

Seegeologische Untersuchungen im Fernsteinsee und Blindsee (Fernpass, Tirol)

Johanna Pöll (1), Patrick Oswald (1), Petra Nittel-Gärtner (2), Thomas Figl (2), Markus Aufleger (3) Markus Erhardt (4), Michael Strasser (1)

(1) Institut für Geologie, Universität Innsbruck

(2) Landesgeologie Tirol

(3) Arbeitsbereich Wasserbau, Institut für Infrastruktur, Universität Innsbruck,

(4) Departement Radiologie, Medizinisch Universität Innsbruck & Tirol Kliniken

1. Abstract

In 2019, the sedimentary archives of Fernsteinsee and Blindsee were investigated for the first time using state-of-the-art limno-geological methods. The goal of this study was to use multibeam bathymetry and reflection seismic data, and ~ 1.5m long sediment cores from the lake sediments to get a better understanding of how and when the lakes formed and how they relate to the complex morphology of the Fernpass region. The new bathymetric data reveal the lake geomorphology to mimic the surrounding complex morphology. The deepest basin in the Fernsteinsee contains up to 6m sedimentary infill characterized by intercalated bodies typical for gravitational mass-movement deposits. Sediment cores that reached the top of a prominent Megaturbidite were macroscopically described and analyzed for their physical and chemical parameters, main components and dated at specific core position using ¹⁴C dating. Strikingly, both lakes have a very similar evolution. At the base of the cores, clastic turbidites date to ~4100cal yr BP and likely link to the Fernpass rock slide event described in scientific literature. Yet, seismic stratigraphy below the cored and dated event-deposit linked to this Fernpass rock slide, may suggest (i) potential older lacustrine stratigraphy, or, alternatively may record (ii) complex multiphase rockslide and landscape recovery processes. Future longcoring will recover and date this deeper succession to test for these two interpretations, as, in particular (i) would imply that the Fernpass morphology (at least for the Fernsteinsee) was not formed by the 4.1ka Fernpass rockslide, but might be much older and possible of different origin.

2. Einleitung / Motivation

Seen stellen ein wichtiges Archiv dar, um einen Blick in die Vergangenheit zu erlangen. Es sind dynamische Systeme, die auf äußere Umwelteinflüsse reagieren und diese in ihren Sedimenten speichern. Sie stellen ein kontinuierliches, gut datierbares geologisches System dar, das Umwelteinflüsse sehr hochauflösend aufzeichnet, wodurch Seesedimente wichtige Rückschlüsse auf vergangene Umweltzustände und -veränderungen liefern (Strasser et al., 2013; Gilli et al., 2013).

Die beiden größten Seen der Fernpass Region (Fernsteinsee und Blindsee) wurden erstmals in einem 2019 durchgeführten Projekt der Tiroler Landesgeologie in Kooperation mit der Universität Innsbruck limnogeologisch untersucht, mit dem Ziel den Seeuntergrund im Detail geomorphologisch und geologisch

zu charakterisieren, und um das Seearchiv zu nutzen, damit Rückschlüsse auf die Seentstehung und damit die Entstehung der außergewöhnlichen Morphologie am Fernpass nachverfolgbar sind.

Mit der neuen Seevermessung und Sedimentbohrkernanalyse-Infrastruktur an der Universität Innsbruck (vgl. Strasser et al., 2017) stehen neue moderne Untersuchungsmethoden zur Verfügung, welche solche Fragestellungen bearbeiten können.

2.1. Geographischer Überblick

Der Fernsteinsee (948 m ü.A.) und Blindsee (1092 m ü.A.) befinden sich in der Fernpass Region in den Tiroler Bezirken Reutte und Imst und stellen die zwei größten Seen dieser Region dar (siehe Abbildung 1). Nordöstlich der beiden Seen befindet sich die Ortschaft Biberwier und südlich liegt die Ortschaft Nassereith. Mit 22ha ist der Blindsee flächenmäßig größer als der Fernsteinsee mit 18,22ha. Der Fernsteinsee weist eine maximale Tiefe von 14m auf, der Blindsee hingegen hat eine maximale Tiefe von 23m.

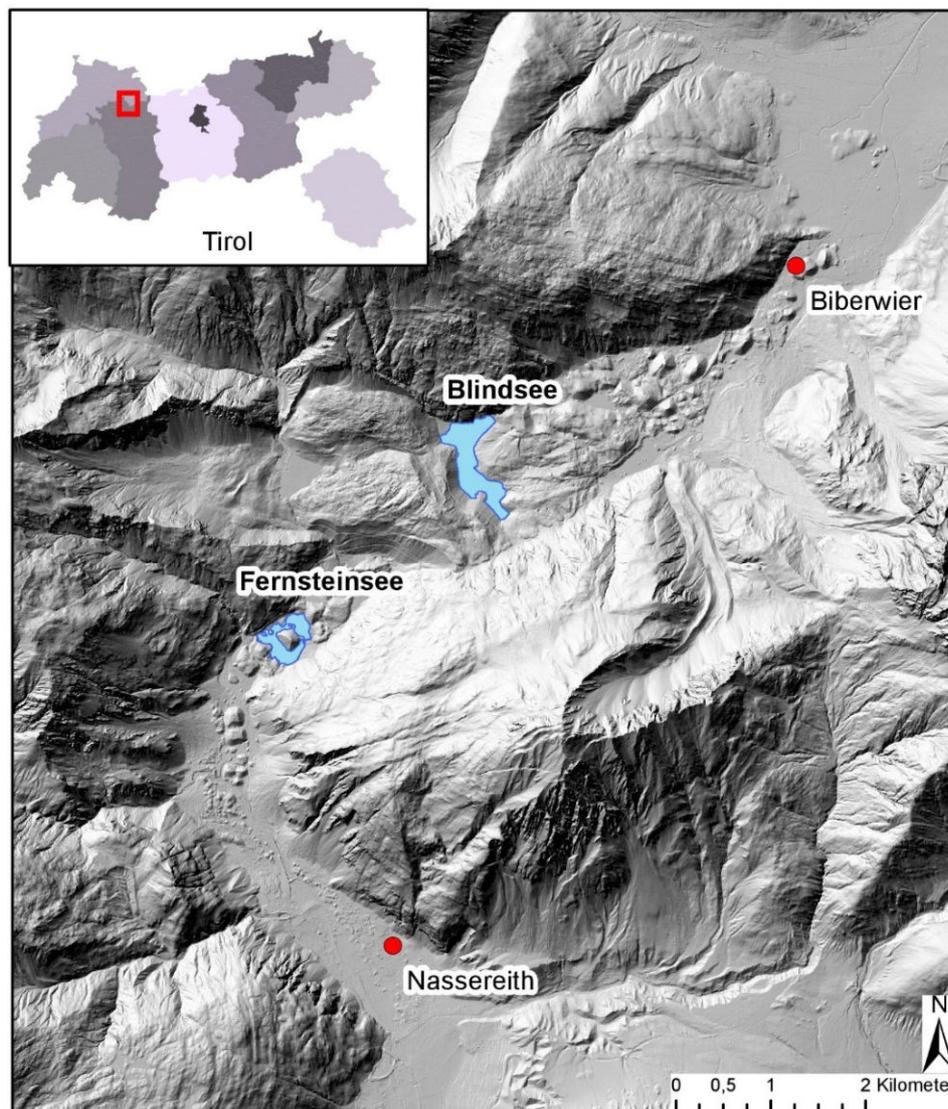


Abbildung 1: Geographische Lage von Fernsteinsee und Blindsee in der Fernpass-Region. Datenquelle Schummerung des Digitalen Gelände Model Land Tirol (data.tirol.gv.at)

