

Floren- und Vegetationsgeschichte des Altausseer Sees und seiner Umgebung an Hand von Makrorestanalysen eines Sedimentbohrkerns

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades des
Bachelor of Science

Vorgelegt am Institut für Botanik der Universität Innsbruck
Bei Ao. Univ.-Prof. Dipl. Biol. Dr. Jean Nicolas Haas



Von Cassandra Kremer
Matr.-Nr. 11920115
Innsbruck 2023

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich recht herzlich bei allen Personen bedanken, die mich tatkräftig beim Verfassen dieser Bachelorarbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank geht dabei in erster Linie an meinen Betreuer Jean Nicolas Haas, welcher mir die Möglichkeit gegeben hat diese Bachelorarbeit zu verfassen. Er nahm sich stets Zeit, um mir von der Entnahme der Sedimentproben, über die Bestimmung der Makrofossilien, bis hin zur Korrektur der Erstfassung mit Rat und Tat zur Seite zu stehen. Des Weiteren möchte ich mich bei Marcel-Luciano Ortler bedanken, der mir bei der Entnahme der Sedimentproben geholfen hat, die treibende Kraft für die Radiokarbon-Datierungen war und letztlich auch das vorläufige Altersmodell erstellt hat. Mein Dank gilt auch Hannah Stanger, die mir eine große Hilfe im Umgang mit dem Computer-Programm Tilia war. Außerdem möchte ich mich bei meiner Mitbewohnerin Nele Matzka bedanken, die meine Arbeit Korrektur gelesen hat. Mein letzter Dank gilt meinen Eltern, die mir mein ganzes Studium erst ermöglicht haben und mich von Anfang bis Ende stets unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ABSTRACT | 1 |
| 2 | EINLEITUNG | 1 |
| 2.1 | FRAGESTELLUNG UND FORSCHUNGSZIEL | 2 |
| 2.2 | GEOGRAFISCHER UND GEOLOGISCHER ÜBERBLICK | 3 |
| 2.3 | KLIMA | 4 |
| 2.4 | VEGETATION | 6 |
| 3 | MATERIAL UND METHODEN | 7 |
| 3.1 | ENTNAHME DES BOHRKERNS | 7 |
| 3.2 | ENTNAHME DER SEDIMENTPROBEN | 8 |
| 3.3 | PROBENAUFBEREITUNG | 10 |
| 3.4 | MAKRORESTBESTIMMUNG | 11 |
| 3.5 | ERGEBNISDARSTELLUNG | 12 |
| 3.5.1 | MAKROFOSSILANALYSE | 12 |
| 3.5.2 | AUFNAHMEN DER FUNDE | 13 |
| 3.6 | RADIOKARBON (¹⁴ C)-DATIERUNGEN | 13 |
| 4 | ERGEBNISSE | 14 |
| 4.1 | MAKROFOSSILANALYSE | 14 |
| 4.1.1 | LOKALE MAKROFOSSILZONEN | 14 |
| 4.1.2 | GRAFISCHE DARSTELLUNG ALLER MAKROFOSSILIEN | 16 |
| 4.1.3 | DETAILGRAFIK KONIFEREN | 17 |
| 4.1.4 | DETAILGRAFIK LAUBBÄUME, STRÄUCHER UND KRAUTIGE PFLANZEN | 18 |
| 4.1.5 | DETAILGRAFIK UNBESTIMMTES | 19 |
| 4.1.6 | DETAILGRAFIK MOORPFLANZEN UND KRYPTOGAMEN | 20 |
| 4.1.7 | DETAILGRAFIK ZOOLOGISCHE UND ANDERE FUNDE | 20 |
| 4.2 | RADIOKARBON (¹⁴ C)-DATIERUNGEN | 22 |
| 5 | DISKUSSION | 23 |
| 6 | SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK | 27 |
| 7 | LITERATUR | 29 |
| 8 | ANHANG | 32 |

1 Abstract

Auf dem Seeboden des Altausseer Sees wurden Krater mit Quellaktivität lokalisiert. Zur Rekonstruktion der vergangenen Flora und Vegetation um den Altausseer See, vor allem im Hinblick auf die Kraterentstehung, wurde ein Sedimentbohrkern am Rande eines Kraters entnommen. Dieser wurde beprobt und auf dessen Makrofossilinhalt untersucht. Zusätzlich wurden Radiokarbon-Datierungen durchgeführt, wodurch ein vorläufiges Altersmodell erstellt werden konnte. Die Entstehung des Kraters konnte so auf etwa 1832–2291 cal BP modelliert werden (BP = 1950 n. Chr.). Im unteren Teil des Kerns konnten vor allem Koniferen (Coniferales) in Form von Tannennadeln (*Abies alba*), Knospenschuppen und Periderm-Funde von Kieferngewächsen (Pinaceae), in kleineren Mengen aber auch Fichten- (*Picea abies*) und Lärchennadeln (*Larix decidua*) dokumentiert werden. Diese nahmen nach oben hin ab, v.a. zwischen den Sedimenten nach der Kraterentstehung und dem Megaturbidit. Auch konnten Funde von *Substantia lignosa* (SL; Holzteilchen) und Wurzeln indet. (unbestimmt) im unteren Teil dokumentiert werden. Im oberen Teil des Bohrkerns, also nach dem Megaturbidit (1140 yr cal. BP), wurden die Koniferen dann von vereinzelt krautigen Pflanzen (Herbs) und vor allem durch Moorpflanzen (Mire plants) und Kryptogamen (Cryptogams) wie Lebermoose (Marchantiophyta), Torfmoose (*Sphagnum*) und eine große Anzahl an Amblystegiaceae (Braunmoose) abgelöst. Diese Veränderung der Vegetation könnte auf klimatisch bedingte Seespiegelstandsänderungen oder auf eine veränderte Quellaktivität des Kraters hinweisen. Neben der Vielzahl an pflanzlichen Makrofossilien konnten auch zoologische und minerogene Funde gemacht werden.

