

Donnerstag 19. Oktober 2017

16:30-17:00

## Seesedimente als geologische Zeugen prähistorischer Erdbeben im Alpenraum

Michael Strasser<sup>1</sup>, Markus Aufleger<sup>2</sup>, Markus Erhardt<sup>3</sup>, Daniel Innerhofer<sup>2</sup>,  
Jasper Moernaut<sup>1</sup>, Maximilian Schellhorn<sup>1</sup>, Wolfgang Recheis<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> *Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52f, 6020 Innsbruck, Österreich. michael.strasser@uibk.ac.at,*

<sup>2</sup> *Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich*

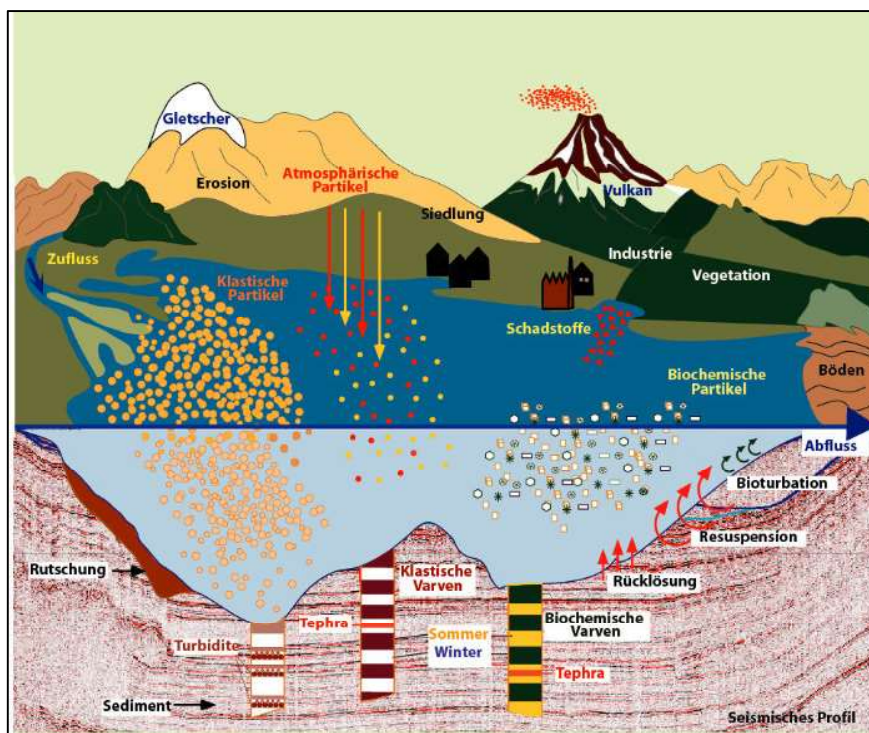
<sup>3</sup> *Departement Radiologie, Medizinisch Universität Innsbruck & Tirol Kliniken, Anichstrasse 35, 6020 Innsbruck, Österreich;*

### Abstract

Lake sediments are excellent geological archives to record past environmental changes and tectonic impacts. With modern state-of-the-art technology, the lake sediment archive can be imaged in very high spatial resolution and core samples can be analyzed in submillimeter-scale resolution for sedimentological, physical, chemical, and bio-logical proxy evidence of past natural events and processes. Here we introduce the new research field of limnogeology to study the high-resolution record of Alpine lakes to unravel the geological past of the last 10-15.000 years, with a special focus on studying earthquakes in prehistoric times. We also report first data from Hechtsee and Achensee, suggesting that also our Tyrolian lakes have the potential to reveal unprecedented information about possible historic and prehistoric earthquakes that have affected the area with variable intensities in the geological past.