2.2. Geologisch-geomorphologische Übersicht

Die Fernpass Region befindet sich im westlichen Teil der Nördlichen Kalkalpen. Im Westen wird der Fernpass von den Lechtaler Alpen und im Osten von der Mieminger Kette begrenzt. Größtenteils ist die Region aus Hauptdolomit (Norium) aufgebaut, der eine Mächtigkeit bis zu 2000m erreichen kann. Die Seefeld Formation stellt die jüngere Abfolge (Oberes Norium) dar, die mit der Plattenkalk Formation (Oberes Norium) verzahnt. Darauf folgt die Kössen Formation, die dem Rhät zu zuordnen ist (Prager et al., 2009; Fruth und Scherreiks, 1975). Die Talflanken um den Blindsee und Fernsteinsee sind aus Hauptdolomit und Plattenkalk aufgebaut. Raibler Schichten im Liegenden des Hauptdolomit sind mit Ausnahme einer kleinen Linse südlich des Fernsteinsees im Untersuchungsgebiet nicht aufgeschlossen (Ostermann et al., 2007; GBA, 2009; Mostler 2013; GBA, 2016;).

Geomorphologisch gesehen, besitzt der Fernpass eine außergewöhnliche Morphologie mit Erdfallstrukturen und Toma-Hügeln, die im Norden bis ~Biberwier und im Süden bis ~Nassereith reichen. Zudem kommen längliche bis rundliche Depressionen vor, die teilweise durch Seen aufgefüllt wurden (Ostermann et al., 2007).

2.3. Stand der Wissenschaft im Forschungsgebiet

Bereits Abele (1974) und darin zitierte ältere Arbeiten beschrieben die Fernpassmorphologie im Detail und interpretierten sie als Folge eines möglichen Bergsturzereignisses. Ostermann et al. (2007) und Prager et al. (2009) befassten sich mit der Bergsturzhypothese und nutzen U-Th Isochronen Datierung an Aragonit Zement, welcher, deren Interpretation folgend, nach der Ablagerung des Bergsturzereignisses durch eine Wechselwirkung von Regenwasser und Gestein ausgefällt wurde. Datierungen der Zemente ergaben ein Alter von 4150 ± 100 Jahren, was als Minimal Alter der Bergstürze interpretiert wurde. Prager et al. (2009) verwendet auch Expositionsalter Datierungen in der interpretierten Anrissfläche zum Eingrenzen eines maximal möglichen Alters eines Bergsturzereignisses. Alle Ergebnisse der unterschiedlichen Datierungsmethoden stimmen gut überein und weisen auf ein Subboreales Alter hin. Außerdem nutzen die Autoren die nun detailliert aufgenommenen morphologischen Feldkriterien, um frühere Annahmen bezüglich einer glazial geprägten Morphologie, zu dementieren. Die Autoren deuteten die charakteristische Morphologie (wie in 2.2. bereits erwähnt) als eine primäre Bergsturz Morphologie und nicht als eine glazial geprägte Landschaft (z.B. Moränen), wie ursprünglich oft angenommen wurde (Prager et al., 2009).

Die Arbeit von Mostler (2013) erforschte die Entstehung der außergewöhnlichen Morphologie des Fernpasses, allerdings nicht, wie von Ostermann et al. (2007) und Prager et al. (2009) angenommen, hinsichtlich des Bergsturzes, sondern bezüglich des Einflusses von Gipskarst. Mithilfe von Laserscans und Geländeaufnahmen konnten einige Dolinen/Erdfallstrukturen im Fernpass Gebiet festgestellt werden. Die Entstehung dieser auffälligen Strukturen ist auf Zerbrechungserscheinungen im Untergrund zurückzuführen. Grund für diese Prozesse sind Karsterscheinungen von Gipsen und Rauwacken der Raibler Schichten. Diese neuen Beobachtungen gaben Anlass die Morphologie der Fernpass Region und deren Entstehung zu überdenken. Es wurde angenommen, dass die bisher als Bergsturzablagerungen angesprochenen Körper als anstehendes Festgestein bzw. alte Talfüllung zu sehen sind.

Wolkersdorfer (2019) bezieht sich auf die oben beschriebene Arbeit von Mostler (2013). Der Autor verwendet drei verschiedene hydrogeologische Methoden, um die Hypothese von Mostler (2013) zu überprüfen. Es wurde angenommen, dass sich die Sulfatgesteine, die für die Zerbrechungserscheinungen verantwortlich sind, als hydrochemische Signaturen in Quell- und Oberflächenwässern nachweisen lassen. Es konnten allerdings keine von Gips oder Anhydrit gesättigten Werte gemessen werden. Dadurch postulierte der Autor, dass die Auflösung von Gips oder Anhydrit kein dominierender Prozess war und somit auch kein Gipskarst im engeren Sinne vorliegt, wodurch die Morphologie der Region nicht durch Gipskarst beeinflusst wurde.

Aus dem heutigen Stand der Wissenschaft im Forschungsgebiet geht somit nicht eindeutig hervor, welcher Prozess, bzw. welche Prozesskombinationen der ausgeprägten Fernpass Morphologie zu Grund liegt. Fokus des hier vorgestellten Projektes sind die Seen, welche integrativer Bestandteil dieser Landschaft sind, und deren Genese mit der Entstehung der Morphologie zusammenhängen dürfte. Daher untersuchten wir den Seeuntergrund mit modernen limnogeologischen Methoden, um aus der Seebodenmorphologie, der Sedimentationsabfolge in den Seen und im Idealfall von Sediment und/oder Gesteinsproben unterhalb der Seebasis, Rückschlüsse auf die Seeentstehung und damit die Entstehung der außergewöhnlichen Morphologie am Fernpass ziehen zu können.

3. Methoden

3.1. Feldarbeit

Bathymetrie

Hochauflösende bathymetrische Daten wurden mit einem Kongsberg GeoSwath Plus Echolot aufgezeichnet. Die aus dem vermessenen Tiefenmodell resultierende Seebodenkarte hat eine horizontale Auflösung von 1m und eine vertikale Auflösung von wenigen cm.

Reflexionsseismik

Für die reflexionsseismischen Vermessungen der Sedimenteinfüllung der Seen wurde ein 3.5kHz „subbottom profiler“ (Geopulse Pinger) verwendet, mit einer theoretischen vertikalen Auflösung von 10cm. Für die Umrechnung der Eindringtiefe der Reflexionsseismik (gemessen in Zweiweg-Laufzeit des seismischen Signals) in die Tiefe, wird eine konstante P-Wellen Ausbreitungsgeschwindigkeit von 1500m/s angenommen. Für die Visualisierung und Analyse der Daten wurde die Software IHS Kingdom verwendet. Weiterführende Erläuterungen zur Methodik sind z.B. bei Daxer et al., 2018 gegeben.