2 Einleitung

Diese Bachelorarbeit ist Teil eines Großprojektes rund um den Altausseer See (Steiermark, Österreich). Der Großprojektleiter Erwin Heine erklärt in einer seiner Publikationen wie es zu dem Projekt kam (Heine, 2021). So schildert er, wie der renommierte Meeresforscher Walter Munk im Sommer 2018 zum See, an dem er einen Großteil seiner Kindheit verbracht hatte, dem Altausseer See, zurückkehrte. Laut Heine (2021) kam in Munk der Wunsch auf, den See eingehend zu untersuchen, um der heimischen Gesellschaft, im Vordergrund vor allem jungen Menschen, ein breites Wissen hinsichtlich der Wichtigkeit und dem Wert von

Gewässern, im Kontext auf unsere Zukunft zu vermitteln. Er beschreibt, wie das Großprojekt im Herbst 2018, nachdem das Forschungsziel und die Finanzierung durch die Walter Munk Foundation for the Ocean (WMFO), La Jolla (Kalifornien, USA) und die Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien geklärt waren, Fahrt aufnahm. Im Rahmen des Projekts sollen Inhalte aus verschiedenen Fach-Disziplinen zur wissenschaftlichen Erschließung des Sees beitragen, wobei das Hauptaugenmerk auf den Untersuchungen der geologische Struktur, des hydrogeologische Systems und der Biologie des Altaussee Sees liegen sollen (Heine, 2021). Hinsichtlich der Biologie des Sees spielt neben der rezenten Flora und Vegetation auch die vergangene Vegetation eine wichtige Rolle. Sedimentablagerungen in Seen können als extrem wichtige Archive zur Rekonstruktion von ehemaligen Landschaften genutzt werden (Jacomet & Kreuz, 1999). Darin enthaltene Makrofossilien und Pollen können als wichtiges Instrument dienen, um vergangene Floren- und Vegetationsgemeinschaften zu rekonstruieren (Jørgensen et al., 2012).

2.1 Fragestellung und Forschungsziel

Vorangegangene Sedimentuntersuchungen im Altaussee See konnten bereits eine dicke Megaturbidit-Schicht im Seesediment lokalisieren (Moernaut et al., 2021). Mit Megaturbidit wird eine dicke, einheitliche Ablagerungsschicht, die sich hinsichtlich ihres Materials vom restlichen Sedimentmaterial unterscheidet und durch eine schwerkraftgetriebene bodennahe Dichteströmung oder einen Massenstrom entstanden ist, bezeichnet (Bouma, 1987). Rechenmacher et al. (2022) beschreiben, dass die im Altaussee See entdeckte Megaturbidit-Schicht aufgrund einer massiven Sedimentmobilisierung entstanden ist. Laut den Autoren soll diese vor allem Teile des östlichen Sees beeinflusst und somit einen immensen Beitrag zur Entstehung von Kratern am Seeboden geleistet haben. Sie erklären außerdem Variationen hinsichtlich des Wasserstandes. So beschreiben Rechenmacher et al. (2022) Anzeichen für Wasserhochstand im Spätglazial, niedrige Wasserspiegel in großen Teilen des Holozäns und einen wiederholten Hochstand während der letzten 1200 yr cal. BP. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit gehen wir davon aus, dass diese Einflüsse zu einer Vergrößerung des Sees und damit einhergehend zu massiven Veränderungen hinsichtlich der Vegetation rund um den Altaussee See geführt haben müssen.

Aufgrund dieser Hypothese und der bereits genannten Wichtigkeit von Makrofossilien in Seesedimenten, hinsichtlich der Erschließung von Floren- und Vegetationsgeschichten, untersuchten wir Proben eines Sedimentbohrkerns des Altausseer Sees auf dessen Makrofossilinhalt. Damit wollen wir der Hauptfragestellung nachkommen, wie sich die Flora und Vegetation rund um den Altausseer See durch die Entstehung des Kraters und dem Megaturbidit am Seeboden verändert hat. Ziel dieser Arbeit ist es, mithilfe der entnommenen Makrofossilien, die Vegetation um den Krater, bzw. um den Altausseer See (i) vor und nach der Kraterentstehung und (ii) vor und nach des Megaturbidit zu rekonstruieren.

2.2 Geografischer und Geologischer Überblick

Der Altausseer See befindet sich geografisch gesehen im Osten der Gemeinde Altaussee, im steierischen Salzkammergut, Steiermark, Österreich (Heine, 2021) (Abbildung 1). Nach Bortenschlager et al. (1996) liegt Altaussee und der gleichnamige See in der österreichischen Typenregion A-e. Diese Typenregion befindet sich nördlich der zentralen Alpenkette, in der Region der nördlichen Kalksteinalpen (Bortenschlager et al., 1996). Der Altausseer See liegt auf 712 m Seehöhe im Karst des Toten Gebirges und umfasst 2,1 km² (Drozdowski et al., 2015). Dieser Teil der nördlichen Kalkalpen wird aus Karbonatgestein der alpinen Trias aufgebaut (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2021) und besteht somit im Wesentlichen aus einer Mischung von Plassenkalk, Tressensteinkalk und Dachsteinkalk (Heine, 2021). Nach Riedl et al. (2008) wird das Sacktal, in welchem der Altausseer See liegt, im Norden vom Loser (1837 m), im Süden vom Tressenstein (1201 m) und im Osten von der Trisselwand (1754 m) umgeben. Gerade der Loser im Norden und die Trisselwand im Osten weisen steile Felswände mit Anzeichen von Felssturz auf (Riedl et al., 2008). Seit dem 19. Jahrhundert gibt es keine oberirdischen Zuflüsse mehr, nachdem der einzige Zufluss (der Augustbach) umgeleitet wurde, da dieser salzhaltiges Wasser aus dem oberhalb von Altaussee gelegenen Salzbergwerk in den See leitete (Drozdowski et al., 2015). Nach Rechenmacher et al. (2022) wird der See hauptsächlich von unterirdischen Quellen, welche in Verbindung mit dem Karst des Toten Gebirges stehen, gespeist. Diese unterirdischen Quellen zeichnen sich in Form von mehreren Kratern, mit einem Durchmesser von bis zu 60 m und Tiefen bis zu 22 m, auf dem Seeboden ab

(Rechenmacher et al., 2022). Der See flacht in Richtung Westen ab und läuft in einer Moränenlandschaft aus, in der sich auch der einzige Abfluss, die Altausseer Traun befindet (Heine, 2021). Nach Mandl et al. (2012) sind Gletschereinflüsse im Hoch- und Spätglazial der Grund für die Bildung des Altausseer Sees. Im Hochglazial entstandene übertiefe Zungenbecken wurden durch weitere Gletschervorstöße zunehmend geformt, wodurch sich übertiefe Talbereiche am Ende der großen Eisströme bildeten. Nach Abschmelzen der Vergletscherung füllten sich die Talbereiche mit Wasser und bilden bis heute Seen wie den Altausseer See (Mandl et al., 2012).

