2006

Die eingangs erwähnte Pressemitteilung bezieht sich auf eine bereits in 2006 durchgeführte, neuere Bohrkampagne, deren Ergebnisse nun von dem Forschungsteam sukzessive veröffentlicht werden (u. a. BRONK RAMSEY et al. 2012, NAKAGAWA et al. 2012, SCHLOLAUT et al. 2012, KOSSLER et al. 2011, MARSHALL et al. 2012, STAFF et al. 2013). Im Gegensatz zu 1993 sind zur Vermeidung von Kernverlusten vier parallele Kerne gezogen und für eine hochauflösende ^{14}C -Datenreihe insgesamt über 800 ^{14}C -Datierungen vorgenommen worden. Die nachfolgenden Ausführungen konzentrieren sich hauptsächlich auf die Beschreibung und Interpretation der Feinlamination sowie der Konstruktion der „Warven“chronologie für den Kernbereich von 12,88 m bis 18,15 m Tiefe (SCHLOLAUT et al., MARSHALL et al.).



Abb. 2 Bohrplattform auf dem Suigetsu-See, 2006.

(Foto: Achim Brauer/GFZ)

i. Beschreibung und Interpretation der Feinlamination – Kein Nachweis von Jahresschichten

SCHLOLAUT et al. konstruieren einen jahreszeitlichen Idealzyklus bestehend aus sieben Sublaminae:

- a. Sideritlage³ (Frühjahr);
- b. Diatomeenlage (*Aulacoseira* spp.), teilweise Siderit führend (Frühjahr);
- c. Detritische Siltlage aus Quarz und Feldspat (Frühjahr);
- d. Helles amorphes organisches Material (Sommer);

³ Siderit: Eisencarbonat, FeCO_3 .

- e. Diatomeenlage (*Encyonema*), teilweise als Basis der Sideritlage, wiederholend auftretend nur im LGIT-Bereich⁴ (Herbst);
- f. Sideritlage (Herbst);
- g. Tonlage, teilweise partiell überlappend mit Sideritlage (Herbst bis Winter).

Daneben werden gemischte, homogene Lagen („mixed layers“) im Submillimeter-Bereich bis 12 mm Dicke beschrieben, die aus Diatomeen sowie organischem, detritischem und diffus-sideritischem Material bestehen. Die konstruierte, idealisierte „Warven“struktur mit 7 Lagentypen wird allerdings nicht beobachtet (S. 55, Text zu Fig. 2): „[Ein, M.K.] Auffinden von mehr als drei der sieben Typen saisonaler Lagen zusammen ist selten.“ Die am häufigsten auftretende Kombination besteht aus Sideritlagen⁵, die durch gemischte Lagen voneinander getrennt werden. Die Zählung erfolgt zuerst basierend auf Sideritlagen, wenn diese nicht erkennbar sind, auf Basis alternativer saisonaler Lagen.

Vergleich mit KITAGAWA et al.

Unter Zugrundelegung beider Bohrkampagnen können aus den bisher veröffentlichten Informationen für die Fragestellung folgende Feststellungen getroffen werden:

- Die Beschreibungen der Hell/Dunkel-Laminationen (mikroskopische Dünnschliff-Auswertung) differieren signifikant zwischen KITAGAWA et al. und SCHLOLAUT et al.
- KITAGAWA et al. weisen einen Jahreszyklus von 2 Lagen mit Einschaltungen von Pyrit und Siderit aus während SCHLOLAUT et al. einen Idealzyklus aus 7 Lagen konstruieren. Im Gegensatz zu KITAGAWA et al. könnten die Lagen (b) und (g) von SCHLOLAUT et al. als Hauptbestandteile, die restlichen Lagen als Nebenbestandteile bzw. als sekundär auftretend interpretiert werden.
- Der Ausweis/die Zählung der Warven erfolgt bei KITAGAWA et al. primär anhand der hellen Kieselalgenlagen, bei SCHLOLAUT et al. dagegen primär anhand der (dunklen) Sideritlagen.