Kurzkernentnahme

Hierfür wurde ein Gravitationskerngerät verwendet, das mit einem zusätzlichen Gleithammer (~10kg) ausgerüstet ist. Damit war es möglich bis 1,4m lange Sedimentproben zu entnehmen.

3.2. Laborarbeit

Multi-Sensor Core Logger (MSCL) der Firma Geotek

Sedimentpetrophysikalische Messungen wurden an allen entnommenen Sedimentkernen mittels dem Multi-Sensor Core Logger durchgeführt. Das MSCL misst Parameter wie Dichte, die magnetische Suszeptibilität und die P-Wellen Geschwindigkeit des Sediments. Weiterführende Erläuterungen sind z.B. bei Daxer et al., 2018 gegeben.

Makroskopische Kernbeschreibung

Die initiale Kernbeschreibung wurde anhand des Klassifikationsschemas von Schnurrenberger et al., 2003 durchgeführt. Für die Bestimmung der Sedimentfarbe wurde die „Munsell Soil Color Chart“, sowie mikroskopische Beschreibung von Smear Slides verwendet. Die Sedimente wurden hinsichtlich Farbe, Korngröße, makroskopische Organikreste, Lamination, lithologische Übergänge und anderen Auffälligkeiten beschrieben, charakterisiert und in Lithotypen untergliedert.

Altersbestimmung mit ¹⁴C-Methode

Altersbestimmungen wurden an der ETH Zürich (Labor für Ionenphysik) an Makro-Pflanzenresten in jeweils drei Horizonten pro See durchgeführt. Dabei wurde darauf geachtet ausschließlich Landpflanzen in ungestörten/nicht remobilisierten Sediment zu datieren, um die Alter nicht zu verfälschen wie z.B. durch einen „Hartwasser-Effekt“ bei der Datierung von Wasserpflanzen. Die ¹⁴C Alter wurden anhand der Intercal13 Kalibrationskurve kalibriert (Reimer et al., 2013) und werden in dieser Publikation als kalibrierte Jahre vor 1950 (cal yr BP) präsentiert. Diese Alter wurden dann als kontinuierliche Alter-Tiefe-Modell erstellt unter Verwendung von bayesischer Statistik mittels der Software Bacon (Blaauw & Christen, 2011).

Computertomographie

An der Medizinischen Universität Innsbruck wurden mit einem Siemens SOMATOM Definition AS computertomographische Messungen durchgeführt. Für die Visualisierung und Analyse der Daten wurde die Software VGSTUDIO und FIJI verwendet.

4. Resultate

4.1. Seemorphologie

An beiden Seen konnte erfolgreich die hochauflösende Bathymetrie vermessen werden (Abbildung 2). Der Fernsteinsee (Abbildung 2a) kann im Wesentlichen in zwei sehr unregelmäßige Becken (Ostbecken und Westbecken) gegliedert werden, die von einer seichten Hochzone im Nordwesten (< 5m Wassertiefe) getrennt sind. Im östlichen Teil hat der kleine Zufluss (Kaswasserbach) den See bereits aufgeschüttet, und mündet heute, wie auch ein weiterer kleiner Zufluss ins Nordostbecken. Im Westbecken unterteilen rundliche unterseeische Erhebungen von einigen 10-er Meter Durchmesser weitere kleinere Subbecken. Diese

Erhebungen reichen bis knapp unter die Wasseroberfläche (< 2m Tiefe) und kommen bei niedrigen Wasserständen als Inseln hervor.

Im Westbecken treten kegelförmige Depressionen im Seeboden auf (1-2m im Durchmesser, bis zu 1m tief; rote Pfeile in Abb. 2) mit ähnlichen Geometrien wie die südlich und südöstlich des Sees an Land erkennbaren morphologischen Depressionen (Blaue Pfeile in Abb. 2a)

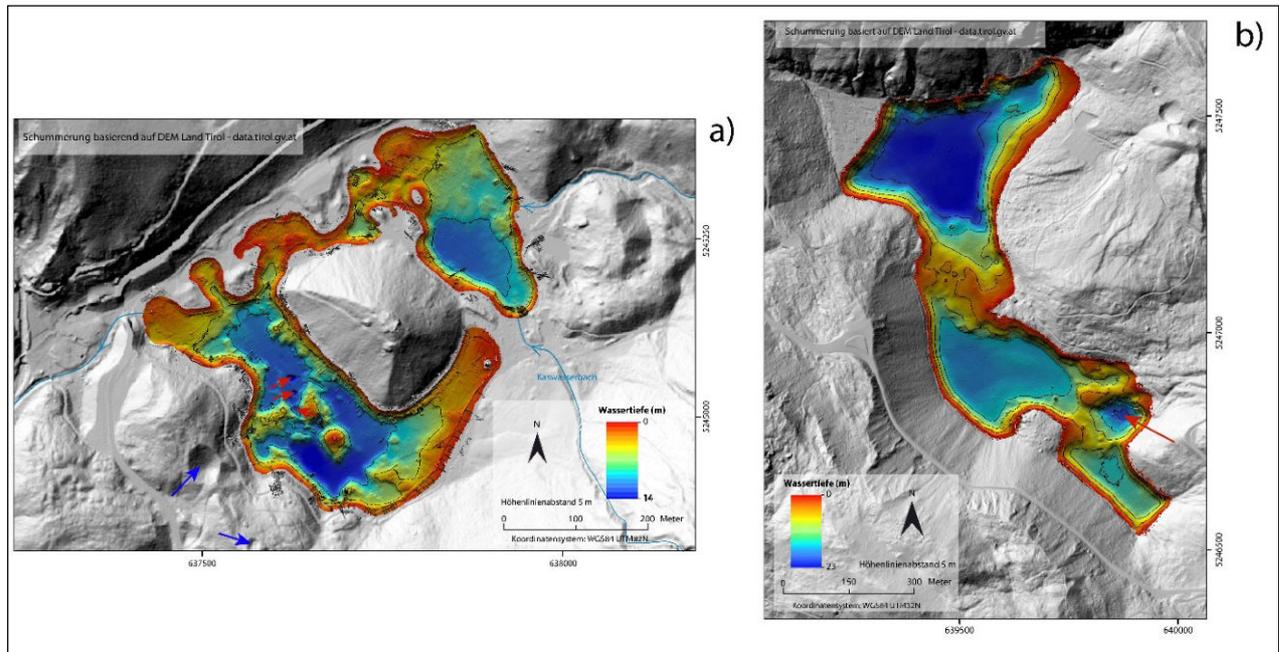


Abbildung 2: Bathymetrische Karten von Fernsteinsee (a) und Blindsee (b), eingebettet in die Schummerung des Digitalen Gelände Model Land Tirol (data.tirol.gv.at)

Der Blindsee kann anhand der Bathymetrischen Karte in 2 Hauptbecken unterteilt werden, die von einer seichteren Hochzonen (< 5m Wassertiefe) getrennt sind (Abbildung 2b). Im südöstlichsten Teil untergliedert sich das Südbecken in weitere Subbecken, wobei das mittlere einer rundlichen kegelförmigen Depressionen entspricht (roter Pfeil in Abbildung 2b). Die Uferlinien sind meist steil (> 15°). Im Norden wird die Uferlinie durch einen steilen felsdurchsetzten Hang aufgebaut.

