

Sedimente der Tiroler Seen als Archive für postglaziale Extremereignisse

Patrick Oswald ⁽¹⁾, Markus Erhardt ⁽²⁾, Florian Birkner ⁽³⁾, Gerald Degenhart ⁽²⁾, Markus Aufleger ⁽³⁾, Johanna Pöll ⁽¹⁾, Jyh-Jaan Steven Huang ⁽¹⁾, Michael Strasser ⁽¹⁾, Jasper Moernaut ⁽¹⁾

1) Institut f. Geologie, Univ. Innsbruck

2) Universitätsklinik f. Radiologie, Med. Univ. Innsbruck

3) Arbeitsbereich Wasserbau, Institut f. Infrastruktur, Univ. Innsbruck

Abstract

Actual risk- and hazard assessments for environmental extreme events such as floodings or earthquakes might be insufficient, as there is only little knowledge about their possible magnitude and frequency based on historic documentation. We overcome this limitation by investigating the sedimentary successions of several Tyrolean lakes as pre-historic archives for hazardous environmental impacts. In two case studies we demonstrate the great potential of the acquired multi-disciplinary datasets and their interpretation for environmental extreme events. Piburgersee turned out to be an appropriate pre-historic floods record by sedimentological and geomorphological aspects as well as by containing a complete post-glacial sedimentary succession. A historical M5.3 earthquake in Namlos (1930 AD) left a specific sedimentary fingerprint in the sediments of Plansee by multiple subaqueous landslide activity shown in reflexion seismic profiles and sediment cores. As a potential site for recording strong shaking, Plansee (and also Piburger See) will be investigated for pre-historic strong earthquakes.

Hintergrund und Motivation

Häufig basieren Statistiken und Abschätzungen zu Gefahrenpotential von extremen Naturereignissen, wie beispielsweise Hochwasser oder Erdbeben, auf historischen Aufzeichnungen. Die Wiederkehrrate solcher Ereignisse ist oft niedriger als die Dauer der historische Dokumentation (zB. circa 400 Jahre für Erdbeben in Tirol, Hammerl et al., 2017) und somit sind Risiko- und Gefahrenabschätzungen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, unzureichend beziehungsweise könnte die maximal-mögliche Magnitude solcher Ereignisse unterschätzt sein. Um in Zukunft Entscheidungsträger und Politiker eine verlässlichere Abschätzung über Häufigkeit, Magnitude und Eintrittswahrscheinlichkeit möglicher Naturgefahren Szenarien bieten zu können, ist eine Untersuchung von geologischen Archiven, welche über die Zeit der historischen Aufzeichnung hinausreichen, unerlässlich.

In dieser Hinsicht bieten lakustrine Sedimente vielversprechende Archive, da sie seit dem Rückzug der Gletscher eine kontinuierliche Sedimentation haben, sehr sensibel gegenüber raschen Umweltveränderungen oder Klimaänderungen sind und meist gut datierbar sind. Vorangegangene limnogeologische Studien weltweit konnten aufzeigen, dass charakteristische detritische Lagen in Zusammenhang mit lokalen Starkregenereignissen oder raschen Schneeschmelzperioden stehen können (Gilli et al., 2013), oder multiple subaquatische Rutschungen oder in-situ Deformationsstrukturen Anzeiger für starke Erdbeben sein können (e.g. Kremer et al., 2017; Monecke et al., 2006).

Diese Kurzfassung soll einerseits einen Einblick in die in den letzten zwei Jahren generierten multi-disziplinären Datensätze geben und andererseits das große Potential dieser Datensätze als Archive für prähistorische Naturereignisse aufzeigen, welche durchaus einen beträchtlichen gesellschaftlichen Wert haben können.