⁴ LGIT: Letzter Glazial/Interglazial-Übergang (Wende Pleistozän/Holozän); umfasst im Konkreten das LGIT-Interstadial, Äquivalent zum nordatlantischen Bölling/Alleröd und das LGIT-Stadial, Äquivalent zur nordatlantischen Jüngeren Dryas.

⁵ MARSHALL et al. (S. 74) beschreiben das Vorherrschen der Sideritlagen so: „All seasonal layers are variable in occurrence, with siderite laminae being the most consistently occurring.“

Zur Grundfrage einer Jahresrhythmik

Ob überhaupt eine Jahresrhythmik vorliegt, wird bei beiden Autorengruppen nicht diskutiert. SCHLOLAUT et al. gehen von einem prä-anthropogenen dimiktischen Seesystem aus, d. h. einer bis zu zweimaligen Durchmischung der Wassersäule (Herbst und Frühjahr) während eines Kalenderjahres. Ausgehend von einer durch eine Vollzirkulation gesteuerten Sideritbildung als saisonale Markerlage im Herbst wird die jeweilige Saisonalität der anderen Lagen abgeleitet (S. 56): „Ohne diese [Durchmischung, M.K.] war die Ablagerung der verschiedenen Sedimentkomponenten nicht saisonal aufgeteilt (...).“⁶ Die jahreszeitliche Interpretation der Sedimentbildung von SCHLOLAUT et al. wird nachfolgend diskutiert:

- Die „dominierenden“ Sideritlagen, vgl. (a)⁷ und (f), werden als teilweise lateral (seitlich) nicht aushaltend beschrieben. In den Textabbildungen (vgl. SCHLOLAUT et al. Fig. 2 b-d und Fig. 6 a-d) erscheinen die wiederkehrenden Sideritansammlungen als wolkige Gebilde, die sowohl vereinzelt (auch in den Diatomeenlagen), linsenartig als auch lagig gehäuft auftreten. SCHLOLAUT et al. interpretieren die „jährliche“ Bildung von Siderit unter Bezugnahme auf BAHRIG (1988, 155)⁸ im Zusammenhang mit einem See-Overturn (Vollzirkulation), der sauerstoffreiches Wasser dem Seeboden zuführt.⁹ Unter Zugrundelegung von Herbststürmen leiten sie so (mit Verweis auf BAHRIG 1988) ihr Siderit-„Herbstbildungsmodell“ ab. Allerdings gilt hier zwischen der

⁶ „Without this the deposition of the different sediment components was not seasonally separated (...).“

⁷ Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die Sideritlagen im „Frühjahr“ (a) eine mehr als untergeordnete Rolle spielen, denn nach MARSHALL et al. (S. 75) „repräsentieren sie nur einen unwesentlichen Anteil von allen Sideritlagen.“

⁸ „Dynamic model: (...) At times of turnover, oxygen was added to the hypolimnion by mixing of the water masses.“ BAHRIGs favorisiertes Erklärungsmodell (dynamisch) war weder ein „Modell für eine jährliche Sideritbildung“, wie sich SCHLOLAUT et al. formulieren, noch wurde es von ihm als solches bezeichnet! Er interpretierte die ältesten laminierten Sedimente des Laacher Seebeckens an der Pleistozän/Holozän-Wende (Dryas 3/Preboreal) als Warvensilte; primär ging es aber um die physikochemischen Bedingungen („formation under these conditions“) und die Quellen der beteiligten Agenzien.