### Einleitung und Motivation

Seesedimente bilden geologisch-hochaufgelöste Archive für vergangene Natur- und Umweltprozesse. Im Alpenraum reichen diese Archive typischerweise 10- bis 20.000 Jahre zurück, da viele der Seen durch glaziale Prozesse während der letzten Eiszeit geformt und seit dem Rückzug der Gletscher „ruhige“ Sedimentationsräume bilden, welche kaum durch Erosion oder menschliche Prozesse gestört wurden. Die Geologie, klimatische Bedingungen, sowie Morphologie und Umweltprozesse (welche in der jüngeren Vergangenheit meist stark durch anthropogene Prozesse verändert und beeinflusst werden) kontrollieren Sediment-Erosion und -Transport vom Einzugsgebiet in den See. Sie wirken aber auch auf limnische Prozesse im System, welche auch die seeinterne Sedimentbildung und Ablagerungsbedingungen beeinflussen (**Abb. 1**). Die Wechselwirkungen all dieser Prozesse, sowie deren Veränderungen über die Zeit, werden im Sediment, welches meist kontinuierlich Jahr für Jahr am Seeboden abgelagert wird, „gespeichert“ und archiviert. Zudem verursachen punktuelle extreme Naturereignisse wie Hochwasser, Bergstürze oder Erdbeben, kurzzeitige Sedimentumlagerungen oder Sedimentdeformationen, welche zwischengelagert in die kontinuierlichen Seesedimentabfolgen charakteristische Ereignislagen und Sedimentgefüge hinterlassen.



**Abb. 1:** Schematisch dargestellte Wechselwirkung verschiedener Umweltprozesse, welche auf das Seesystem wirken und somit die Sedimentabfolge im See beeinflussen. Das geologische Archiv ist hier dargestellt mit einem reflexionsseismischen Profil, welches das akustische Reflexionsmuster der Sedimentschichtfolgen wiedergibt. Ebenfalls schematisch dargestellt sind unterschiedlich stratigraphischen Abfolgen mit teilweise Jahreszeitlicher Auflösung (= Warven), welche je nach See Typ und dominierenden Prozesse das Sedimentarchive aufbauen kann. Figur modifiziert nach Sturm und Lotter (1995).

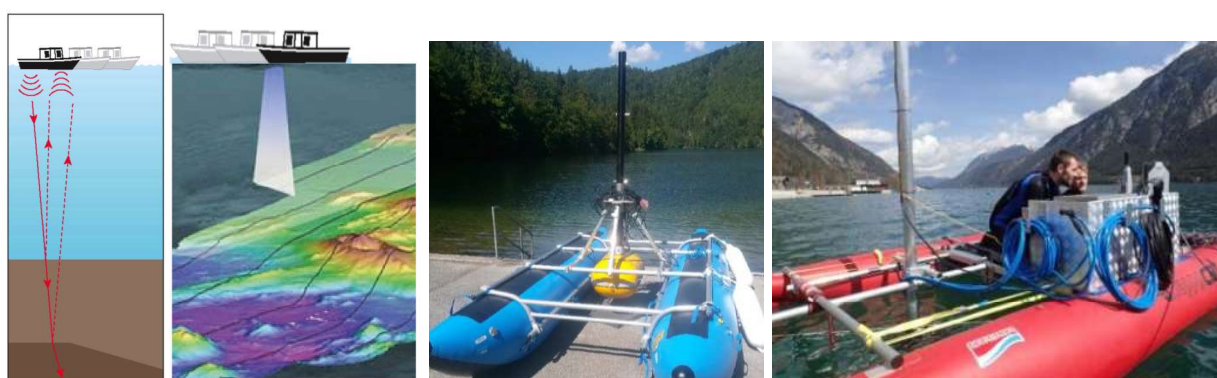
Die Limnogeologie erforscht den Seeboden und die darunterliegenden Sedimentablagerung mit modernsten Untersuchungsmethoden (i.e. vom „Feld“ mit geophysikalischen und hydroakustischen Untersuchungs-, und verschiedensten Sedimentkern-entnahme Methoden bis ins „Labor“ mit analytischen Bohrkernlogging-, sedimentologischen und geochemischen Labor-, sowie radiometrischen Datierungsmethoden), um aus dem geologischen Archiv der Seesedimente, vergangene Umwelt- und Klimabedingungen, sowie Prozesse und Wiederkehraten von Extremereignissen in der Vergangenheit zu rekonstruieren. Motivation und Ziel dieser Forschung ist es einerseits, ein ganzheitliches Systemverständnis (Geologie-Mensch-Umwelt-See) zu erlangen, aber insbesondere auch mögliche Naturgefahren Szenarien sowie deren Eintrittswahrscheinlichkeit in Zukunft richtig einschätzen zu können, um Entscheidungsträger wissenschaftlich-fundierte Daten für sinnvolle Schadenminderungsmaßnahmen liefern zu können.