Die subaquatische Geomorphologie der beiden bathymetrisch neu-vermessenen Fernpass-Seen zeigt somit die gleichen Charakteristiken wie die umliegende regionale Morphologie. Durch ein Fehlen von subaerischer Erosion und aufgrund einer langsamen subaquatischen Sedimentation bleiben die Strukturen über geologische Zeiträume gut erhalten.

4.2. Seismik

Um die sedimentäre Füllung der Seebecken durchleuchten zu können, wurde am Fernsteinsee eine 5km lange Reflexionsseismik gemessen und am Blindsee eine 4,5km lange Reflexionsseismik (siehe Abbildung 3). In den Bereichen, in denen eine gute seismische Penetration möglich war, wurde ein engmaschigeres Netz gemessen, um die sedimentäre Füllung räumlich bestmöglich abzubilden.

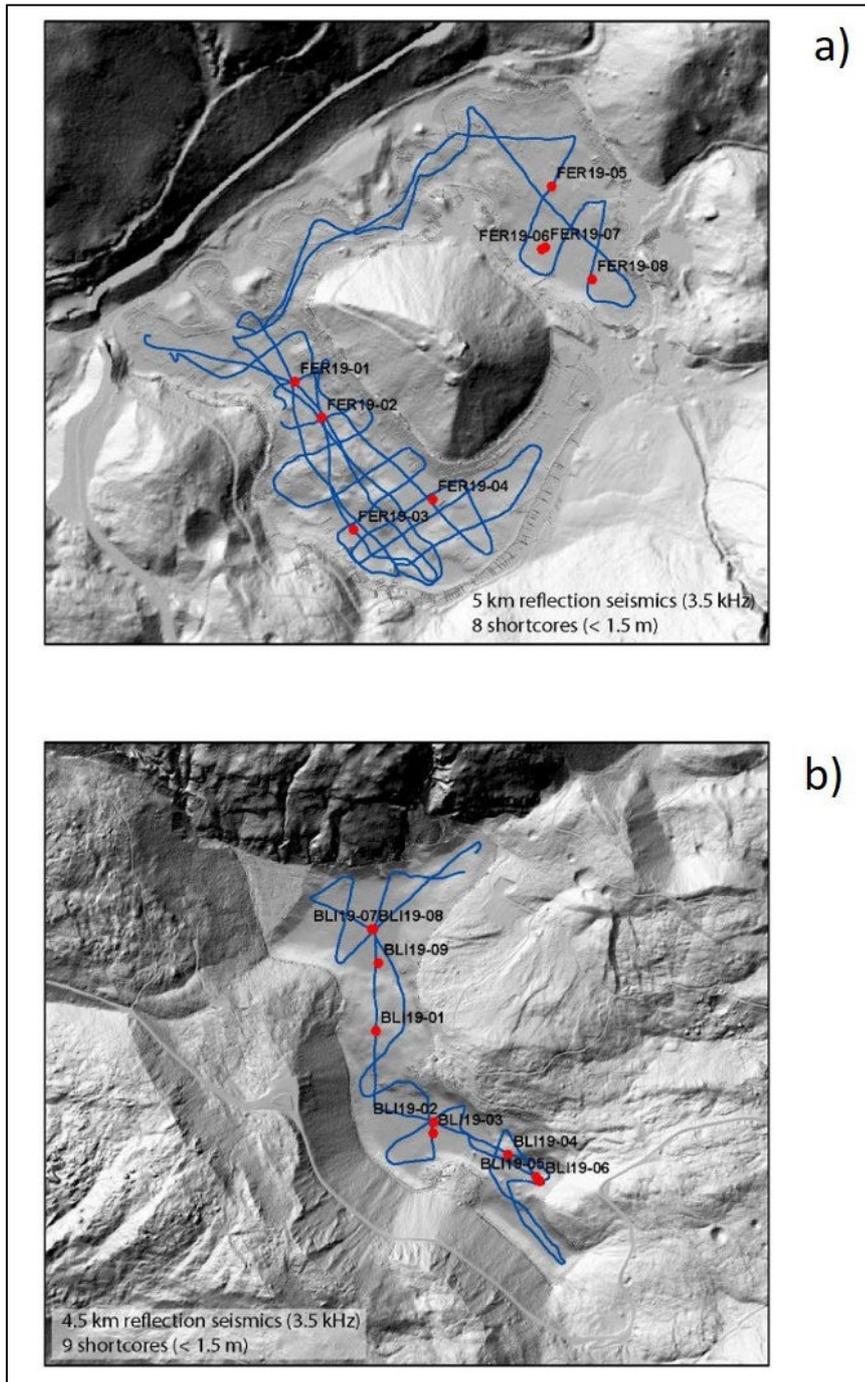


Abbildung 3: Spur der Reflexionsseismik und die Lokation der entnommenen Kerne für Fernsteinsee (a) und Blindsee (b) (Datenquelle, siehe Abbildung 2)

Beim Fernsteinsee konnte vorwiegend im Westbecken ein guter Einblick in die Sedimentfüllung gewonnen werden (siehe Abbildung 4a), während im Ostbecken keine seismische Penetration vorliegt, vermutlich aufgrund eines leicht erhöhten Gasgehalts im Sedimentporenraum, welcher durch die Zersetzung eingetragener Organik durch die Zuflüsse entstanden ist und zur Absorption der Schallwellenenergie führt („gas blanking“; z.B. Thot et al., 2014).

Im Westbecken liegt eine durchschnittliche seismische Eindringtiefe von 4 m vor, teilweise sogar bis zu 6 m. Dort wo das akustische Basement ersichtlich ist (grüner Horizont in Abbildung 4a), wird ebenfalls eine unregelmäßige Morphologie mit tiefen Depressionen (> 6m) und zusedimentierten Erhebungen ersichtlich. Die obersten 1-2m der Beckenfüllung sind durch parallel-geschichtete Ablagerungen charakterisiert (Seismische Einheit (SE) 1; Abbildung 4a). Die in Abbildung 4a beschriebenen Depressionen zeigen sich auch in der Seismik deutlich, und deren Genese scheint während der Ablagerung der obersten Einheit aktiv zu sein (z.B. Reusch et al., 2015).