⁹ „The observation that siderite layers are related to lake overturn is supported by Bahrig (1988), whose suggested model for annual siderite formation requires mixing of the water body.“ (S. 54)

vulkanischen und tektonischen Entstehung eines Beckens zu unterscheiden. Denn „*die episodische bis rhythmische Ausfällung*“ von Siderit im Laacher Seebecken erklärte BÄHRIG (1985) mit CO₂-reichen Quellen vulkanischen Ursprungs. Werden alle Modelle von BÄHRIG (1985^{10,11}, 1988, 1989) zur Sideritbildung und die jeweiligen Milieus und Rahmenbedingungen betrachtet, scheint es für den Suigetsu-See wahrscheinlicher, dass sich eine frühdiagenetische Bildung innerhalb der Sediment/Wasser-Grenze vollzog (vgl. BÄHRIG 1989). Die für die wiederholte Bildung von Siderit notwendigen Intervalle von begünstigender Porenwasserchemie kann durch „saisonale“ Wechsel am Seeboden induziert werden. Doch BÄHRIG¹² Kann-Aussage sagt nichts über einen Zeitpunkt oder die Häufigkeit aus. Eine notwendige Wiederkehr begünstigender Porenwasserchemie (Ereignis) ergibt sich aus dem häufigen Auftreten der Sideritansammlungen selbst. In Verbindung mit den anderen „Ereignis-Beobachtungen“ (s. u.) spricht dies für eine irreguläre, mehrmals im Jahr erfolgte Teil- oder Vollzirkulation, also nicht für einen dimiktischen sondern einen polymiktischen See.

- Weiter werden von SCHLOLAUT et al. die *Encyonema*-Horizonte (e) als Sturmeinträge, die detritischen Siltlagen (c) als Fluteinträge und die *Aulacoseira*-Lagen (b) als saisonal-ungebundene, primär durch Blüten generierte Einträge interpretiert, sodass diese Lagen allesamt Ereignisse dokumentieren. Die Häufigkeit jedes dieser Ereignisse ist nicht auf ein Kalenderjahr beschränkt, vielmehr ist

im Gesamtkontext davon auszugehen, dass diese Ereignisse mehrmals im Jahr stattgefunden haben.

- Die Konzentrationen von *Aulacoseira*-Schalen (b) in nahezu monospezifischen Lagen (vgl. SCHLOLAUT et al. Anhang 2-2, Fig. 07 und Fig. 08, bzw. Anhang 2-3, Fig. 01 bis Fig. 06) belegen episodische, irreguläre Massenentfaltungen der Kieselalge mit hohen Reproduktionsraten.

- Die amorphe Lage (d) wird nur unzureichend beschrieben.

- Die Tonlagen (g) können aufgrund der filternden Natur zweier vorgelagerte Seen (mit Zuflüssen) auch als Ereignislagen interpretiert werden, beispielsweise, wenn Fluteinträge durch heftige Regenereignisse vorwiegend nur das tonige Material in den Suigetsu-See eingeschwemmt haben.

Für ein besseres Verständnis der Beckenentwicklung und der Sedimentationsgeschichte des Suigetsu-Sees ist eine Kenntnis der Seegenese der benachbarten Seen unerlässlich. Denn ob, wann und in welchem Ausmaß der südlich anschließende Prä-Mikata-See (mit Zuflüssen, u. a. Prä-Hasu) und/oder der östlich anschließende Prä-Sugako-See (Zuflüsse aus östlicher Richtung) mit dem Suigetsu-See in Verbindung standen und durch Bodenbarrieren eine Filterfunktion wahrgenommen haben, ist nicht bekannt. Aufgrund der tektonischen Entstehung der Seen und der Lage unmittelbar westlich der aktiven Mikata-Störung muss von tektonischen Bewegungen und Seespiegelschwankungen ausgegangen werden, die auf Materialtransport und Sedimentation Einfluss hatten. Insofern müssten im Mikata-See und Sugako-See Ergänzungsbohrungen vorgenommen werden.

Fazit: Insgesamt lassen die Beobachtungen und Beschreibungen von SCHLOLAUT et al. keinen streng saisonal gesteuerten Wechsel von Stagnation und Zirkulation (dimiktisches Seesystem) erkennen. Vielmehr scheint auf Basis der vorliegenden Informationen ein irreguläres Zirkulationsmuster (polymiktisch) vorzuliegen; das Sedimentationsmuster ist von rasch aufeinander folgenden, unterschiedlichen Ereignissen bestimmt, die vermutlich mehrmals im Jahr aufgetreten sind: Diatomeenblüten, heftige und Starkniederschläge, Stürme. Da keine jahreszeitliche Prägung vorliegt, kann demgemäß auch keine Zählung von Jahresschichten unternommen werden kann.