Mit diesem *Geoforum*-Beitrag stellen wir die Limnogeologie und das analytische Bohrkernlogging als neuen Forschungszweig in Österreich vor und zeigen auf, dass sich insbesondere über technologische Fortschritte und interdisziplinäre Kollaboration in der Vermessung von Seen und im Einsatz von nicht-destruktiven Bohrkernscanning Verfahren neue vielversprechende Anwendungen ergeben. Wir zeigen erste Resultate von einem limnogeologischen Pilotprojekten im Hechtsee bei Kufstein (Tirol), welche im Vortrag dann auch mit Resultaten und Daten von bereits abgeschlossenen Projekten aus Schweizer Seen in Bezug gesetzt werden, um das Potential und die Relevanz der Seegeologie Forschung und deren

Anwendungen, insbesondere auch in Bezug auf „Unterwasser“ geologische Kartierungsarbeiten und das Abschätzen von Naturgefahren wie Erdbeben aufzuzeigen.

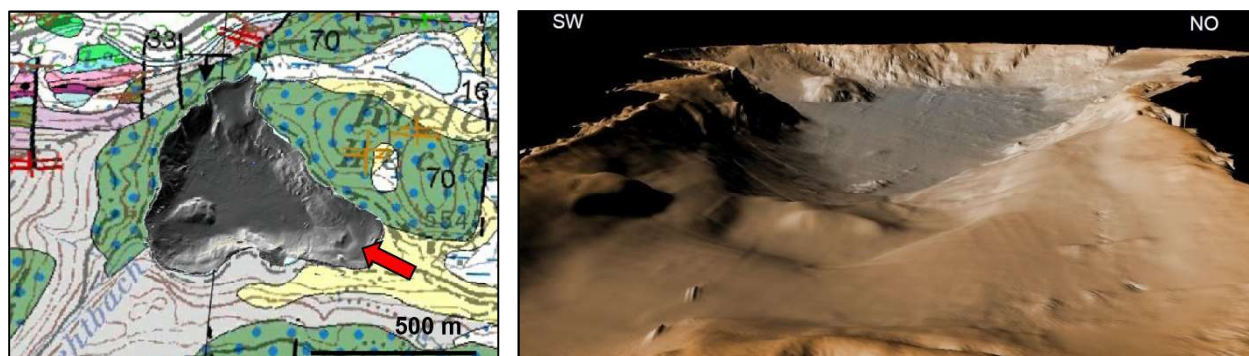
### Methoden und erste Resultate

Hochmoderne hydroakustische Vermessungsmethoden mit der sogenannten Fächerecholot Technologie (Multibeam; **Abb. 2**) liefern digitale Geländemodelle der Seemorphologie (i.e. Bathymetrie), welche in Präzession und räumlicher Auflösung zu vergleichen sind mit den Höhenmodelle der Laservermessung an Land (LiDAR-Daten), welche in den vergangenen Jahren nicht nur für geologische Anwendungen die Vermessung und die geomorphologisch / geologische Charakterisierung der Topographie revolutioniert hat. So können wir nun auch unter Wasser geologische und geomorphologische Elemente auf den Quadratzentimeter genau lokalisieren und vermessen.



**Abb. 2:** Rechts sind die hydroakustischen Messprinzipien schematisch dargestellt: Reflexionsmuster von Schallwellen unterschiedlicher Frequenz und Ausstrahlungsgeometrien erlauben (i) Einblick in die Ablagerungsgeometrien der Seebodensedimente (3.5 kHz Seismik; siehe auch Abbildung 1) und (ii) hochpräzise Seeboden-Tiefenvermessungen (hochfrequente Schallwellen (400-500 kHz) mit dem Fächerecholot). Die beiden Katamarane zeigen die an der Universität Innsbruck vor kurzem neu angeschafften Messinstrument für Reflexionsseismik (blauer Katamaran, Institut für Geologie) und Fächerecholot-Multibeam Vermessung (roter Katamaran, Arbeitsbereich Wasserbau)

Abbildung 3 zeigt ein Beispiel einer solchen bathymetrischen Vermessung des Hechtsees bei Kufstein im Tirol. Das Tiefenmodell zeigt im südwestlichen Teil des Sees unterseeische Aufschlüsse, welche der kompetenteren Hauptdolomit Formation, welche am Südufer ansteht (hellgrau in der geologischen Karte) zuzuschreiben sind. Im Nordosten weisen Anrissnischen am Hang und blockig-chaotischen Ablagerungen im Becken darauf hin, dass hier größere Sedimentpakete abgerutscht sind. Der tiefste Punkt wurde auf 57 Meter Wassertiefe vermessen.