Seesedimente als Archiv für (Paläo-)Starkniederschläge – Fallbeispiel Piburger See

In der Limnogeologie wird die Bezeichnung „Flutlage“ für eine detritische Ablagerung in einem Seesystem verwendet, welche in Zusammenhang mit einer Stunden bis Tage dauernden Spitze in der Schüttung des Zuflusses steht. Eine solche Abflussspitze repräsentiert häufig ein Starkniederschlag oder eine rapide Schneeschmelzperiode, welche nicht selten katastrophale Murgänge wie beispielsweise Sellrain/Paznaun Juni 2015 und Schnann August 2018 zur Folge haben.

Wissen über Auftreten, Häufigkeit und die maximal mögliche Intensität solcher Ereignisse speziell auch mit der Fragestellung inwiefern diese sich mit dem Klimawandel verändern, können aus den zeitlich hochauflösenden lakustrinen Sedimentarchiven erarbeitet werden (Gilli et al., 2013). Hierfür eignet sich der Piburger See aus mehreren Gegebenheiten besonders gut. Einerseits besitzt der Piburger See (0.13 km² groß und maximal 29m tief), in einer hochglazial-ausgeschürften Talschulter im Eingang des Ötztals

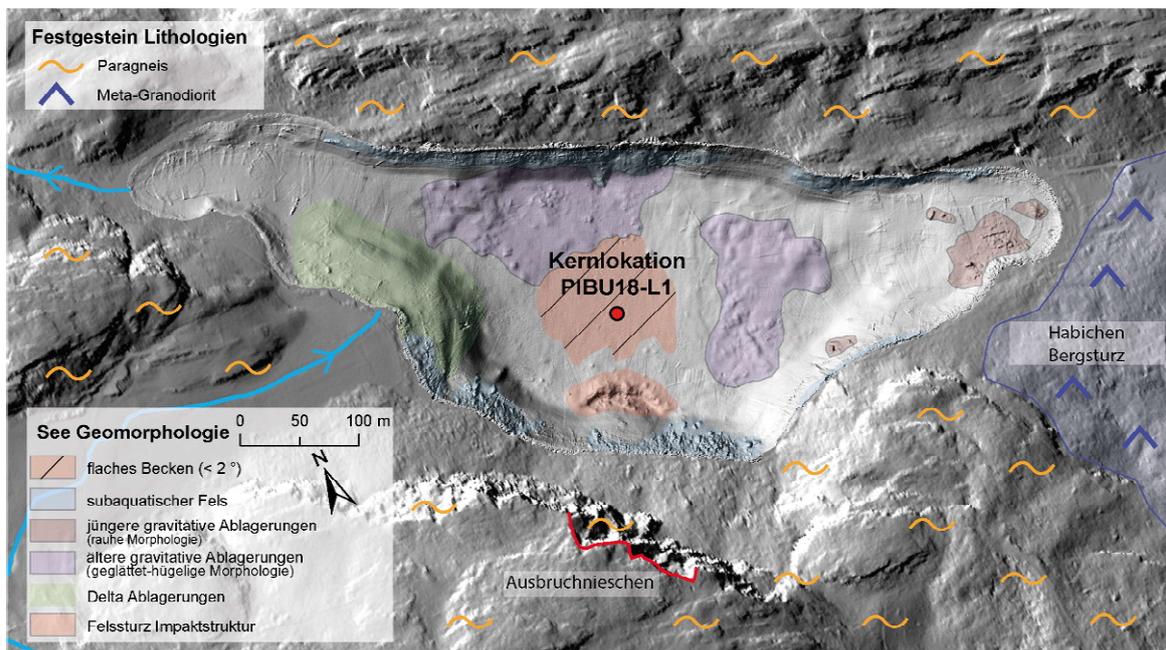


Abbildung 1: geologisch-geomorphologisch interpretierte Karte des Piburger Sees und seiner Umgebung. Die bathymetrische Karte wurde von dem Department Wasserbau (UIBK) mittels Kongsberg GeoSwath Plus gemessen. Der 12 m lange Sedimentkern wurde mittels UWITEC Piston-Kernsystem von der schwimmenden Plattform Helvetia, ETH Zürich entnommen. Quelle DGM: Land Tirol - data.tirol.gv.at