¹⁰ BÄHRIG (1985, 209) zu den Sideritbildungen in den „Warvensilt“ der „älteren Sand-Silt Einheit“: „*Die (...) erläuterten Argumente lassen darauf schließen, dass es schon in dieser Entwicklungsphase CO₂-reiche Quellen am Seeboden gab. Das aufsteigende CO₂ konnte sich aufgrund der großen Tiefe des Sees im Hypolimnion akkumulieren und führte zu episodischen bis rhythmischen Ausfällung des Fe als Siderit während der Stagnationsphase.*“

¹¹ BÄHRIG (1985) gliedert ausschließlich im dem Profil „Lot 3“ (Beckenfazies), einem 3,1 m langen Sedimentkern, in einer Tiefe von etwa 2,1 bis 2,35 m und 2,5 bis 3,1 m „Warvensilte“ aus (insgesamt etwa 0,85 m). „*Die Lamination beruht auf einem Wechsel von hellen Grobsilt- und dunklen Feinsiltlagen*“, wobei ein Zyklus etwa 1,3 mm umfasst. Er deutet die Lagencouplets als Warven. Siderit tritt im oberen Teil der Grobsiltlage auf; BÄHRIG interpretiert als Zeitraum der Bildung Frühjahr/Sommer. – Eine Diskussion der Warvierung erfolgt hier nicht.

¹² BÄHRIG 1989, 146: „*(...) which may be related to seasonal changes at the lake bottom;*“

ii. Einpassung der „Warven“chronologie in den radiometrischen ¹⁴C-Altersrahmen

Übereinstimmend beschreiben die Kernbearbeiter die Lückenhaftigkeit der Profile^{13,14} und die Notwendigkeit einer Korrektur. Um jedoch einem Zirkelschluss vorzubeugen, dass mit den ¹⁴C-Datierungen die Warvenchronologie korrigiert und anschließend diese korrigierte Warvenchronologie zur Kalibrierung der ¹⁴C-Methode eingesetzt wird, schlussfolgern SCHLOLAUT et al. (S. 53): „Deshalb kann keine Information, die auf die ¹⁴C-Chronologie basiert, benutzt werden, um die Warvenzählung zu komplementieren, denn die Warvenchronologie muss vollkommen unabhängig sein.“¹⁵ Für den Profilabschnitt von 12,88 m bis 18,15 m werden zwei „unabhängige“ Methoden dargestellt.

Automatisierte Methode der „Warven“interpolation (SCHLOLAUT et al. 2012)

Die Autoren nehmen an, dass hauptsächlich die gemischten, homogenen Lagen (< 1 mm bis 12 mm Dicke) mehr als ein Jahr repräsentieren. SCHLOLAUTS neu entwickelte „Warven“interpolationsmethode soll zur objektivierten Abschätzung der Bildungsdauer dieser Lagen auf Basis der Sedimentationsraten über- und unterliegender „Warven“ dienen. Für den Profilabschnitt von 12,88 m bis 18,15 m werden so etwa 3.300 mikroskopisch ausgezählte Roh-„Warven“ modelliert und zu etwa 6.100 „Warven“jahren gestreckt; d. h. der interpolierte Anteil beträgt zusätzlich etwa 2.800 „Warven“ (vgl. SCHLOLAUT et al. 2012, Fig. 7). Demnach wären nur etwa 50% der „Warven“ (bzw. „Warven“jahre) mikroskopisch unterscheid- und damit erkennbar gewesen. Ihr Ergebnis fassen sie wie folgt zusammen: „Unter Bezugnahme auf das Ziel des SG06-Projektes, die atmosphärische Radiokarbonkalibrierungskurve auf 50 ka cal BP zu erweitern, ist ge-

zeigt worden, dass die Genauigkeit der Interpolation für eine Periode von ≈ 2500 Jahren innerhalb des 68,2% Wahrscheinlichkeitsbereiches kalibrierter ¹⁴C liegt und deshalb als geeignetes Datenmaterial für die Ausweitung der reinen terrestrischen Kalibrierungskurve weiter zurück in die Zeit angesehen wird.“ Damit ist die „Warven“chronologie in die führende ¹⁴C-Chronologie eingepasst worden.