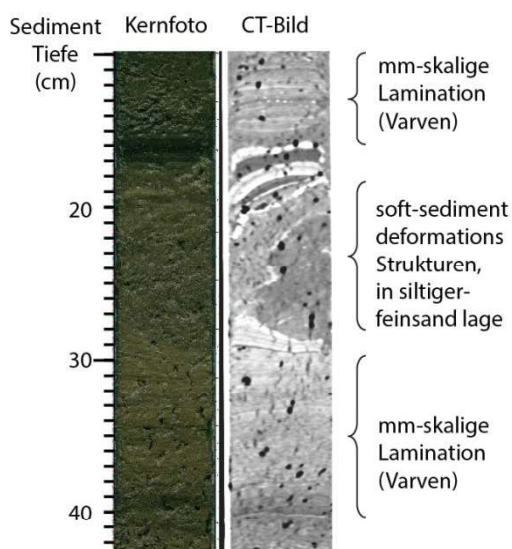
**Abb. 3:** Links: Bathymetrisches Reliefmodell des Hechtsees verschnitten mit der geologische Karte (Geofast; 90-Kufstein; Geologische Bundesanstalt 2006). Der rote Pfeil zeigt die Blickrichtung der 3D Darstellung im rechten Bildausschnitt. Die hochauflösend bathymetrische Vermessung wurde im Rahmen einer Pilotkampagne mit dem Kongsberg Fächerecholot System GeoSwath Plus Compact (500 kHz) der Arbeitsgruppe Wasserbau der Universität Innsbruck im Juni 2016 aufgezeichnet.

Der Seeuntergrund wird weiter mit hochauflösenden reflexionsseismischen Methoden (3.5 kHz Seismik mit Geopuls Subbottom Profiler) abgebildet (**Abb. 1 und 2**), so dass anhand dieser Daten und mittels seismik-stratigraphischen Analysemethoden die Geometrien der post-glazialen Sedimenteinfüllung mit ca. 10cm vertikaler Auflösung abgebildet und stratigraphisch interpretiert werden können. Dabei können insbesondere die stratigraphischen Niveaus von Massenbewegungen, welche sich durch chaotische und/oder transparente (je nach Massenbewegungstyp) von dem akustisch parallelen Reflexionsmuster der kontinuierlich abgelagerten Seesedimente deutlich unterscheiden, kartiert und in den räumlich–zeitlichen Bezug der Sedimentablagerungsentwicklung des Seesystems gesetzt werden. Zeitgleich und lokations-unabhängig voneinander auftretenden Massenbewegungen können auf ein Auslösemechanismus mit regionaler Wirkung hindeuten, was auf ein Erdbeben oder ein auf den gesamten See wirkendes hydrodynamisches Extremereignisse (z.B. Seiche, Tsunami) schließen lässt (Strasser et al., 2013). Um die in den seismischen Daten identifizierten Horizonte, welche auf solche Extremereignisse hindeuten genauer zu untersuchen und schlussendlich zu datieren, werden Sedimentkerne entnommen um sie im Labor zu untersuchen.

Um Sedimentbohrkerne effizient und mit größtmöglicher hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung mittels physikalischen und chemischen Messungen zu charakterisieren entsteht zur Zeit am Institut für Geologie der Universität Innsbruck mit Fördergelder des BMWFW das österreichweite erste Kompetenzzentrum für wissenschaftliches Bohrkernscanning (Core Facility für wissenschaftliche Bohrkernanalysen), mit drei Bohrkernscannern (dem Multisensor Core Logger (MSCL); einem 360° Bohrkern-Fotoscanner (SmartCIS) und einem Röntgenfluoreszenz (RFA)-Kernscanner mit digitaler Radiographie). Mit dem MSCL und dem SmartCIS können bohrkernphysikalische Parameter (Dichte, Porosität, P-Wellengeschwindigkeit, magnetische Suszeptibilität) in hoher vertikaler Auflösung gemessen bzw. die Bohrkern-Manteloberfläche hochauflösend fotografiert werden. Der RFA-Kernscanner erlaubt zeiteffiziente hochaufgelöste chemische Elementanalysen: Der Bohrkern wird dabei mit einer Auflösung von bis zu 0.2 mm der Länge nach automatisch gescannt, wobei mittels Röntgenfluoreszenz für jedem Messpunkt gleichzeitig Gehalt und Verteilung der chemischen Elemente zwischen Mg und U gemessen wird. Damit können Umwelt- und Klimaveränderungen, Mensch-Umwelt Beziehungen, sowie die Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen Geo- und Biomaterialien und geo- und umweltdynamischen Prozessen rekonstruiert werden, welche in der chemischen Signatur der Bohrkernarchive gespeichert sind.