liegend, nur einen oberirdischen Zufluss aus einem klar definierten hydrologischen Einzugsgebiet (1.6 km²). Des Weiteren, besteht der See geomorphologisch nur aus einem Becken, in welchem alle detritischen Sedimentationsereignisse abgelagert werden. Während der kleine Zufluss im SW ein kleines Delta in das Becken vorbaut, besteht der Großteil der Ufer-nahen Hänge aus dem umliegenden Festgestein beziehungsweise mehr oder weniger mit Sediment bedecktem Felsschutt (Süden und Norden, siehe Abb 1). Nur ein kleiner Bereich im zentralen Becken ist wirklich flach (Hangneigungen < 2 Grad), was wahrscheinlich der Fläche des Paläo-Piburger Sees vor dem weiteren Aufstauen durch einen oder mehrere der Bergstürze von Habichen (siehe Poscher und Patzelt, 2000) entspricht. Auch die Habicher Bergstürze selbst haben im Piburger See seine Spuren hinterlassen, was sich einerseits durch die unruhige und nach W abfallende Morphologie und andererseits sedimentologisch durch mehrmaligen Eintrag von Granodiorit-Schutt widerspiegelt. Im südlichen Teil der bathymetrischen Karte ist ein sichelförmiger Rücken zu erkennen. Dieser kann als Impaktstruktur eines lokalen Felssturzereignisses aus der südlich angrenzenden Wand gedeutet werden (Ausbruchnischen rot markiert in Abb. 1).

Das Sediment des Piburger Sees besteht vorwiegend aus einem aus der Wassersäule abgelagerten dunkelbraunen, feinlaminierten bis massigen Organik-reichen Schlamm, welcher hauptsächlich aus feinsten, organischen Kolloiden, aber auch aus Chitinpanzer und Kieselschalen von Mikroorganismen und äolisch-eingetragene Makroreste von Landpflanzen wie zB. Blätter und Nadeln besteht. In diesem auch als „Hintergrundsediment“ bezeichneten braunen Schlamm sind detritische Lagen eingeschaltet. Diese detritischen Lagen lassen sich bereits durch Standardanalysen wie lithologische Beschreibung oder Messung petrophysikalischer Parameter sehr gut charakterisieren (Abb. 2). Mittels beispielsweise geochemischen Untersuchungen wie dem Messen des C/N Verhältnisses kann die Wasser- oder Landherkunft des im Sediment enthaltenen organischen Material bestimmt werden und somit zu einer verlässlichen Interpretation dienen.

Die detritischen Ablagerung im Piburger See, welche als Flutlagen charakterisiert werden können, sind normal gradiert von Fein/Mittel-Sand bis Ton und wenige Millimeter bis mehrere Zentimeter mächtig. Bereits makroskopisch und im Computertomographie (CT) Bild heben sie sich vom Hintergrundsediment ab (Abb. 2). Unter Verwendung der Messungen von Magnetischer Suszeptibilität (Proxy für detritischen Eintrag e.g. Gilli et al., 2013) und das logarithmisch korrigierte Verhältnis des inkohärenten und kohärenten Molybdän Signals (Proxy für relativen Organik-Gehalt e.g. Huang et al., 2016) untermauert die Interpretation (Abb. 2). Zudem zeigt auch das C/N Verhältnis dieser Ereignislage deutlich auf einen Landursprung des detritischen Sediments hin.

