

Seesedimente als geologische Zeugen vergangener extremer Naturereignisse

MICHAEL STRASSER (1), MARKUS AUFLEGER (2), MARKUS ERHARDT (3), DANIEL INNERHOFER (2), JASPER MOERNAUT (1), MAXIMILIAN SCHELLHORN (1) & WOLFGANG RECHEIS (3)

Einleitung und Motivation

Seesedimente bilden geologisch hochaufgelöste Archive für vergangene Natur- und Umweltprozesse. Im Alpenraum reichen diese Archive typischerweise 10.000–20.000 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.

Die Limnogeologie erforscht den Seeboden und die darunterliegende Sedimentablagerung

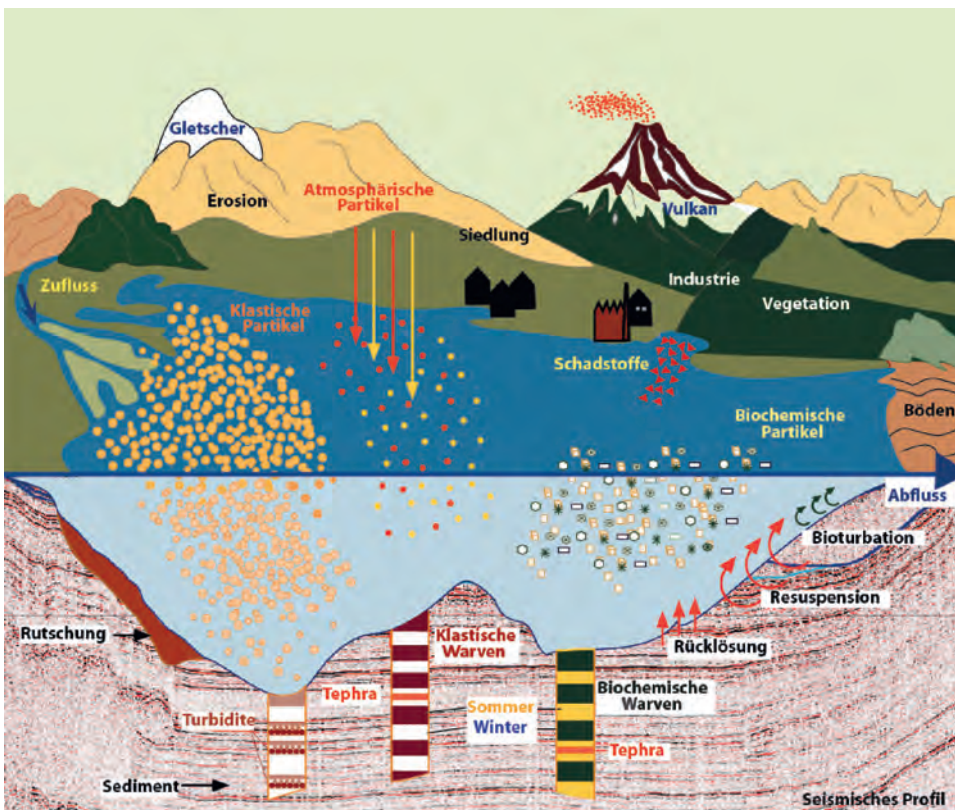


Abb. 1. Schematisch dargestellte Wechselwirkung verschiedener Umweltprozesse, welche auf das Seesystem wirken und somit die Sedimentabfolge im See beeinflussen. Das geologische Archiv ist hier mit einem reflexionsseismischen Profil dargestellt, welches das akustische Reflexionsmuster der Sedimentschichtfolgen wiedergibt. Ebenfalls schematisch dargestellt sind unterschiedliche stratigrafische Abfolgen mit teilweise jahreszeitlicher Auflösung (= Warven), welche je nach Seetyp und dominierenden Prozessen das Sedimentarchiv aufbauen können. Figur modifiziert nach STURM & LOTTER (1995).

(1) Universität Innsbruck, Institut für Geologie, Innrain 52f, 6020 Innsbruck. michael.strasser@uibk.ac.at

(2) Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Wasserbau, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck.

(3) Medizinische Universität Innsbruck und Tirol Kliniken, Department Radiologie, Anichstraße 35, 6020 Innsbruck.

mit modernsten Untersuchungsmethoden (i.e. vom „Feld“ mit geophysikalischen und hydroakustischen Untersuchungs- sowie verschiedenen Sedimentkern-Entnahme-Methoden bis in das „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 Kurzbeitrag stellen wir die Limnologie 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-Ver-

fahren neue vielversprechende Anwendungen ergeben. Wir zeigen erste Resultate von einem limnogeologischen Pilotprojekt 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 Potenzial und die Relevanz der Seegeologie-Forschung und deren Anwendungen, insbesondere auch in Bezug auf „Unterwasser“ geologische Kartierungsarbeiten und das Abschätzen von Naturgefahren, aufzuzeigen.