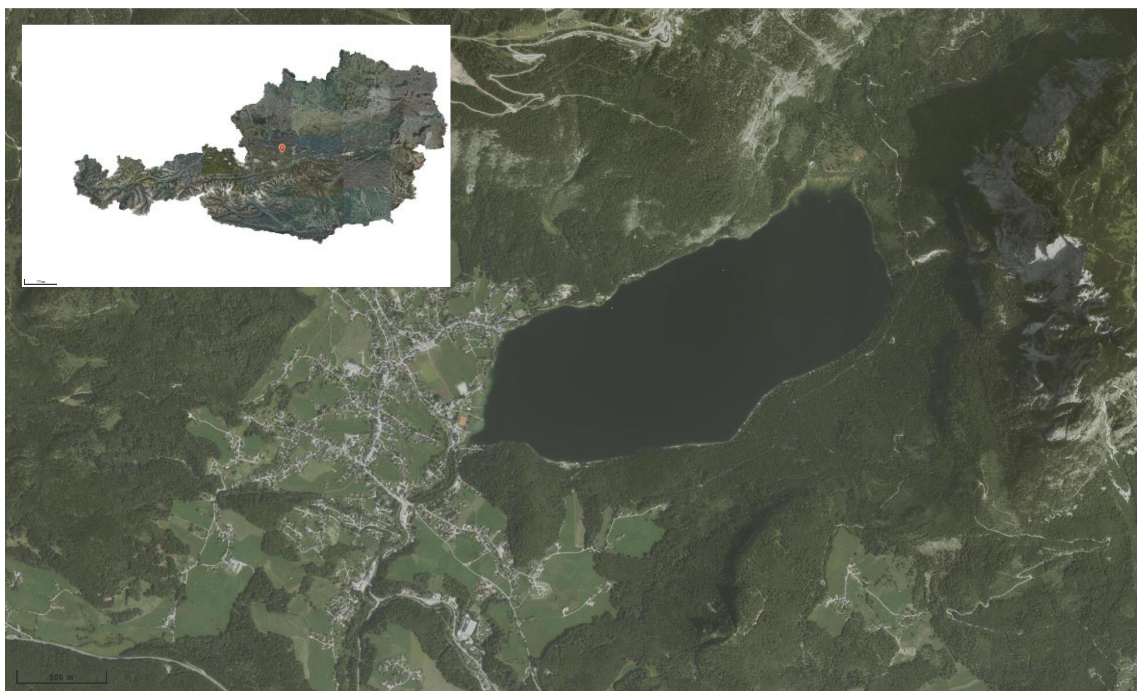


Abbildung 1: Geografische Lage des Altausseer Sees (Quelle: Austrian Map; BEV-Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2023)

2.3 Klima

Das lokale Klima spielt sowohl für die rezent vorkommenden Arten um den See als auch für das Verständnis der im Bohrkern entdeckten Makrofossilien eine wesentliche Rolle. Das Gebiet rund um Altaussee kennzeichnet sich ganzjährig durch ein relativ mildes, klassisch mitteleuropäisch, montanes Klima (Bortenschlager et al., 1996). Laut Wakonigg (1978) zeichnet sich dieses durch mäßig kalte Winter, und kühle Sommer aus. Außerdem ist das Klima in Altaussee, aufgrund seiner Zugehörigkeit zur Berglandschaftsstufe der Nördlichen Kalkalpen sehr niederschlagsreich (Wakonigg, 1978).

Da für den Standort Altaussee seitens der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (im Weiteren als ZAMG bezeichnet) keine genauen Klimadaten vorhanden sind, nutzen wir zur genaueren Betrachtung des vorherrschenden Klimas die Daten des ZAMG (2002), aus den Jahren 1971 bis 2000, vom Nachbarort Bad Aussee (Abbildung 2). Bad Aussee weist im Jahresdurchschnitt Tagesmitteltemperaturen zwischen $-2,5^{\circ}\text{C}$ und $16,7^{\circ}\text{C}$ und eine Jahresdurchschnittstemperatur von $7,3^{\circ}\text{C}$ auf. Der gesamte Jahresniederschlag beträgt $1532,3\text{ l/m}^2$ und ist somit relativ hoch. Im Vergleich dazu beträgt der Jahresgesamtniederschlag für Innsbruck beispielsweise lediglich $883,1\text{ l/m}^2$ (ZAMG, 2002). Die Tagesmitteltemperaturen im Winter (Dezember-Februar) liegen zwischen $-2,5^{\circ}\text{C}$ und -1°C , wobei der Januar der kälteste Monat ist. Von Oktober bis April kommt es zu Schneefällen. Der Dezember ist der neuschneereichste Monat des Jahres mit 74 cm Neuschnee in Summe. Von November bis März kann es zu geschlossenen Schneedecken mit über 20 cm Dicke kommen. In den Sommermonaten (Juni-August) liegen die Tagesmitteltemperaturen zwischen $14,8^{\circ}\text{C}$ und $16,7^{\circ}\text{C}$, mit Höchsttemperaturen im Juli. Des Weiteren kommt es gerade im Sommer zu Höchstwerten bezüglich des Niederschlags. Die Summe der monatlichen Sonnenscheinstunden ist im Sommer am höchsten und nimmt im August mit 198,1 Stunden Höchstwerte an.

Nach den 1918 von Wladimir Peter Köppen veröffentlichten Klimaklassifikationen fällt die Region um Altaussee (anhand der Daten des ZAMG (2002) zu Bad Aussee) in die Klassifikation Dfb. Mit dieser wird ein feuchtes, kontinentales Klima bezeichnet, in der mindestens vier Monate im Mittel über 10°C und der kälteste Monat unter -2°C liegen. Alle Monate bleiben unter 22°C und sind feucht (Köppen, 1918).