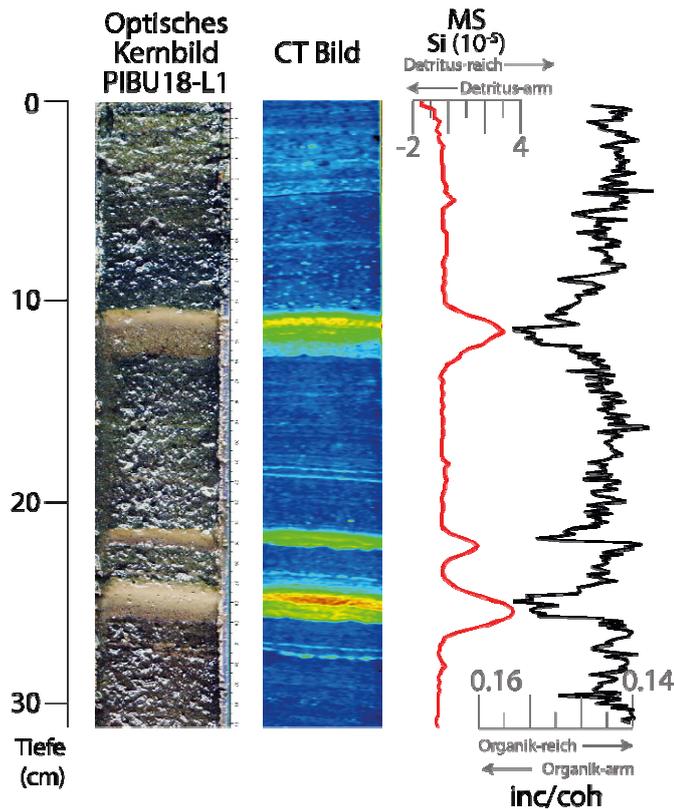


Abbildung 2: Flutlagen im Piburger See angezeigt durch Multi-Proxy Datensätze. Kernbild, MS (Magnetische Suszeptibilität) und inc/coh Messungen wurden mittels Scanner (SmartCIS, MSCL und ITRAX) der Austrian Core Facility (<https://www.uibk.ac.at/geologie/corescanlab/>) gemessen. Die Computertomographie (CT) Untersuchung wurde an der Universitätsklinik für Radiologie der Med.Univ. Innsbruck durchgeführt.

Mittels radiometrischer Datierungen (^{210}Pb und ^{137}Cs Thies et al., 2012; ^{14}C unsere laufenden Studien) konnte eine Flutlage in 12cm Kerntiefe im Rahmen des radiometrischen Messfehlers in Verbindung mit einer der im Oberinntal historisch dokumentieren, starken Niederschlagsperiode 1867, 1876 oder 1877 in Verbindung gebracht werden. Unter Betrachtung dieser Ereignislage als historische Kalibration für Starkniederschläge und unter Verwendung eines vorläufigen Altersmodells des 12 Meter langen Sedimentkerns, können Flutereignisse über das ganze Holozän untersucht werden. Erste statistische Untersuchungen des Datensatz ergeben ein Starkniederschlagsereignis mit nicht definierter Intensität alle circa 180 Jahre im Piburger See, wobei Konzentrationen der Ereignisse im mittleren Holozän und seit circa 2000 Jahren (cal BP) auftreten.

Seesedimente als Archiv für Stark-Erdbeben – Fallbeispiel Plansee

Die intraplaten-tektonische Situation der zentralen Ostalpen um Tirol äußert sich mit relativ geringen Deformationsraten ($\sim 1\text{mm/a}$), was sich in einer moderaten aber für Österreich erhöhten Seismizität speziell im zentralen Inntal widerspiegelt (Reiter et al., 2018). Aus den historischen Archiven sind mehrere zerstörerische Beben (zB. ML5.2 in Hall 1670, ML5.3 in Namlos 1930; Hammerl, 2017) bekannt.

Eine paläoseismologische Studie für den Großraum Tirol, welche den Zeitraum der historischen Aufzeichnungen um ein Vielfaches verlängern und somit auch die Risikoabschätzungen verbessern würde, gibt es bislang noch keine. Die Gründe dafür sind vor allem, dass aktive Störungen nicht direkt untersucht werden können, da in den häufig störungsparallelen Talungen durch rasche Oberflächenprozesse (hohe Sedimentations- und Erosionsraten) und intensiven anthropogenen Einfluss (Besiedlung und landwirtschaftliche Nutzung) potentielle geomorphologische Erscheinungen eines Starkbebens nicht erhalten bleiben. Ein möglicher Ansatz trotzdem prähistorische Starkbeben untersuchen zu können, verfolgen wir mit der Untersuchung von Seesystemen, welche in der Paläoseismologie als s.g. sekundäre oder „off-fault“ Archive bezeichnet werden. Hierbei wird nicht die Ruptur der aktiven Störung studiert, sondern die durch die Erdbebenschütterung ausgelösten sekundären Auswirkungen und Oberflächenprozesse im regionalen Umfeld des Epizentrums.