Methoden und erste Resultate

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

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-chaotische Ablagerungen im Becken darauf hin, dass hier größere Sedimentpakete abgerutscht sind. Der tiefste Punkt wurde auf 57 m Wassertiefe vermessen.

Abb. 2.

Links sind die hydroakustischen Messprinzipien schematisch dargestellt: Reflektionsmuster 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 Messinstrumente für Reflektionsseismik (blauer Katamaran, Institut für Geologie) und Fächerecholot-Multibeam-Vermessung (roter Katamaran, Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Wasserbau).



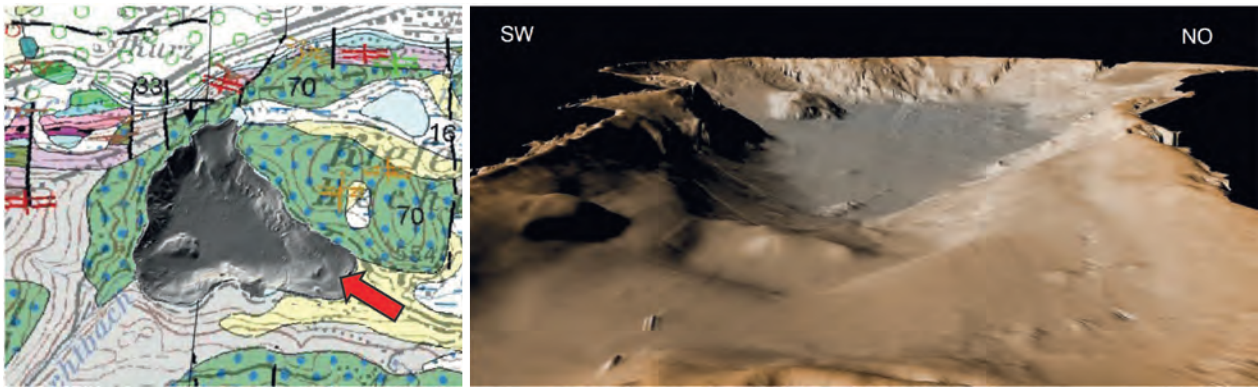


Abb. 3.

Links: Bathymetrisches Reliefmodell des Hechtsees verschnitten mit der geologischen Karte (PAVLIK, 2008). 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, 2), so dass anhand dieser Daten und mittels seismik-stratigrafischer Analysemethoden die Geometrien der postglazialen Sedimenteinfüllung mit ca. 10 cm vertikaler Auflösung abgebildet und stratigrafisch interpretiert werden können. Dabei können insbesondere die stratigrafischen 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 lokationsunabhängig voneinander auftretende Massenbewegungen können auf einen Auslösemechanismus mit regionaler Wirkung hindeuten, was auf ein Erdbeben oder ein auf den gesamten See wirkendes hydrodynamisches Extremereignis (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 physikalischer und chemischer Mes-

sungen zu charakterisieren, entsteht zur Zeit am Institut für Geologie der Universität Innsbruck mit Fördergeldern des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (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 Radiografie). 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 jeden 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 50–80 cm lange Kurzkerne im tiefen Becken des Hechtsees entnommen, um erste sedimentologische Untersuchungen durchzuführen. Diese Kerne wurden makroskopisch beschrieben, aber noch nicht systematisch mit dem oben erwähnten Kernscanner analysiert. Im Rahmen einer Testmessung an der Medizinischen Universität Innsbruck, welche zum Ziel hatte, die Computertomografie (CT) Anwendung für Sedimentbohrkerne aus österreichischen

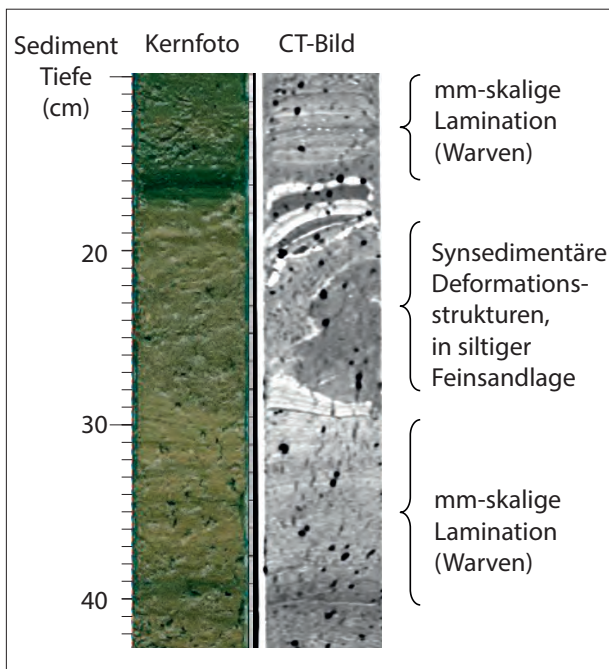


Abb. 4. Ausschnitt aus dem Sedimentbohrkern HE16-05, welcher im Sommer 2016 im Hechtsee abgeteuft wurde: Der Vergleich zwischen dem „konventionellen“ Lichtbild-Bohrkernfoto (links) und einem CT-Bild, welches am CT-Scanner (Siemens Somatom Definition Flash) an der Medizinischen Universität Innsbruck aufgenommen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