Hochauflösende μ-XRF und X-Radiographie (MARSHALL et al. 2012)

Mit der Mikroröntgenfluoreszenzanalyse (μ-RFA, μ-XRF) wird der Sedimentkern in einer Auflösung im Mikrometer-Bereich abgerastert. Die ermittelten Elementkonzentrationen werden in Elementprofilen dargestellt. Nach MARSHALL et al. zeichnen sich Sideritlagen durch Fe- und Mn-Signale, detritische Lagen durch Ti-, K-, Pb- und gelegentlich Zr-Signale und Tonlagen durch Ti-, K- und Pb-Signale aus. Mit der X-Radiographie wird ein Grauskalen-Profil entlang des Sedimentkerns erstellt. Dabei erzeugen hellere Lagen entsprechend ihrem Grad der Oberflächenreflexion Positiv-Ausschläge.

Für die XRF-Zählung orientierten sich die Autoren an den „Herbst“-Sideritlagen.¹⁶ Für denselben Profilabschnitt von 12,88 m bis 18,15 m Tiefe (vgl. oben) werden gegenüber der mikroskopischen Rohzählung (3.300 „Warven“) zusätzlich 2.921 Zähler (unter Berücksichtigung aller Qualitätsstufen 1-4) mehr ausgewiesen, in Summe also etwa 6.200 (vgl. MARSHALL et al., Fig. 5). Nach Modellkorrekturen werden abschließend etwa 6.100 „Warven“jahre ausgewiesen; die Anzahl deckt sich bemerkenswert gut mit SCHLOLAUT et al. Als Hauptgrund der Differenz (+ 88%) wird angegeben, dass die kleineren Spitzen geochemischer Signale im Submillimeter-Bereich keine Entsprechung in den Dünnschliffen besitzen.¹⁷ Aber: Auf die gemischten, homogenen Lagen wird nicht eingegangen (vgl. oben); insbesondere nicht darauf, wie diese Lagen sich im geochemischen Profil präsentieren.

¹³ „Die mikroskopische Analyse zeigte, dass die warvierte Sedimentfolge durch eine unvollständige Ausbildung oder Erhaltung von jährlichen Laminæ eingeschränkt ist und eine Interpolation notwendig macht.“ (SCHLOLAUT et al.)

¹⁴ „Unglücklicherweise ist die Erhaltung der jährlichen Schichtung von Suigetsu nicht perfekt (NAKAGAWA et al. 2012) und es ist notwendig gewesen, Interpolation anzuwenden, um eine ‚komplette‘ SG06 Warvenchronologie zu erhalten.“ (STAFF et al. 2012)

¹⁵ „Therefore no information based on the ¹⁴C chronology can be used to complement the varve count as the varve chronology must be completely independent.“

¹⁶ „As autumn siderite layers are the most frequently occurring seasonal layer, and are easily distinguishable in the XRF, X-radiographic and optical signals, counting is mainly based on these.“ (S. 74)

¹⁷ „At a sub-mm scale it became clear that low-magnitude geochemical peaks often have no visible counterpart in the thin sections (Fig. 4) and are thus the primary cause for the count differences.“ (S. 77)

Die Autoren resümieren über ihre Methode (S. 79): „Wir betrachten es nicht als eine unabhängige alternative Warvenzählmethode zur Dünnschliff-Mikroskopie, weil, selbst wenn eine perfekte Bildung und Erhaltung der Warven vorliegt, es wirklich keinen Ersatz zur Dünnschliff-Mikroskopie gibt, um warvierte Sedimente genau zu charakterisieren und ihre physische Beschaffenheit zu verstehen.“¹⁸