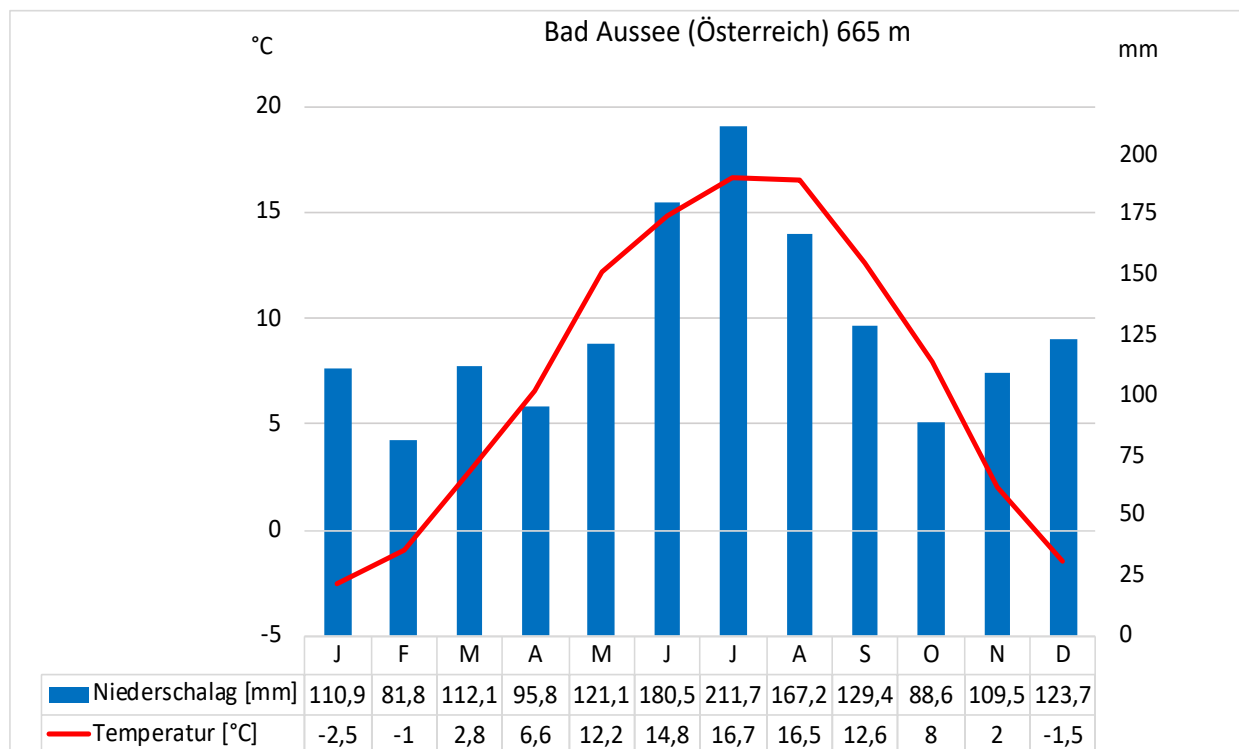


Abbildung 2: Klimadiagramm Bad Aussee, Steiermark, Österreich; nach Daten der ZAMG (2002)

2.4 Vegetation

Die Region um Altaussee ist gekennzeichnet durch die Täler und Bergwälder der östlichen Alpen (Bortenschlager et al., 1996). Die Waldgrenze befindet sich auf maximal 1750 m (Drescher, 2018). Ursprünglich reichte diese einst bis über 2000 m, anthropogen bedingt ist sie jedoch sehr weit gesunken (Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2021). In diesem Bereich, am Rande der Nördlichen Kalkalpen, bildeten ursprünglich überwiegend Fichten-Tannen-Buchen-Mischwälder (*Picea abies*, *Abies alba* und *Fagus sylvatica*) die Waldvegetation (Adler & Mrkvicka, 2005; Bortenschlager et al., 1996; Drescher, 2018). Aus wirtschaftlichen Gründen wurden die Wälder jedoch stark mit *Picea abies* aufgeforstet (Zukrigl, 1973), da diese als wichtiger Brennstoff für die Salinen benötigt wurden (Adler & Mrkvicka, 2005). Durch die starke Förderung von *Picea abies* wurden die *Abies alba* und *Fagus sylvatica* Bestände stark ausgedünnt, wodurch das Gebiet heute eher von moosreichen *Picea abies* Wäldern, als von *Abies alba* und *Fagus sylvatica*, geprägt wird (Adler & Mrkvicka, 2005). An trockenen und felsigen Standorten lassen sich vereinzelte Rotföhren-Wälder (*Pinus sylvestris*), an Standorten mit hoher Luftfeuchtigkeit eher einzelne Bergahorn-Eschen-Ulmen-Wälder (*Acer pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior* und *Ulmus*) finden (Adler & Mrkvicka, 2005). Die Nord- und Südseite des Sees

unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Vegetation, während Torfmoospolster (*Sphagnum*) und Heidelbeersträucher (*Vaccinium myrtillus*) auf der kühlen und feuchten Nordseite des Sees die Vegetation prägen, findet man auf der trockenen und heißen Südseite Pflanzen wie die Weiße Fetthenne (*Sedum album*), den Österreichischen Bergfenchel (*Seseli austriacum*), das Kalk-Blaugras (*Sesleria albicans*), die Glanz-Skabiose (*Scabiosa lucida*) und den Arznei-Quendel (*Thymus pulegioides*) (Adler & Mrkvicka, 2005). Am Rande der Waldgrenze sind auch reine *Picea* oder Lärchen (*Larix decidua*) Bestände zu finden, auf die oberhalb der Waldgrenze Latschengebüsche (*Pinus mugo*) folgen (Drescher, 2018).