Unter einer ganzen Sammlung von verschiedenen seismisch-induzierten Phänomenen in Seesystemen, haben sich vor allem in größeren und tieferen Seen multiple subaquatische Rutschungen, die zeitgleich in verschiedenen Subbecken auftreten weltweit als verlässlicher Erdbeben Proxy herausgestellt (e.g. Kremer et al., 2017). Um solche subaquatische Rutschungen kartieren und den zugrundeliegenden Prozess derer Ablagerungen untersuchen zu können, ist ein multidisziplinärer Ansatz aus geophysikalischen, sedimentologischen und geochemischen Methoden notwendig, was wir in laufenden Studien (Interreg-V Projekt ARMONIA, TWF Projekt Tyrol on Shaky Slopes) gerade unter anderen auch am Plansee durchführen und in nachfolgendem Absatz genauer erläutert werden soll.

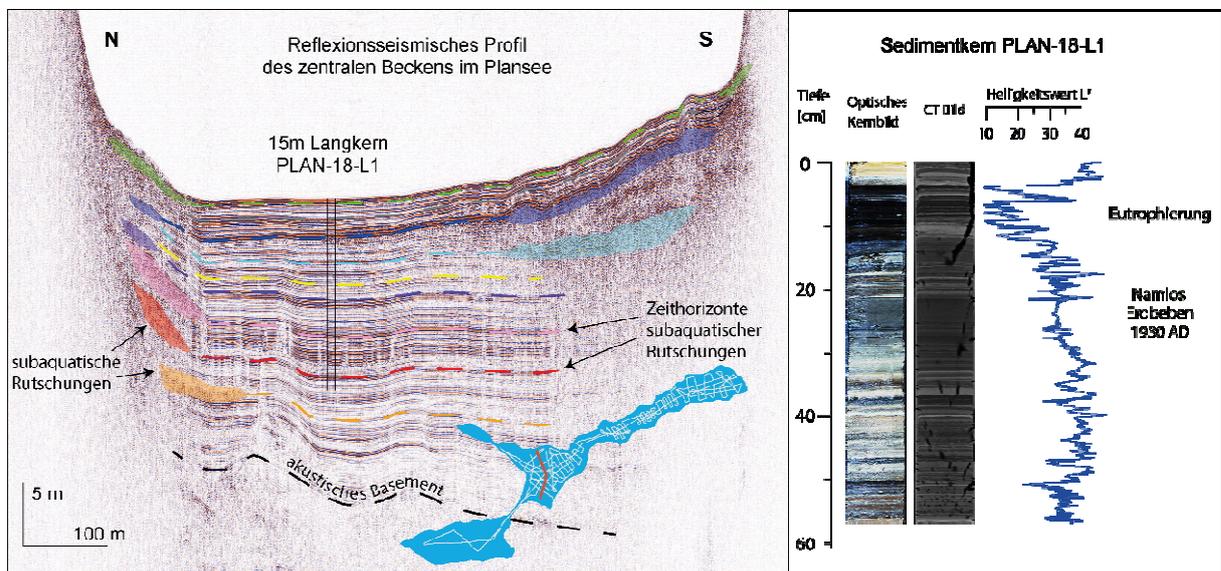


Abbildung 3: links: interpretierte subaquatische Rutschungen und deren zugehörige Zeithorizonte in einem reflexionsseismischen Profil im zentralen Becken des Plansees. Die Seeumrisskarte zeigt das engmaschige Gitter der seismischen Linien (weiß) und die Lokation des dargestellten Profils (rot). Rechts: Mittels multidisziplinärer Daten an dem Sedimentkern lassen Rückschlüsse über anthropogene Einflüsse (Eutrophierung) und Naturereignisse wie das Namlos 1930 AD Erdbeben zu. Die Reflexionsseismik wurde mittels einem Geopulse „Pinger“ 3.5 kHz Single-Channel Seismik gemessen.