Dies ist ein recht schwaches Bekenntnis zu der Tatsache, dass nur durch eine zielgerichtete Vorgabe und einer damit verbundenen Auflösungseinstellung der Apparatur¹⁹ das gewünschte Ergebnis erzielt werden kann. So wirkt auch der methodische Hinweis unter der Rubrik „Terminologie“ seltsam und geht im Artikel unter (S. 75): „Mit Bezugnahme auf die Terminologie muss klargestellt werden, dass die Methode nicht Warven oder saisonale Schichten, sondern Elementausschläge zählt, die saisonalen Schichten zugeordnet werden.“²⁰

iii. Zirkelschluss

Auffallend ist, dass MARSHALL et al. im Textteil ihres Artikels nicht einmal die Gesamtzahl ihrer XRF-Zähler für den untersuchten Profilabschnitt nennen. Diese lassen sich nur indirekt unter Zuhilfenahme von SCHLOLAUT et al. oder durch Abzählen an den grafischen Abbildungen ermitteln.

Erst durch einen Vergleich der Abbildung 11a mit Abbildung 5 (MARSHALL et al.) wird deutlich, dass zwischen der Suigetsu-Chronologie auf Basis der mikroskopischen Zählung der „Warven“ und

der ¹⁴C-Kalibrierungskurve (IntCal09, REIMER et al. 2009) eine Diskrepanz von 2.900 „Jahren“ bestand (vgl. 15,5 m Tiefe). Exakt um diese Größe wurde die Suigetsu-Chronologie in diesem Tiefenbereich durch die Modellanwendung „Warveninterpolation“ (SCHLOLAUT et al.) und die Signalinterpretation der Elementprofile der Mikroröntgenfluoreszenzanalyse (MARSHALL et al.) angepasst.

Der gewählte LGIT-Bereich (Wende Pleistozän/Holozän) ist nicht von ungefähr. Ziel war es, im Endbereich der ¹⁴C-Kalibrierungskurve (etwa 10500 bis 12550 ¹⁴C-Jahre) eine Synchronisation mit IntCal09 herzustellen und methodisch die vorgenommenen Anpassungen auf die folgenden älteren Abschnitte zu extrapolieren.

Der vermeintlich ungewollte Zirkelschluss²¹ allerdings ist faktisch ein echter Zirkelschluss, auf zwei Ebenen:

(1) Ohne Kenntnis der „Warven“-Natur der Sedimente (Ist die Interpretation korrekt?; Liegt eine Über- oder Unterzählung vor?) ist eine Vorgabe notwendig. Diese ergibt sich zwangsläufig „nur“ aus den ¹⁴C-Datierungsergebnissen. Das auf diese Weise mit dieser Vorgabe gewonnene Ergebnis wird mit dem „Master“ verglichen und – was zu erwarten war – eine Übereinstimmung festgestellt: „Um die Zuverlässigkeit der Technik zu überprüfen wird das Ergebnis mit der ¹⁴C-Chronologie verglichen; der Vergleich zeigt, dass die Genauigkeit der Interpolation innerhalb der 68,2% der kalibrierten ¹⁴C-Daten liegt und dass es deshalb in Betracht kommen kann für eine Kalibrierung jenseits des bestehenden Baumringlimits.“

(2) In einer Abstraktions-Stufe werden sodann die ¹⁴C-Datierungsergebnisse in eine vermeintlich unabhängige²², von der „Warvenzählung“ und den Modellierungen (s. o.) abgeleitete Zeitskala (Suigetsu-Chronologie) eingehängt; so BRONK RAMSEY (2012, 370): „(...) 651 ¹⁴C-Datierungen (...) angebunden an eine Zeitskala, die von der

¹⁸ „We do not consider it a stand-alone alternative varve counting method to thin-section microscopy because, even with perfect varve formation and preservation, there really is no substitute to thin-section microscopy to properly characterize and understand the physical properties of varved sediments.“