Seen zu testen, konnten aber CT-Daten gewonnen werden, welche es erlauben, feinste Sedimentstrukturen dreidimensional zu studieren und morphometrisch zu charakterisieren. Abbildung 4 zeigt, wie das CT-Bild vom Hechtsee-Sedimentkern HE16-05 gegenüber der Normalbild-Kernfotografie eine neue Dimension von Sedimentstrukturanalysen ermöglicht. Eine deutliche Lamination im submillimeter Bereich wird erkennbar und im mittleren Kernabschnitt, der makroskopisch als siltige Feinsandlage zu beschreiben ist, erkennt man soft-sediment Deformationsstrukturen. Anhand von drei Radiokarbondatierungen an organischen Makroresten (Laubblätter) kann einerseits die Mikrolamination einer Jahresschichtung zugeordnet werden (Warven) und andererseits die prominente Ereignislage auf 1744 AD \pm 14 Jahre datiert werden.

Diskussion

Die limnogeologischen Untersuchungen im Hechtsee und die hier vorgestellten CT-Daten

des aus dem tiefsten Bereich des 57 m tiefen Sees bei Kufstein in Tirol entnommenen Bohrkerns verdeutlichen, wie mittels hochmodernster Technologie und interdisziplinärer 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 sauerstofffreien Tiefenwassers (PECHLANDER et al., 1980) zu erwarten war, konnte die Untersuchung eine jahrzeitliche Sedimentschichtung nachweisen. Dadurch kann die zwischen 18 und 29 cm Sedimenttiefe herausragende Lage, welche auf ein Ereignis mit hydrodynamischem Sedimenttransport und Sedimentdeformation hindeutet, zeitlich relativ genau zwischen 1730 und 1758 AD 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 nordöstlichen 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), wo aufgrund authentischer Zeugnisse der Professor Joseph Unterrichter von Rechtenthal 1761 berichtet, 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 Gebrause seine Wellen zu einer gewaltigen Höhe auffagte, eine Menge Schlamm und Unrath auswarf, selbst mehre [sic!] Schritte über seine Ufer trat. Diese Erscheinung fiel umso unerwarteter auf, als sie von einem windstillen, heitern [sic!] Himmel begleitet war, und eben der Hechtsee selbst bei den heftigsten Ungewittern und Sturmwinden immer einen ruhigen klaren Wasserspiegel behält.*“ (STAFFLER, 1847: 820).

Auf Grund unserer bisherigen Beobachtungen und Altersdatierung kann daher darüber spekuliert werden, ob möglicherweise langwellige Erdbebenwellen des 1755 stattgefundenen Erdbebens 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 weiterer Untersuchungen und gezielter Kernentnahmen im nordöstlichen 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 gekoppelter Erdbeben- und hydrodynamischer Berechnung die noch sehr spekulative Hypothese eines Zusammenhanges von fernen Erdbeben und Ereignislagen im Hechtsee zu testen. Weiter gilt es zu untersuchen, ob auch lokale Erdbeben Spuren in den Seesedimenten hinterlassen haben könnten.

So könnten die Seesedimente des Hechtsees, genauso wie potenziell viele andere, bisher nicht mit den uns heute zur 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.

Literatur

- 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, Amsterdam.
- PAVLIK, W. (2008): GEOFAST – Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geologischen Bundesanstalt 1:50.000, ÖK 90 Kufstein (Stand 2006). – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- PECHLANDER, R., SCHABER, P. & ROTT, E. (1980): Limnologisch-hygienische Erfassung und Überwachung der Tiroler Badeseen. Teil II/A: Ergebnisse limnologischer Untersuchungen an ausgewählten Badeseen Tirols. – *Tiroler Umweltschutzkonzept*, **6**, 9–145, Innsbruck.
- STAFFLER, J.J. (1847): Das deutsche Tirol und Vorarlberg, topographisch, mit geschichtlichen Bemerkungen, 1. Band. – 974 S., Innsbruck.
- 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, Oxford.
- STURM, M. & LOTTER, A.F. (1995): Lake sediments as environmental archives. – *EAWAG News*, **38**, 6–9, Dübendorf.