Im Sommer 2016 wurden 50-80cm lange Kurzkerne im tiefen Becken des Hechtsee entnommen um erste sedimentologische Untersuchungen durchzuführen. Diese Kerne wurden makroskopisch beschrieben aber noch nicht systematisch mit den oben erwähnten Kernscanner analysiert. Im Rahmen einer Testmessung an der Medizinischen Universität Innsbruck, welche zum Ziel hatte die röntgen Computertomographie (CT) Anwendung für Sedimentbohrkern aus österreichischen Seen zu testen, konnten aber CT-Daten

gewonnen werden, welche es erlauben feinste Sedimentstrukturen dreidimensional zu studieren und morphometrisch zu charakterisieren. **Abb. 4** zeigt, wie das CT-Bild vom Hechtsee-Sedimentkern HE16-05 gegenüber der Normalbild Kernfotographie eine neue Dimension von Sedimentstruktur-Analysen ermöglicht. Eine deutliche Lamination im sub-millimeter Bereich wird erkennbar und im mittleren Kernabschnitt, der makroskopisch als siltige Feinsandlage zu beschreiben ist, erkennt man soft-sediment Deformationsstrukturen. Anhand von 3 Radiokarbondatierungen an organischen Makroresten (Laubblätter) kann einerseits die Mikrolamination einer Jahresschichtung zugeordnet werden (Varven) und andererseits die prominente Ereignislage auf 1744 A.D.  $\pm$  14 Jahre datiert werden.



**Abb. 4:** Ausschnitt aus dem Sedimentbohrkern HE16-05 welcher im Sommer 2016 im Hechtsee abgeteuft wurde: Der Vergleich zwischen: links das „konventionelle“ Lichtbild Bohrkernfoto, und rechts einem Computertomographie (CT) Bild welches am CT Scanner (Siemens Somatom Definition Flash) an der Medizinischen Universität Innsbruck aufgenommen wurde, verdeutlicht wie mittels modernster Kernanalyse Technologie in interdisziplinärer Zusammenarbeit Mikrostrukturen visualisiert und quantitativ analysiert werden können.

## Diskussion

Die limnogeologischen Untersuchungen im Hechtsee und die hier vorgestellten CT Daten des aus dem tiefsten Bereich des 57 Meter tiefen Sees bei Kufstein im Tirol entnommenen Bohrkerns, verdeutlichen wie mittels hochmodernster Technologie und interdisziplinäre Kollaboration in der Vermessung von Seen und im Einsatz von nicht-destruktiven Bohrkernscanning Verfahren das geologische Archiv erforscht werden kann. Wie für den Hechtsee anhand des sauerstoff-freien Tiefenwasser (Pechlander, 1980) zu erwarten, konnte die Untersuchung eine jahrzeitliche Sedimentschichtung nachweisen. Dadurch kann die zwischen 18 und 29 cm Sedimenttiefe herausragende Lage, welche auf ein Ereignis mit hydrodynamischen Sedimenttransport und Sedimentdeformation hindeutet, zeitlich rel. genau zwischen 1730 und 1758 A.D. eingeordnet werden. Anhand der noch nicht vollständig analysierten Daten, kann zurzeit ein Zusammenhang zwischen der Ereignislage und der in den bathymetrischen Daten beschriebenen Sediment-Massenbewegung im nord-östlichen Teil des Sees noch nicht schlüssig nachgewiesen werden. Einen möglichen Hinweis auf ein verursachendes Ereignis finden wir aber in der historischen Schrift von Staffler (1847): „Authentische historische Zeugnisse (Unterrichter von Rechtenthal, 1761) berichten, dass man am 1. November 1755 zur nämlichen Stunde, als Lissabon durch ein heftiges Erdbeben verwüstet