3 Material und Methoden

3.1 Entnahme des Bohrkerns

Die folgenden Informationen stammen aus dem Kampagnenbericht der Bohrkernentnahme von Ortler (2021). Demnach erfolgte die Entnahme des untersuchten Bohrkerns im Rahmen einer Bohrkampagne vom 30.05.2021 bis 08.06.2021 durch Jasper Moernaut, Marcel Ortler und Ariana Molenaar. Ortler (2021) beschreibt wie im Zuge dieser Kampagne vier Kurzkerne und sieben Piston-Hammer-Kerne an verschiedenen Stellen des Altausseer Sees entnommen wurden. Der für diese Bachelorarbeit relevante Kern wurde am 06.06.2021 entnommen und besteht im Detail aus zwei in nächster Nähe entnommenen Bohrkernen (1002-3-A und 1002-3-B), welche im Nachhinein zusammengesetzt wurden (Ortler, 2021). Des Berichts zufolge geschah die Entnahme der Kerne direkt am Rand des Kraters, an folgenden Koordinaten: Lat: 47,64367° N, Lon: 13,784964° E (*Abbildung 3*). Diese Koordinaten wurden mithilfe einer tragbaren GARMIN GPS Karte ermittelt (Ortler, 2021). Der Bohrkern weist einen Durchmesser von 63 mm auf und ist im gesamten 5 m lang. Ortler (2021) zufolge erstreckt sich der Bohrkern Teil 1002-3-A von 0 m bis 3 m Tiefe und Bohrkern Teil 1002-3-B von 2 m bis 5 m Tiefe. Die absichtlich entstandene Überlappung wird benötigt, um das genaue Zusammensetzen der Kerne zu ermöglichen. Die Bohrkerne wurden in einer Kunststoffhülse entnommen und gelagert. Zur leichteren Handhabung wurden die Bohrkerne in jeweils 2 Stücke mit der Länge 1,5 m zerschnitten, wodurch am Ende vier Teilkerne entstanden sind (*Tabelle 1*) (Ortler, 2021). Um den Inhalt freizulegen, wurden die Kerne längs aufgeschnitten. Die Teilbohrkerne lagern bei 5° C am Institut für Geologie der

Universität Innsbruck. Aufgrund der Tatsache, dass die Bohrkern (1002-3-A und 1002-3-B) zu einem Bohrkern zusammengesetzt wurden, werden diese im weiteren Verlauf als ein Bohrkern bezeichnet.

Tabelle 1: Entnommene Bohrkern im Bereiche des Kraters im Altaussee See (Steiermark, Österreich) und deren Teilkern und Tiefen

| Bohrkern | Teilkern | Tiefe [cm] |
|------------|--------------|------------|
| 1002-3-A-1 | 1002-3-A-1-1 | 0-150 |
| | 1002-3-A-1-2 | 150- 300 |
| 1002-3-B-1 | 1002-3-B-1-1 | 200-350 |
| | 1002-3-B-1-2 | 350-500 |

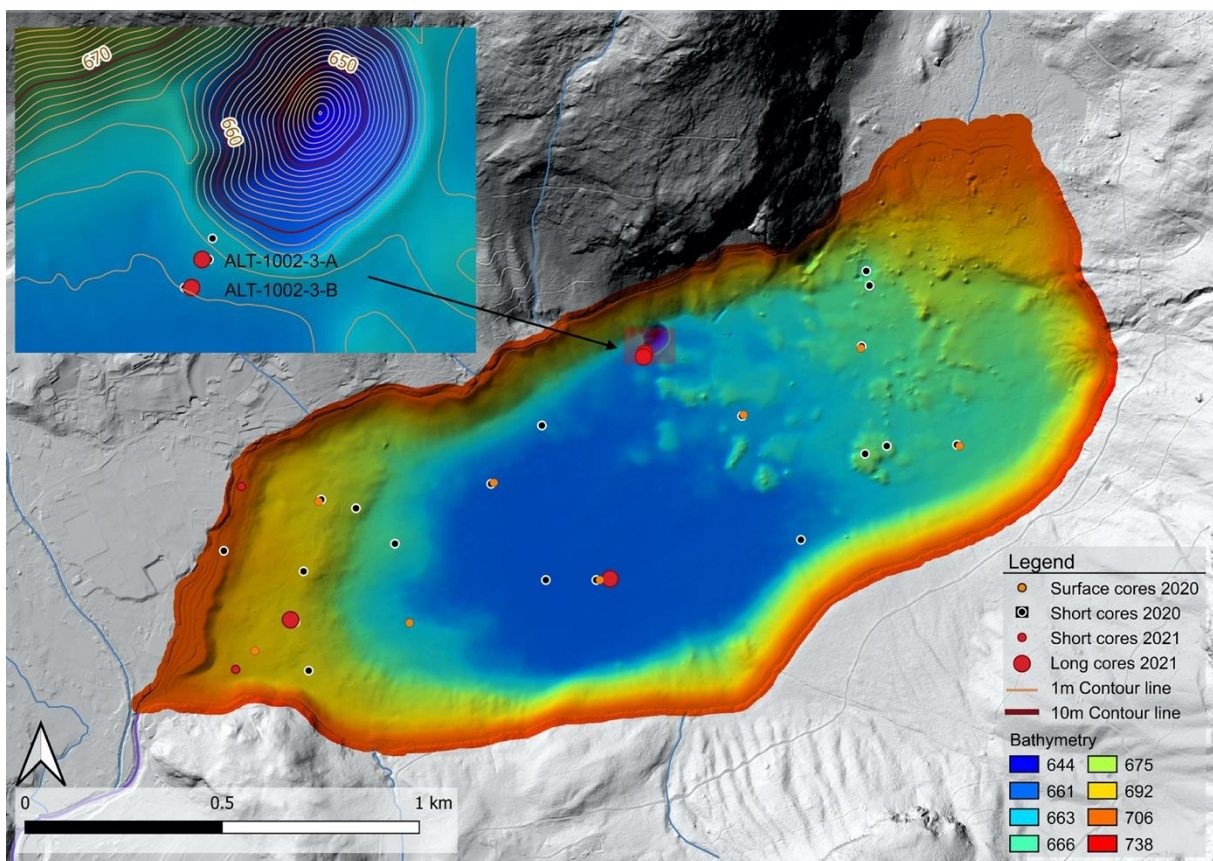


Abbildung 3: Bathymetrische Karte des Altaussee Sees (Steiermark, Österreich) mit Hervorhebung der Bohrkern ALT-1002-3-A und ALT-1002-3-B