Ein engmaschig gemessenes Gitter aus reflexionsseismischen Profilen (Quelle: Geopulse Single-Channel Seismics; 3.5 kHz Frequenz) liefert einen quasi-3D Einblick in die postglaziale Sedimentfüllung des Plansees mit einer theoretischen vertikalen Auflösung von 20 cm. Rutschungen, welche durch eine chaotische seismische Fazies und eine hügelige Geometrie charakterisiert sind, werden über den ganzen See kartiert. Treten die Rutschungen innerhalb der seismischen Auflösung im selben „Zeithorizont“ auf (wie in Abb. 3), kann dies ein vorläufiges Indiz für ein Stark-Erdbeben sein, muss aber noch anhand sedimentologischer, petrophysikalischer und geochemischer Untersuchungen am Sedimentkern verifiziert werden. Neben all diesen Parametern stellt eine Korrelation einer bestimmten Ablagerung mit einem historisch-belegten Ereignis eine zuverlässige Kalibration als Erdbeben-Indikator für den jeweiligen See dar.

Die reflexionsseismischen Messungen im Plansee (maximal 77 m tief und 4.2 km² inklusive der mittels künstlichem Kanal verbundene Heiterwangersee) zeigen oberhalb eines unregelmäßigen akustischen Basements, welches als hochglaziale Erosionsdiskordanz interpretiert werden könnte (Abb. 3), mehr oder weniger das glaziale Becken-auskleidende parallele Reflektoren, welche die postglaziale Sedimentfüllung darstellt. Zwischengeschaltet finden sich am Becken-Hang-Übergang einige subaquatische Rutschungen, von denen mehrere in denselben Zeithorizonten vorliegen. Nach einer ersten Interpretation treten beispielsweise im obersten und jüngsten Horizont (grün in Abb. 3) insgesamt sieben relativ kleine Rutschungen alleine in dem zentralen Hauptbecken des Plansees auf.

Ein Sedimentkern aus dem zentralen Becken des Plansee zeigt, dass das Sediment vorwiegend klastisch dominiert ist und eine sub-mm Lamination zeigt. Der Plansee ist heutzutage als nährstoffarm (oligotroph) eingestuft, jedoch zeigt das Sediment des mittleren bis späten 20. Jahrhunderts (4-12 cm in Abb. 3) anhand der Dunkelfärbung eine deutliche Eutrophierung des Seesystems. In dem Hintergrundsediment sind Ereignislagen unterschiedlicher Natur und Herkunft zwischengelagert. Ähnlich wie im Piburger See treten normal-gradierte Ablagerungen auf, welche in Zusammenhang mit Starkniederschlägen gebracht werden können und von den vielen den See umgebenden alluvialen Fächern geschüttet werden. Neben den Flutlagen sticht eine weitere dunkelgraue Ereignislage bei 22-26cm Tiefe mit deutlich unterschiedlicher Charakteristik hervor. Zunächst scheint die Lage visuell sehr homogen und markant und verschiedene Datensätze wie auch im Helligkeitswert L*, oder CT Wert in Abb. 3 heben dies hervor. Bei genauerer Betrachtung der Daten kann diese Ablagerung in zwei homogene Sedimentpakete untergliedert werden, welche sich nur geringfügig in Farbe, L* unterscheiden. Eine Interpretation liegt nahe, dass es sich dabei um Ablagerungen zweier Trübestrome handelt, die unmittelbar nacheinander an der Kernlokation abgelagert worden sind. Die zeitlich unmittelbare Ablagerung wird auch durch die Abwesenheit einer für Turbidite am Top typische aus der Suspensionswolke rieselnde Tonkappe zwischen den beiden Lagen bestätigt. Die Korngrößen dieser beiden s.g. amalgamierten Turbidite sind sehr homogen verteilt und es lässt sich nur in den untersten Millimeter der jeweiligen Lage eine leichte Gradierung erkennen. Eine Kern-zu-Seismik Korrelation bringt diese Ereignislage auf das Zeitniveau des grünen Zeithorizonts mit multiplen Rutschungen. Ein interpretiertes Altersmodell der ersten 150 Jahren mittels Radionuklid-Datierung (²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs), lässt Rückschlüsse zu, dass es sich hierbei um die