worden, den Hechtsee in einem so furchtbaren Aufruhr gesehen, dass er mit wildem Gebräuse seine Wellen zu einer gewaltigen Höhe aufjagte, eine Menge Schlamm und Unrath auswarf, selbst mehrere Schritte über seine Ufer trat. Diese Erscheinung fiel umso unerwarteter auf, als sie von einem windstillen, heiteren Himmel begleitet war und eben der Hechtsee selbst bei den heftigsten Ungewittern und Sturmwinden immer einen ruhigen klaren Wasserspiegel behält.“ [sic] (Staffler, 1847)

Auf Grund unserer bisherigen Beobachtungen und Altersdatierung kann daher darüber spekuliert werden, ob möglicherweise langwellige Erdbebenwellen des 1755-er Erdbeben vor Lissabon (das mit einer geschätzten Magnitude von 8.5 bis 9 das größte historische Erdbeben von Europa ist (Gutscher et al., 2006) in optimaler Resonanz mit der Eigenfrequenz im Hechtsee Wellen (Seiche) erzeugt haben könnte. Diese Wellen könnten sich aufgeschaukelt haben und schlussendlich zu einer Massenbewegung oder einer Sedimentumlagerung geführt haben und so die historischen Quellen erklären. Mittels weiteren Untersuchungen und gezielten Kernentnahmen im nord-östlichen Teil des Sees im Bereich der subaquatischen Rutschung, weiteren Altersdatierungen und verfeinerter Warven-chronologie um die Unsicherheiten einzugrenzen, erhoffen wir uns in Zukunft weitere Daten, um dann auch mittels gekoppelt Erdbeben- und hydrodynamische Berechnung die noch sehr-spekulativen Hypothese eines Zusammenhangs von fernen Erdbeben und Ereignislagen im Hechtsee zu testen. Weiter gilt es zu untersuchen, ob auch lokale Erdbeben Spuren in den Seesediment hinterlassen haben könnten.

So könnten die Seesedimente des Hechtsees, genauso wie potentiell viele andere, bisher nicht mit den uns heute zu Verfügung stehenden hydro-akustischen und bohrkernanalytischen Methoden untersuchten Seen in Österreich, spannende geologische Archive vergangener Extremereignisse, Umwelt und/oder Klimaänderungen beinhalten, welche mit langen Bohrkerne erfasst und über tausende von Jahren in die Vergangenheit zurück erforscht werden können. Daraus erhoffen wir uns, ein besseres Verständnis über Erdsystemprozesse im Spannungsfeld zwischen Tektonik, Klima und Mensch zu erlangen, und insbesondere auch mögliche Naturgefahren Szenarien sowie deren Eintrittswahrscheinlichkeit in Zukunft richtig einschätzen zu können, um Entscheidungsträger wissenschaftlich-fundierte Daten für sinnvolle Schadenminderungsmaßnahmen liefern zu können.

#### **Referenzen:**

- Gutscher, M.-A., Baptista M.A., Miranda J.M. (2006). The Gibraltar Arc seismogenic zone (part 2): Constraints on a shallow east dipping fault plane source for the 1755 Lisbon earthquake provided by tsunami modeling and seismic intensity. *Tectonophysics*. 426: 153–166.
- Pechlander, R., Schaber, P., Rott, (1980) Limnologisch-hygienische Erfassung und Überwachung der Tiroler Badeseen. Teil II/A: Ergebnisse limnologischer Untersuchungen an ausgewählten Badeseen Tirols. *Tiroler Umweltschutzkonzept* 6: 9-145
- Staffler, J (1847): *Das deutsche Tirol und Vorarlberg*, S. 820
- Strasser, M., Monecke, K., Schnellmann, M., & Anselmetti, F.S. (2013) Lake sediments as natural seismographs: A compiled record of Late Quaternary earthquakes in Central Switzerland and its implication for Alpine deformation. *Sedimentology*, 60, 319-341,
- Sturm, M., & Lotter, A.F. (1995) Lake sediments as environmental archives. *EAWAG News* 38 6-9