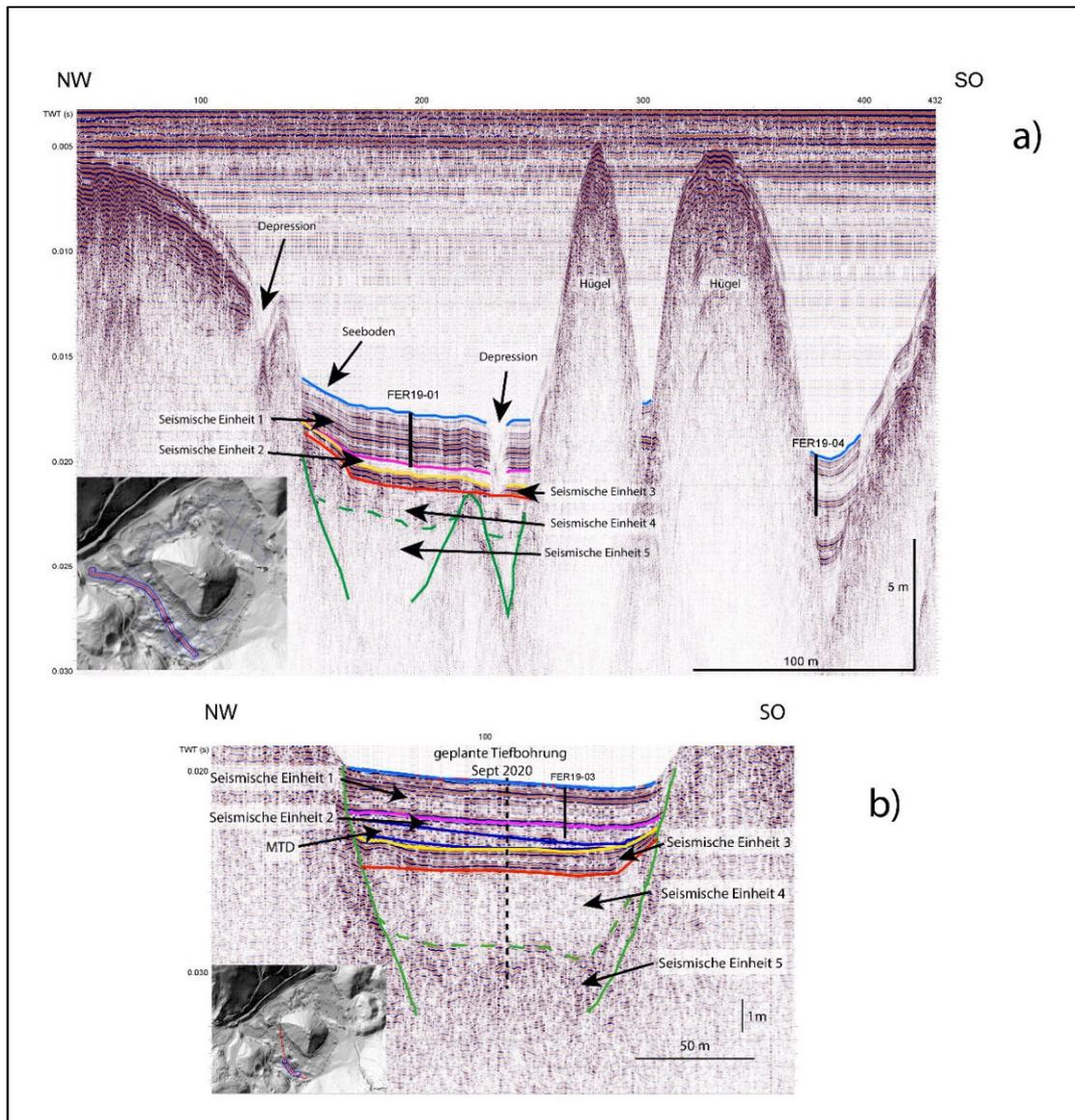


Abbildung 4: Reflexionsseismische Profile im Westbecken des Fernsteinsees (a), mit interpretierter seismischer Stratigraphie (siehe Text) und Lokation der Kurzkerne, sowie ein Detailausschnitt (b) mit der geplanten Tiefbohrung im September 2020.

Darunter bilden die reflexionsseismischen Daten einen ca. 0,5m mächtigen Körper (SE-2) ab, der intern geringere Amplituden (homogene akustische Fazies) und lateral onlaps an eine basale Reflexion erhöhter Amplitude aufweist. In der Literatur werden solche seismischen Einheiten als Megaturbidite bezeichnet und

repräsentieren die gravitative Ablagerung eines Trübestrom nach einem Massenbewegungsereignis (z.B. Sammartini et al., 2019). Im südwestlichsten Teil bilden die seismischen Daten auch einen solchen keilförmigen Massenbewegungskörper (mass-transport deposit (MTD)) mit intern-chaotischer akustischer Fazies ab (blauer MTD in Abbildung 4b). Darunter erscheint eine ca. 1m mächtige Einheit (SU3), welche wiederum durch parallel- bis teilweise diskontinuierliche Reflektionsmuster unterschiedlicher Amplituden charakterisiert ist. Die tieferliegende SU 4 ist eine mehr als 2 m mächtige reflexionsseismische Einheit, die durch sehr niedrige Amplituden und eher durch homogene akustische Eigenschaften charakterisiert ist, deren interne Geometrie kaum erkennbar ist. Die reflexionsseismischen Daten im tiefsten Südbecken bilden im untersten Abschnitt weitere, eher chaotische Reflexionen mit leicht erhöhter Amplitude ab (SU-5), welche nur schwer vom akustischen Basement abgrenzbar sind.

Beim Blindsee tritt auch wieder das Problem des erhöhten Gasgehaltes auf („gas blanking“), wodurch sich nur Eindringtiefen von etwa 1,5 m ergeben. Diese 1,5 m mächtige Sedimentabfolge zeigt horizontal geschichtet bis leicht linsenförmige Geometrien und ist durch geringe interne seismische Reflektivität charakterisiert (SE-1; Abbildung 5). Die SE-1 zu SE-2 Grenze (pinker Horizont in Abbildung 5) zeigt ein Übergang zu sehr starken Amplituden, welche kaum ein tieferes Eindringen erlauben (gas-blanking?)