¹⁹ „Pilot studies were carried out to determine the optimum settings of the scanner for this project. The same SG06 core interval was repeatedly XRF-scanned using a number of different measurement intervals (200, 100, 60, 20 mm), count times (20, 10, 6, 5 and 4 s), voltage (60, 50, 40, 30 kV), and current (40, 30 mA) settings. Two different detector nozzles (8 and 4mm perpendicular to the main core axis) were also trialled. (...) According to the results from Kitagawa and van der Plicht (1998a, 1998b) varve thickness in the Suigetsu core varies between approximately 610 µm (in the Glacial) and 1200 µm (in the Holocene), and hence a 60 µm step size achieved the first criterion without any significant increase in the signal : noise ratio.“ (S. 72)

²⁰ „With respect to the terminology, it must be made clear that the method does not count varves or seasonal layers, but elemental peaks that are related to seasonal layers.“

²¹ „The accuracy of this new dual counting approach can be tested by comparison of the combined, final varve model (with errors) to the radiocarbon chronology (Staff et al., 2011) calibrated (but not modelled, as constraining the chronology using varve counts would invite circularity) to the limit of the dendrochronologically dated part of the IntCal09 curve.“ (MARSHALL et al. 2012, 79)

²² „It provides good relative chronological precision and has the advantage of being independent of other dating techniques.“ (BRONK RAMSEY 2012, 370)

Warvenzählung und zeitlicher Eingrenzungen anderer Berichte abgeleitet wurde.“

Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Untersuchung der Bohrkern war theorie- und zielgeleitet, der Projektname „Lake Suigetsu 2006 Varved Sediment Core“²³ Programm.

Der Nachweis einer jahreszeitlichen Prägung der laminierten Sedimente des Suigetsu-Sees ist weder für den Kern SG93 noch für den Kern SG06 erbracht worden. Ein jahreszeitlich induziertes Sedimentationsmuster lässt sich aus den vorliegenden Beschreibungen nicht erkennen. Vielmehr sind die Laminen als eine Folge irregulärer Sedimentationsereignisse eines polymikten Sees zu deuten. Da demzufolge keine (echten) Warven ausgewiesen werden können, können auch keine Jahre abgezählt werden.

Die konstruierte „Warven“chronologie ist nicht unabhängig entwickelt worden; sie wurde in den ¹⁴C-Altersrahmen eingepasst. Die „50.000 Jahre“ basieren nicht auf eine Abzählung von (echten) Jahresschichten bzw. einer jahreszeitlichen Auflösung. Die „50.000 Jahre“ werden von den ¹⁴C-Jahren abgeleitet und mit Kalenderjahren gleichgesetzt, obwohl nicht bekannt ist, in welchem Verhältnis ¹⁴C-Alter dieser Größenordnung zu realem Alter stehen.

Zur Ergänzung → 3-01, 3-10, 3-20, 5-01, 6-01.

Literatur

BAHRIG B (1985) Sedimentation und Diagenese im Laacher Seebecken (Osteifel). *Bochumer geol. U. geotechn. Arb.* 19, 1-231.

BAHRIG B (1988) Paleo-environment information from deep water siderite (Lake of Laach, W. Germany). In: FLEET AJ, KELTS K & TALBOT MR (eds.) *Lacustrine Petroleum Source Rocks*. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 40, 153-158.

BAHRIG B (1989) Stable Isotope Composition of Siderite as an Indicator of the Palaeoenvironmental History of Oil Shale Lakes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 70, 139-151.

BRONK RAMSEY C, STAFF RA, BRYANT CL, BROCK F, KITAGAWA H, VAN DER PLICHT J, SCHLOLAUT G, MARSHALL MH, BRAUER A, LAMB HF, PAYNE RL, TARASOV PE, HARAGUCHI T, GOTANDA K, YONENOBU H, YOKOYAMA Y, TADA R & NAKAGAWA T (2012) A Complete Terrestrial Radiocarbon Record for 11.2 to 52.8 kyr B.P. *Science* 338, 370-374.