3.2 Entnahme der Sedimentproben

Die Entnahme der Sedimentproben erfolgte an zwei Tagen am Institut für Geologie der Universität Innsbruck. Insgesamt wurden aus dem Bohrkern zwölf Sedimentproben entnommen. Am ersten Tag wurden sechs Sedimentproben aus den Teilbohrkernen 1002-3-B-1-1 und 1002-3-B-1-2 entnommen. Am Folgetag

wurden nochmals sechs Sedimentproben aus den Teilbohrkernen 1002-3-A-1-1 und 1002-3-A-1-2 herausgeholt. Dazu wurden die bei 5 °C gelagerten Kerne zunächst mit einem Maßband versehen, um so später von den entnommenen Tiefen der Teilkern auf die absoluten Tiefen der Sedimentproben rückschließen zu können (*Tabelle 2*). In der Folge beziehen sich alle Tiefenangaben auf die absoluten Tiefen des Bohrkerns. Es wurden Sedimentproben mit jeweils einem Zentimeter Tiefe, an verschiedenen gezielt ausgewählten Stellen, entnommen. So wurde die oberste Sedimentprobe bei einer absoluten Tiefe von 67 cm entnommen. Das bedeutet, dass die Sedimentprobe sich von 66,5 cm bis 67,5 cm Tiefe erstreckt. Diese Strategie wurde für alle weiteren Probertiefen beibehalten. Bei der eigentlichen Probenentnahme wurde zunächst ein Teil des obersten Sedimentmaterials abgekratzt, um Kontaminierungen zu vermeiden. Daraufhin wurde der Bohrkern an dieser Stelle bis knapp über die Hälfte der Bohrkernbreite eingeschnitten und aus der Kernhülle geschabt. Die andere Hälfte wurde zurückgelassen, um im Falle weiterer Untersuchungen auf diese zurückgreifen zu können (Abbildung 4).



Abbildung 4: Sediment-Probenentnahme in 107 cm Tiefe aus dem Teilbohrkern 1002-3-B-1-2 aus dem Altausseer See (Steiermark, Österreich), was einer absoluten Tiefe von 447,5 cm im Krater-Bohrkern entspricht

Bei der entnommenen Sedimentprobe wurde zudem die äußere, am Plastikrohr haftenden Sedimente (von ca. 1 mm) entfernt, um das Risiko von Verunreinigungen zu minimieren. Zusätzlich wurden mittig 1 cm³ der Sedimente mit einem speziellen Ausstecher ausgestochen und separat verpackt. Diese Sedimente können für eine spätere Pollenanalyse genutzt werden, welche den Rahmen dieser Bachelorarbeit

sprengen würde. Das restliche Sedimentmaterial wurde dann in einem jeweils zuvor beschrifteten Kunststoffsäckchen verpackt, von denen das Tara-Gewicht zuvor bestimmt wurde. Mithilfe dessen Verschluss wurde die Probe luftdicht verschlossen und bis zur weiteren Verarbeitung bei 5° C gelagert. Weitere Proben wurden ident zur oben beschriebenen Probe bei 92,5 cm, 175,5 cm, 201,5 cm, 215 cm, 277,5 cm, 291 cm, 301,5 cm, 312,5 cm, 375,5 cm, 415,5 cm und 447,5 cm absoluter Tiefe entnommen und bearbeitet. Zwischen den Entnahmen der verschiedenen Proben wurde das Werkzeug gereinigt, um Kontaminierungen zu vermeiden. Schlussendlich wurden in die entstandenen Probenentnahmestellen jeweils ein Stück Styropor mit der Aufschrift der entsprechenden Tiefe eingesetzt, um ein Verrutschen der restlichen Sedimente zu vermeiden und um zu kennzeichnen, an welchen Stellen Sedimentproben entnommen wurden.

3.3 Probenaufbereitung

Das Ziel der Probenaufbereitung ist es, die gesuchten Makrofossilien vom Bodengefüge zu befreien, nach Korngröße zu fraktionieren und diese dann in Folge auszusortieren (Jacomet & Kreuz, 1999). Zunächst mussten jedoch einige Parameter der Sedimentproben bestimmt werden. Als Erstes wurden die in Kunststoffsäckchen verpackten Sedimentproben gewogen. Daraufhin musste das Taragewicht des Kunststoffsäckchens vom Gesamtgewicht der verpackten Sedimentproben abgezogen werden, um das Nettogewicht der Sedimentprobe zu erhalten (*Tabelle 2*). Des Weiteren wurde mithilfe eines mit Wasser befüllten Standzylinders das Verdrängungsvolumen der Proben bestimmt.

Tabelle 2: Übersicht der für die Makrofossilanalyse aus dem Krater-Bohrkern vom Altaussee See (Steiermark, Österreich) entnommenen Sedimentproben, mit den Entnahme-Tiefen in den Teilbohrkernen, den absoluten Tiefen, dem Nettoprobengewicht, dem Volumen und der Dichte (siehe Anhang: „6. Sedimentkern Überblick: Probenposition“)

| Probennummer | ent. Tiefe [cm] | absolute Tiefe [cm] | Nettogewicht Probe [g] | Volumen [cc] | Dichte |
|--------------|-----------------|---------------------|------------------------|--------------|--------|
| 1 | 61,5 | 67 | 4,31 | 4 | 1,08 |
| 2 | 87 | 92,5 | 5,25 | 4 | 1,31 |
| 3 | 26 | 175,5 | 4,55 | 3,5 | 1,30 |
| 4 | 52 | 201,5 | 4,35 | 3,5 | 1,24 |
| 5 | 66,5 | 215 | 4,94 | 4 | 1,24 |
| 6 | 128 | 277,5 | 4,12 | 4 | 1,03 |
| 7 | 99,5 | 291 | 5,59 | 5 | 1,12 |
| 8 | 110 | 301,5 | 4,02 | 4 | 1,01 |
| 9 | 121 | 312,5 | 6,41 | 5 | 1,28 |
| 10 | 35 | 375,5 | 5,79 | 4 | 1,45 |
| 11 | 75 | 415,5 | 6,04 | 5 | 1,21 |
| 12 | 107 | 447,5 | 7,28 | 6 | 1,21 |

Aufgrund dieser Parameter konnten weiters die Dichten der Proben bestimmt werden (*Tabelle 2*). Die Parameter werden im späteren Verlauf für die Auswertung der Ergebnisse von Bedeutung sein.