sekundären Effekte des circa 17 km entfernten M_L 5.3 Namlos Erdbeben in 1930 AD handelt. Die remobilisierten Volumina, der durch die Erdbebenerstörung ausgelösten subaquatischen Rutschungen, sind im Vergleich zu älteren Zeithorizonten relativ gering. Unabhängig vom Auslösungsprozess, scheinen die älteren Ereignisse auf das Seesystem hinsichtlich remobilisierten Volumina deutlich stärker eingewirkt haben.

Ausblick

Der Hauptfokus laufender Studien wird darin liegen an ausgewählten Tiroler Seen (Plansee, Piburger See und Achensee) interdisziplinäre Datensätze hinsichtlich Naturgefahrenforschung zu erheben, analysieren und interpretieren. Für die vorgestellten Datensätze gilt es sowohl für Flutlagen als auch Erdbebenhorizonte eine Kalibration der Intensität (zB. Ereignis-Mächtigkeiten oder remobilisiertes Volumina) mit gemessenen Abfluss- oder makroseismischen Daten durchzuführen. Die daraus resultierenden prähistorischen Datensätze über Häufigkeit und Intensität dieser Naturgefahren würden speziell hinsichtlich Verbesserung von Risiko- und Gefahrenpotentialabschätzungen einen großen Beitrag leisten.

Danksagung

Die laufenden Studien werden durch das Interreg-V Projekt „ARMONIA“ und das Tiroler Wissenschaftsförderung Projekt „Tyrol on Shaky Slopes“ finanziert.

Referenzen

- Gilli, A., Anselmetti, F. S., Glur, L., & Wirth, S. B. (2013). Lake Sediments as Archives of Recurrence Rates and Intensities of Past Flood Events, 47, 225–242.
- Hammerl, C. (2017). Historical earthquake research in Austria. *Geoscience Letters*, 4(1), 99.
- Huang, J. J., Huh, C. A., Wei, K. Y., Löwemark, L., Lin, S. F., Liao, W. H., et al. (2016). Disentangling natural and anthropogenic signals in lacustrine records: An example from the Ilan Plain, NE Taiwan. *Frontiers in Earth Science*, 4(November), 1–12.
- Kremer, K., Wirth, S. B., Reusch, A., Fäh, D., Bellwald, B., Anselmetti, F. S., et al. (2017). Lake-sediment based paleoseismology: Limitations and perspectives from the Swiss Alps. *Quaternary Science Reviews*, 168, 1–18.
- Monecke, K., Anselmetti, F. S., Becker, A., Schnellmann, M., Sturm, M., & Giardini, D. (2006). Earthquake-induced deformation structures in lake deposits: A Late Pleistocene to Holocene paleoseismic record for Central Switzerland. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 99(3), 343–362.
- Reiter, F., Freudenthaler, C., Hausmann, H., Ortner, H., Lenhardt, W., & Brandner, R. (2018). Active seismotectonic deformation in front of the Dolomites indenter, Eastern Alps. *Tectonics*, 1–30.
- Thies, H., Tolotti, M., Nickus, U., Lami, A., Musazzi, S., Guizzoni, P., et al. (2012). Interactions of temperature and nutrient changes: Effects on phytoplankton in the Piburger See (Tyrol, Austria). *Freshwater Biology*, 57(10), 2057–2075.