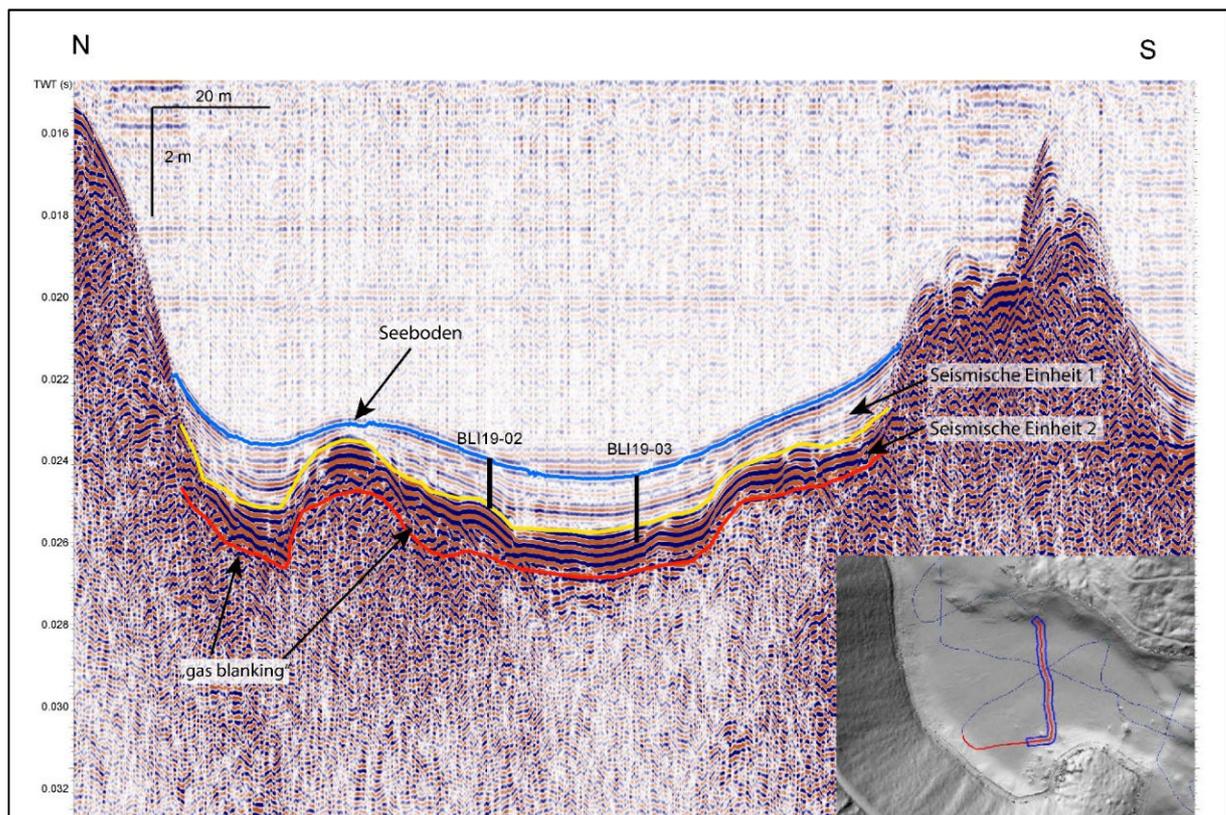


Abbildung 5: Reflexionsseismisches Profil durch den Blindsee

4.3 Kurzkerne

Im Rahmen der seegeologischen Untersuchungen 2019 wurden im Fernsteinsee 8 Sedimentkerne entnommen und im Blindsee wurden 9 Sedimentkerne entnommen. In Abbildung 3 sind die Lokationen der Sedimentkerne dargestellt. Für den Fernsteinsee wurde für die hier vorliegende Publikation der Kern FER19-03 als Hauptkern herangezogen, da er einerseits im südlichen Westbecken entnommen worden ist, welches die größte Eindringtiefe der Reflexionsseismik enthält und andererseits da der Kern selbst am meisten Stratigraphie beinhaltet. Für den Blindsee wurde der Kern BLI19-03 gewählt, aufgrund seiner Stratigraphie und da er im, von der Reflexionsseismik als vielversprechend gedeuteten, Südbecken gezogen worden ist.

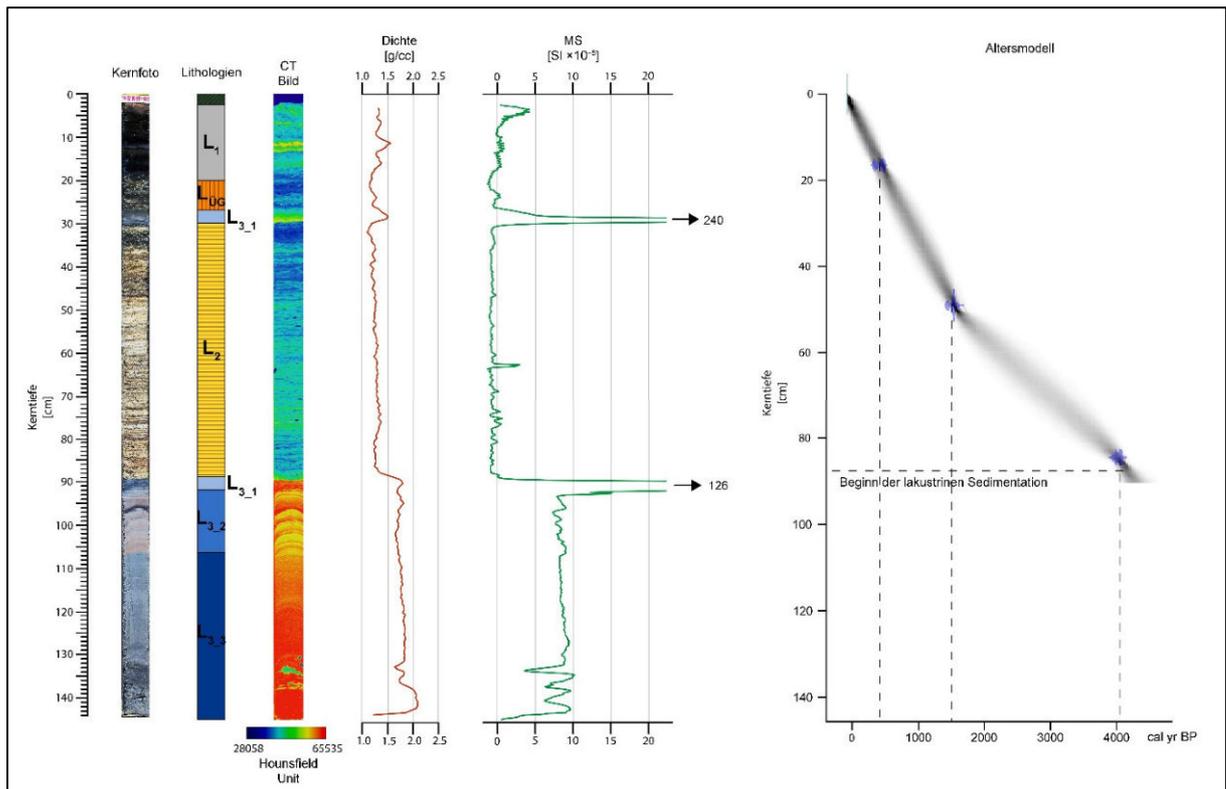


Abbildung 6: Kompilierte Daten des Kerns FER19-03 bestehend aus (v.l.n.r) Histogramm-equilibriertes Kernfoto, interpretierten Lithotypen, CT Bild, MSCL Daten (Dichte, magnetische Suszeptibilität), und dem aus den radiokarbon-Altern (diskrete blaue Datenpunkte in cal yr BP mit 95% Wahrscheinlichkeitsintervall (Reimer et al., 2013) modellierten Altersmodell.