Nachdem die benötigten Messwerte bestimmt waren, wurde mit der eigentlichen Probenaufbereitung begonnen. Dazu wurden die Sedimentproben mithilfe von Sieben mit verschiedenen Maschenweiten geschlämmt. Die vier genutzten Siebe wiesen Maschenweiten von 1000 μm , 500 μm , 250 μm und 125 μm auf. Diese wurden, in einem Waschbecken, von der kleinsten Maschenweite (unten) bis zur größten Maschenweite (oben) übereinandergestapelt. Die Sedimentproben wurden dann von dem Standzylinder auf das oberste Sieb überführt. Das Probensäckchen wurde außerdem ausgespült und ebenfalls auf die Siebe gegeben, um so möglichst alle, auch noch so feinen, Bestandteile der Proben zu erfassen. Mit einem feinen Wasserstrahl wurden vorhandene Makroreste vom Sediment gelöst. Große, direkt sichtbare Makrofossilien wurden mit einer Pinzette vorsichtig entnommen und in einen zuvor vorbereiteten Plastikbecher überführt, um diese nicht weiter durch den Wasserstrahl zu beanspruchen. Sobald keine größeren Veränderungen mehr zu beobachten waren, wurden die Rückstände mithilfe des Wasserstrahls an den Rand des Siebes befördert, um von dort aus mit destilliertem Wasser (Aqua dest.) in den dafür vorhergesehenen Plastikbecher gespült zu werden. Dieser Spülvorgang wurde jeweils zweimal durchgeführt. Danach wurde das Sieb umgedreht und mit einem starken Wasserstrahl etwaige Rückstände in das nächste Sieb überführt. So wurde für jede Maschenweite vorgegangen, wodurch man am Ende je vier verschiedenen Fraktionen (für die vier verschiedenen Maschenweiten der Siebe) pro Probe erhält.

3.4 Makrorestbestimmung

Von den vier entstandenen Fraktionen wurden je Probe die 1000 μm und 500 μm Fraktionen für die Bestimmung der Makroreste verwendet. Die zwei weiteren Fraktionen (250 μm und 125 μm) wurden im Kontext dieser Bachelorarbeit nicht bearbeitet. Sie werden jedoch weiter bei 5° C aufbewahrt, um so eventuell für spätere Untersuchungen vorhanden zu sein. Zur Bestimmung wurde jeweils eine Fraktion der zu untersuchenden Probe in eine Petrischale gegeben und unter dem Binokular betrachtet. Die gefundenen Makroreste wurden dann in kleinen, mit Aqua dest. befüllten, Plastikdöschen sortiert und mithilfe von Jean Nicolas Haas bestimmt. Auf den Dosendeckeln wurden die Probenkürzel sowie die Art des Fundes

dokumentiert. Für nicht eindeutig bestimmbare Makroreste wurde indet. notiert, was so viel wie indeterminata oder unbestimmt bedeutet.

3.5 Ergebnisdarstellung

3.5.1 Makrofossilanalyse

Zur Ergebnisdarstellung der Makrofossilanalyse wurde das Programm Tilia (Version 2.6.1) genutzt (Grimm, 1990). Das in den 1980ern erstellte Programm dient speziell der Speicherung, Analyse und Darstellung von paläoökologischer Daten (Bradshaw et al., 2021). Die Ergebnisse der Makrorestbestimmung (Art und Anzahl der Funde in den jeweiligen Proben) mussten jedoch zunächst in einem Microsoft Excel-File (Datei-Endung .xlsx) eingetragen und für das Tilia-Programm aufbereitet werden. Dazu wurden die Daten in Excel auf 10 ml normiert, um eine direkte Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Sedimentproben zu ermöglichen. Ohne diesen Schritt wäre ein direkter Vergleich nicht möglich, da für die Sedimentproben unterschiedliche Volumina aus dem Bohrkern entnommen wurden.

Dazu wurde folgende Formel genutzt:

$$\text{Normierte Makrofossilanzahl} = \left(\frac{10 \text{ [ml]}}{\text{Probenvolumen [ml]}} \right) \times \text{Makrofossilanzahl}$$

Im nächsten Schritt wurden die normierten Daten des Excel-Sheets in das Computer-Programm Tilia eingespeist. In diesem wurde zunächst eine „Tilia-Spreadsheet-Datei“ (Datei-Endung .tlx) erstellt, woraus im Weiteren im Tilia-Programm Abbildungen in Form von „Tilia Graphic Files“ (Datei-Endung .tgx) erstellt wurden. Diese Abbildungen folgen in den Ergebnissen. Auf der y-Achse ist die Probertiefe ablesbar, während auf der x-Achse die Taxa der Makroreste und deren absolute Häufigkeiten (normiert auf 10 ml) dargestellt werden. Des Weiteren wurden im Tilia-Programm mithilfe der „Constrained Incremental Sums of Squares“ Analyse (CONISS Analyse; Grimm, 1987) Lokale Makrofossilzonen identifiziert. Diese Zonen lassen sich vom Tilia-Programm aufgrund ähnlicher Makrofossilzusammensetzung in Teilbereichen des Bohrkerns definieren.

3.5.2 Aufnahmen der Funde

Zur Dokumentation der Makrofossilien wurden Bilder zu einigen Funden am Institut für Botanik der Universität Innsbruck erstellt. Dazu wurden das „Olympus SZX9“ Mikroskop mit dem Programm „analySIS pro“, sowie das „VHX-2000 Keyence Digital Mikroskop“ verwendet. Diese Bilder wurden dann weiterverarbeitet, zu Bildtafeln zusammengestellt und sind im Anhang zu finden.

3.6 Radiokarbon (^{14}C)-Datierungen

Um einen Überblick über das Alter des Bohrkerns zu bekommen, wurde eine ^{14}C -Datierung (auch Radiokarbonmethode genannt) durchgeführt. Nach Münnich (1960) ist dies eine Methode zur Altersbestimmung, die auf dem radioaktiven Zerfall des Kohlenstoff-14-Isotops (^{14}C) beruht. Laut dem Autor ist ^{14}C in geringen Mengen in der Atmosphäre vorhanden und wird von Organismen während ihrer Lebenszeit aufgenommen. Durch den Tod wird dieser Vorgang gestoppt und das vorhandene ^{14}C von Tieren oder Pflanzen langsam abgebaut (Münnich, 1960). Aufgrund der Halbwertszeit des Radiokohlenstoffs kann so ermittelt werden, wie viel Zeit seit dem Stopp der ^{14}C Aufnahme, also dem Zeitpunkt des Todes verstrichen ist (Heitz, 2020).