KITAGAWA H, FUKUSAWA H, NAKAMURA T, OKAMURA M, TAKEMURA K, HAYASHIDA A & YASUDA Y (1995) AMS 14C dating of varved sediments from Lake Suigetsu, central Japan and atmospheric 14C change during the late Pleistocene. In: COOK GT, HARKNESS DD, MILLER BF & SCOTT EM (eds.) *Proceedings of the 15th International 14C Conference*. *Radiocarbon* 37, 371-378.

KITAGAWA H & VAN DER PLICHT J (1998a) A 40,000-year varve chronology from Lake Suigetsu, Japan: extension of the 14C calibration curve. *Radiocarbon* 40, 505-515.

KITAGAWA H & VAN DER PLICHT J (1998b) Atmospheric radiocarbon calibration to 45,000 yr BP: late glacial fluctuations and cosmogenic isotope production. *Science* 279, 1187-1190.

KITAGAWA H & VAN DER PLICHT J (2000) Atmospheric radiocarbon calibration beyond 11,900 cal BP from Lake Suigetsu laminated sediments. *Radiocarbon* 42, 369-380.

KOSSLER A, TARASOV P, SCHLOLAUT G, NAKAGAWA T, MARSHALL M, BRAUER A, STAFF R, BRONK RAMSEY C, BRYANT C, LAMB H, DEMSKE D, GOTANDA K, HARAGUCHI T, YOKOYAMA Y, YONENOBU H & TADA R (2011) Onset and termination of the lateglacial climate reversal in the high-resolution diatom and sedimentary records from the annually laminated SG06 core from Lake Suigetsu, Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 306, 103-115.

MARSHALL M, SCHLOLAUT G, BRAUER A, NAKAGAWA T, STAFF RA, BRONK RAMSEY C, LAMB H, GOTANDA K, HARAGUCHI T, YOKOYAMA Y, YONENOBU H, TADA R & SG06 PROJECT MEMBERS (2012) A novel approach to varve counting using mXRF and Xradiography in combination with thin-section microscopy, applied to the Late Glacial chronology from Lake Suigetsu, Japan. *Quaternary Geochronology* 13, 70-80.

NAKAGAWA T, GOTANDA K, HARAGUCHI T, DANHARA T, YONENOBU H, BRAUER A, YOKOYAMA Y, TADA R, TAKEMURA K, STAFF RA, PAYNE R, BRONK RAMSEY C, BRYANT C, BROCK F, SCHLOLAUT G, MARSHALL M, TARASOV P & LAMB H (2012) SG06, a fully continuous and varved sediment core from Lake Suigetsu, Japan: stratigraphy and potential for improving the radiocarbon calibration model and understanding of late Quaternary climate changes. *Quaternary Science Reviews* 36, 164-176.

NAKAGAWA T, KITAGAWA H, YASUDA Y, TARASOV PE, GOTANDA K & SAWAI Y (2005) Pollen/event stratigraphy of the varved sediment of Lake Suigetsu, central Japan from 15,701 to 10,217 SG vyr BP (Suigetsu varve years before present): description, interpretation, and correla-

²³ <http://www.suigetsu.org/embed.php?File=>

tion with other regions. *Quaternary Science Reviews* 24, 1691-1701.

STAFF RA, NAKAGAWA T, SCHLOLAUT G, MARSHALL MH, BRAUER A, LAMB H, BRONK RAMSEY C, BRYANT CL, BROCK F, KITAGAWA H, VAN DER PLICHT J, PAYNE RL, SMITH VC, MARK DF, MACLEOD A, BLOCKLEY SPE, SCHWENNINGER JL, TARASOV P, HARAGUCHI T,

GOTANDA K, YONENOBU H, YOKOYAMA Y & SUIGETSU 2006 PROJECT MEMBERS (2013) The Multiple Chronological Techniques Applied to the Lake Suigetsu (SG06) Sediment Core. *Boreas* 42, 259-266.