Im gekernten Intervall der stratigraphischen Abfolge im Fernsteinsee ist ein deutlicher Übergang von einer klastischen Sedimentation an der Basis (Lithotypen L₃) zu einer darüberliegenden lakustrinen/organischen Sedimentation (L₂ und L₁) erkennbar: L₃ hat erhöhte Dichte und Magnetische Suszeptibilität Werte (mit sehr hohen Peak im Sublithothyp L3-1). Die Lithologie besteht aus gradierten, feinstkörnigen (Ton -bis- Feinsilt Fraktion) bis sandigen Sedimenten, welche mehrheitlich aus karbonatischen Mineralbruchstücken besteht und keine biogene/limnische Sedimentpartikel enthält. Diese Charakteristika deuten auf ereignisbezogenen gravitative klastische Sedimentationsprozesse hin. L₂ hingegen besteht aus Organik-reichen laminierten

tonigen-bis-siltigen Sedimenten, die zwar ebenfalls karbonatische Mineralbruchstücken, aber auch viele Diatomeen und Pflanzenreste enthalten. L1 ist auffällig dunkel, sehr Organik-reich, feinkörniger als L2, aber auch mit Diatomeen, so dass sowohl L2 als auch L1 der kontinuierlichen lakustrinen Sedimentationsphase entsprechen.

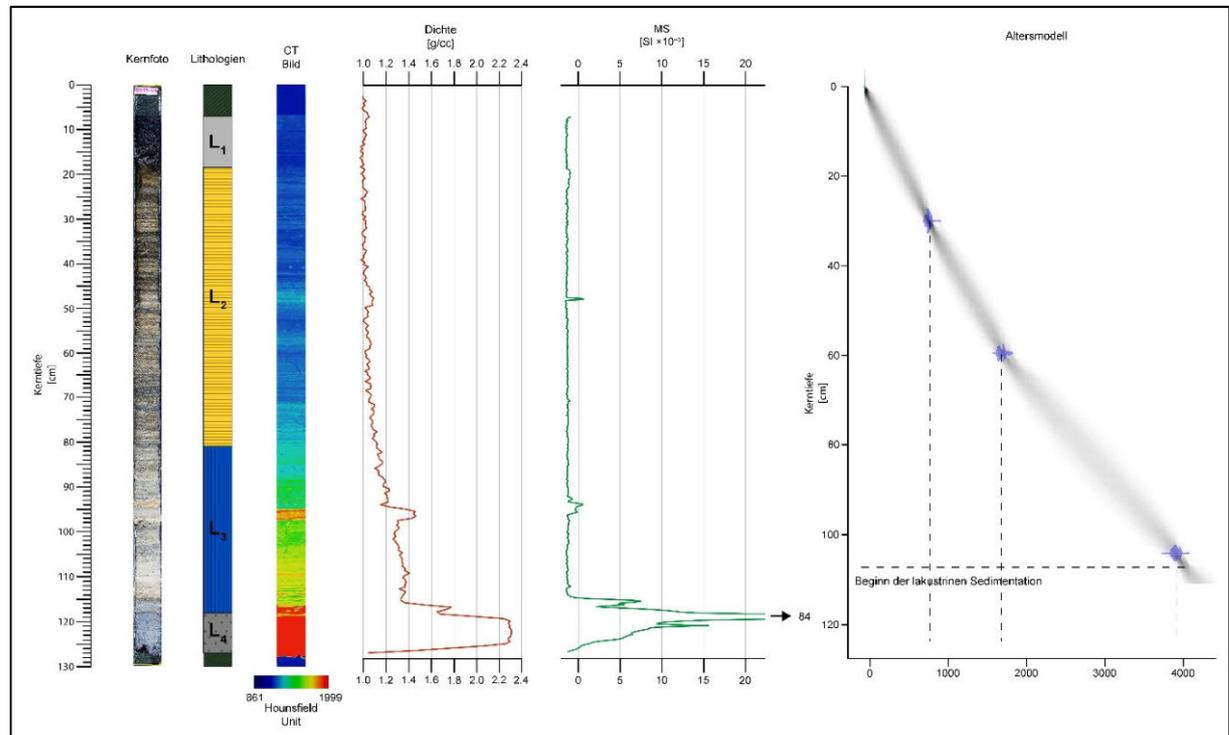


Abbildung 7: Kompilierte Daten des Kerns BLI19-03 bestehend aus (v.l.n.r) Histogramm-equilibriertes Kernfoto, interpretierten Lithotypen, CT Bild, MSCL Daten (Dichte, magnetische Suszeptibilität), und dem aus den radiokarbon-Altern (diskrete blaue Datenpunkte in cal yr BP mit 95% Wahrscheinlichkeitsintervall (Reimer et al., 2013) modellierten Altersmodell.

Beim Blindsee findet sich am Top auch wieder eine sehr Organik-reiches Intervall, ähnlich dem Lithotyp 1 beim Fernsteinsee (beim Blindsee auch als Lithotyp 1 bezeichnet). Auf Lithotyp 1 folgt mit Lithotyp 2 eine laminierte, homogene Sedimentabfolge mit relativ unauffälligen MSCL Daten. Beide Lithotypen enthalten Diatomeen. Bei Lithotyp 3 lassen sich schon deutliche Anstiege in der Dichte vermerken, was auch im CT Bild gut ersichtlich ist, Lithotyp 4 besitzt die höchsten Werte in Dichte und magnetischer Suszeptibilität, und zeigt die gleichen texturellen und mineralogischen Charakteristika wie die im Fernsteinsee identifizierte ereignisbezogenen gravitative klastische Sedimentationsabfolge (vgl. Lithotyp 3 im Fernsteinsee).

4.4 Altersmodell

Pro See wurden 3 Proben aus dem stratigraphischen Intervall der lakustrinen Sedimentationsphase für die ^{14}C Altersbestimmung entnommen, mit dem Ziel das Alter des prominenten Übergangs von der gravitativen

Ereignissedimentation zum Beginn der lakustrinen Sedimentation zu bestimmen. In beiden Kernen konnte ein gutes Alter-Tiefenmodell für die letzten ca. 4000 Jahre erstellt werden (vgl. Abbildung 6 und 7). Im Fernsteinsee ergab sich eine Sedimentationsrate von durchschnittlich 0,021 cm/a. Im Blindsee ergab sich eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0,26 cm/a. Die basale Ereignissedimentation, bzw. der Beginn der lakustrinen Sedimentationsphase beginnt in beiden Seen innerhalb der Radiokarbon Unsicherheit gleichzeitig vor ca. 4000 +/- 200 Jahren.

5. Diskussion

Der interpretierte Übergang von einer klastischen Ereignissedimentation zur kontinuierlichen lakustrinen Sedimentation im Bohrkern FER19-03 korreliert gut mit dem Megaturbidit der seismischen Einheit 2, und bestätigt somit diese seismische Interpretation eines Massenbewegungsereignisses (Abb. 4b). Im Blindsee war die seismische Interpretation der SE-2 nicht eindeutig, die Kern-Korrelation und die vergleichbare Sedimentäre Abfolge des Bohrkern BLI19-03 deuten aber darauf hin, dass auch der Ursprung dieser Einheit einem gravitativem Massenbewegungsereignis zuzuschreiben ist.

Unsere neue Altersdatierung der auf dieses Massenbewegungsereignis einsetzenden lakustrinen Sedimentation in den beiden Fernpasseen (4000 +/- 200 Jahren Alter) stimmt mit dem von Ostermann et al. (2007) und Prager et al. (2009) datieren Bergsturz (4150 ± 100 Jahre) überein, was auf einen kausalen Zusammenhang schließen lässt.

Die reflexionsseismischen Daten, und die darauf basierende Seismik-stratigraphische Interpretation im tiefsten Südbecken des Fernsteinsees zeigt aber deutlich, dass sich unterhalb der SE-2 und dem gekernten ~4100.BP Megaturbidit, noch tiefere, geschichtet Sedimentablagerungen (SE 3) befinden. Worum es sich bei diesen Ablagerungen handelt ist noch unklar, basierend auf ihrem akustischen Charakter, kann es sich aber nicht um grobkörnige, blockige Ablagerungen eines größeren Bergsturzereignisses handeln.

Somit lässt sich aus den vorhandenen Daten nicht eindeutig schlussfolgern, ob das von Prager et al., 2009 datierte Bergsturzereignis, welches in unseren Daten mit dem Massenbewegungsereignis der SE 2 korreliert, auch mit der Genese der Toma-Morphologie in direktem Zusammenhang steht. Möglicherweise könnten unterhalb des ~ 4100 Jahren BP Bergsturzhorizontes (SE-2) ältere Seesedimente auftreten. Dies würde zeigen, dass es sich beim 4100 Jahre BP Ereignis nur um einen eher kleineren Bergsturz handelte, der im vorher bereits bestehenden Fernsteinsee lediglich eine distale, geringmächtige Ereignislage darstellt. Ein alternative Interpretation der seismischen Abfolge unterhalb der gekernten SE 2, wäre hingegen, dass keine kontinuierlich-abgelagerten Seesedimente auftreten, sondern die ganze Abfolge über dem akustischen Basement einer mehrphasigen Abfolge gravitativer Ablagerungsprozesse entspricht, welche sich innerhalb relative kurzer Zeit unmittelbar nach einem großen - Morphologieformenden Bergsturz ergaben (vgl. z.B. Deplazes et al., 2007)

6. Ausblick

Um die gesamte Sedimenteinfüllung, die bei der reflexionsseismischen Vermessung beobachtet werden kann, zu beproben, ist eine weitere Tiefbohrung im Fernsteinsee im September geplant. Ziel ist es die tieferen Sedimente mit Langkernen zu beproben, um dadurch Einblick in die komplette Sedimentfüllung des Fernsteinsees und möglicherweise auch Einblicke in die regionale morphologische Entstehung zu erhalten. Geplant sind auch weitere ¹⁴C Datierungen, die das Altersmodell verfeinern sollen und nach Möglichkeit das gesamte Sedimentpaket zeitlich einordnen sollen.

Literatur

- Abele, G. (1974): Bergstürze in den Alpen: ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. – Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, Nr. 25, München
- Blaauw, M., Christen, J. (2011): Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian analysis*, 6(3), 457-474
- Daxer, C., Moernaut, J., Taylor, T., Haas J.N., Strasser, M., (2018) Late Glacial and Holocene sedimentary infill of Lake Mondsee (Eastern Alps, Austria) and historical rockfall activity revealed by reflection seismics and sediment core analysis. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 111:1, 111-134
- Deplazes, G., Anselmetti, F. S., Hajdas, I. (2007): Lake sediments deposited on the Flims rockslide mass: the key to date the largest mass movement of the Alps. – *Terra Nova*, Nr. 19, S. 252-258
- Fruth, I., Scherreiks, R., 1975. Facies and geochemical correlations in the Upper Hauptdolomit (Norian) of the eastern Lechtaler Alps. *Sediment. Geol.* 13, 27–45.
- GBA (Geologische Bundesanstalt) (2009): Geofast 115 Reutte. 1 : 50 000, Wien
- GBA (Geologische Bundesanstalt) (2016): Geofast 116 Telfs. 1: 50 000, Wien
- Gilli, A., Anselmetti, F. S., Glur, L., Wirth, S. B. (2013): Lake Sediments as Archives of Recurrence Rates and Intensities of Past Flood Events. – *Advances in Global Change Research*, Nr. 47, S. 225-242
- Mostler, W. (2013): Der Fernpassbergsturz in völlig neuem Lichte. – Tagungsband 15. Geoforum Umhausen 2013
- Ostermann, M., Sanders, D., Prager, C., Kramers, J. (2007): Aragonite and calcite cementation in “boulder-controlled” meteoric environments on the Fern Pass rockslide (Austria): implications for radiometric age dating of catastrophic mass movements. – *Facies*, 53, S. 189-208, Springer
- Prager, C., Ostermann, M., Ivy-Ochs, S., Synal, H.-A. (2009): Geology and radiometric ¹⁴C-, ³⁶Cl- and Th-/U-dating of the Fernpass rockslide (Tyrol, Austria). – *Geomorphology*
- Regents of the University of Minnesota (2011): Tool for Microscopic Identification (TMI). – <https://tmi.laccor.umn.edu/>
- Reimer, P. J., Bard, E. et al. (2013): IntCal13 and Marine13 Radiocarbon Age Calibration Curves 0-50,000 Years cal BP. – *Radiocarbon*, Nr. 55, S. 869-1887
- Reusch, A., Loher, M., Bouffard, D., Moernaut, J., Hellmich, F., Anselmetti, F. S., Bernasconi, S. M., Hilbe, M., Kopf, A. J., Lilley, M. D., Meinecke, G., Strasser, M. (2015): Giant lacustrine pockmarks with subaqueous groundwater discharge and subsurface sediment mobilization. – *Geophysical Research Letters*, Nr. 42, S. 3465-3473

Sammartini, M., Moernaut, J., Anselmetti, F. S., Hilbe, M., Lindhorst, K., Praet, N., Strasser, M. (2019): An Atlas of Mass-Transport Deposits in Lakes. - Submarine Landslides: Subaqueous Mass Transport Deposits from Outcrops to Seismic Profiles, Geophysical Monograph 246, S. 201-226

Schmid, S., Fügenschuh, B., Kissling, E., Schuster, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. – *Eclogae Geologicae Helveticae* 97, S. 93 – 117, Birkhäuser Verlag, Basel

Schnurrenberger, D., Russel, J., Kelts, K. (2003): Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components. *Journal of Paleolimnology*, 29(2), 141-154

Strasser, M., Aufleger, M., Erhardt, M., Innerhofer, D., Moernaut, J., Schellhorn, M., Recheis, W. (2017): Seesedimente als geologische Zeugen prähistorischer Erdbeben in den Alpen. – Tagungsband 19. Geoforum Umhausen 2017

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*, Nr. 60, S. 319-341

Tóth, Z., Spieß, V., Jensen, J. (2014): Seismo-acoustic signatures of shallow free gas in the Bornholm Basin, Baltic Sea. – *Continental Shelf Research*, Nr. 88, S. 228-239

Wolkersdorfer, C. (2019): Gibt es hydrogeologische Hinweise auf einen Gipskarst am Fernpass?. – Tagungsband 21. Geoforum Umhausen 2019