Um die ^{14}C -Datierung durchführen zu können wurde zunächst Material, welches eindeutig bestimmt werden konnte, vorbereitet. Dafür wurden Makroreste aus den Probertiefen 201,5 cm und 415,5 cm genutzt und zuvor fotografisch dokumentiert. Danach wurden Döschen und Deckel für die Proben hergerichtet. Diese wurden beschriftet (A, B) und deren Tara Gewicht bestimmt. Im nächsten Schritt wurden die Döschen und die zugehörigen Deckel mit Aqua dest. gespült, um etwaige Rückstände zu entfernen. Dann wurde das gewünschte Material in die gespülten Döschen überführt und die verwendeten Makrofossilien gelistet (Tabelle 3). Das Wasser um das Material wurde im nächsten Schritt mit einer Pipette abgesaugt, bevor das Material zusammengeschoben werden konnte. Durch das Zusammenschieben trocknet das Material zu einem Klumpen zusammen und erleichtert dem Radiokarbon-Laborpersonal die Entnahme der Probe, wodurch ein potentieller Verlust von Material gering gehalten wird. Zuletzt wurde der Deckel halb auf das Döschen gesetzt, um die Proben zu schützen, aber zugleich das Trocknen zu gewährleisten. So wurden die Proben für zwei Tage sicher in einer Schublade verwahrt. Nach Ablauf dieser zwei Tage wurden die Proben erneut gewogen und das

Trockengewicht ermittelt. Die Proben wurden dann von Marcel Ortler (Institut für Geologie der Universität Innsbruck) zur Datierung eingeschickt.

Nachträglich wurde von Marcel Ortler noch eine weitere Probe (Tiefe 292 cm) aus dem Bohrkern entnommen, geschlämmt, und die Makroreste gemeinsam mit Jean Nicolas Haas bestimmt, und ebenfalls, wie oben beschrieben, für die Datierung vorbereitet (Tabelle 3). Zusätzlich zu den Datierungen, welche an unserem Bohrkern ermittelt wurden, wurden von Marcel Ortler Datierungen weiterer Bohrkern mit einbezogen, um mit diesen ein vorläufiges Tiefen-Altersmodell für den Altaussee See zu erstellen. Diese Datierungen wurden analog zu den oben beschriebenen Proben vorbereitet. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit des Altersmodells.

Tabelle 3: Probeninhalte der für den Krater-Bohrkern aus dem Altaussee See (Steiermark, Österreich) durchgeführten Radiokarbon-Datierungen

| Probe | A | B | C |
|----------------|---------------|--------------------|--------------------|
| Tiefe [cm] | 415,5 | 201,5 | 292 |
| Makrofossilien | Abies alba N | 1 Larix decidua N | 4 Braunmoos |
| | Pinaceae KS | 1 Pinaceae S | 1 Bryophyta |
| | Picea abies N | 1 Rosaceae Stachel | 1 Laubblatt indet. |
| | | Amblystegiaceae | 2 |

4 Ergebnisse

4.1 Makrofossilanalyse

4.1.1 Lokale Makrofossilzonen

Aufgrund der signifikant unterschiedlichen Makrofossilzusammensetzung konnten mithilfe der CONISS-Analyse (Grimm, 1987) im Tilia-Programm drei verschiedene Lokale Makrofossilzonen (LMFZ) identifiziert werden (*Abbildung 5*). Im Folgenden wird auf die charakteristische Zusammensetzung der jeweiligen Zonen eingegangen.

LMFZ-1

LMFZ-1 erstreckt sich von der untersten Probe (447,5 cm) bis hin zu 338,5 cm und schließt somit die Proben 447,5 cm, 415,5 cm und 375,5 cm ein. Diese Zone weist die höchste Anzahl an Koniferen-Funde auf. Darunter sind große Anteile von *Abies alba*-Nadeln und Pinaceae (vor allem Periderm, aber auch Knospenschuppen) vorhanden. In dieser Zone konnten die einzigen *Fagus sylvatica*-

(Knospenschuppen) Funde dokumentiert werden. Weiters lässt sich ein sehr hoher Anteil an Substantia lignosa (SL) und Vegetativ indet. (z.B. Blattreste indet., Vegetativ indet. oder Wurzeln indet.) erkennen. Zoologische Fossilien bilden einen geringen Anteil in dieser Zone, unter ihnen befindet sich der einzige Käfer-Elytrafund (Coleoptera) und ein hoher Anteil an *Coenococcum geophilum*-Sclerotia.

LMFZ-2

LMFZ-2 beginnt ab einer Tiefe von 338,5 cm und erstreckt sich bis zu 208,25 cm. Sie beinhaltet die Proben 312,5 cm, 301,5 cm, 291 cm, 277,5 cm und 215 cm. Diese Zone kennzeichnet sich im Wesentlichen durch eine deutlich geringere Fülle an Makrofossilien. Es lassen sich lediglich in einzelnen Proben Zirben- (*Pinus cembra*) und Kiefern- (*Pinus spec.*) Nadeln, sowie weitere Pinaceae Knospenschuppen dokumentieren. Es sind außerdem keine krautigen Pflanzen, wenig Substantia lignosa (SL), wenig Vegetativ indet. Funde und wenig Kryptogamen-Reste vorhanden. Die Kryptogamen sind lediglich in Form von vereinzelt Amblystegiaceae-Funden (Braunmoose) gegeben. Zoologisch konnten im Verhältnis zu den pflanzlichen Funden viele Makrofossilien dokumentiert werden, darunter Köcherfliegen-(Trichoptera) Chitin und Larvenkopf-Funde, Wasserfloh-(Cladozieren) Chitin und Fisch-Eier indet.

LMZF-3

LMZF-3 bildet die oberste Zone. Sie beginnt in 208,25 cm Tiefe und erstreckt sich bis zur obersten Probe in 67 cm Tiefe. Dabei umfasst sie die Proben 201,5 cm, 175,5 cm, 92,5 cm und 67 cm. Die Koniferen in dieser Zone nehmen stark ab, bis sie in den obersten Proben dieser Zone komplett ausfallen. Zudem konnten mit Rosengewächsen (Rosaceae) Stacheln und Süßgräser (Poaceae) Ährchenbasen die ersten krautigen Pflanzen und mit Sauergrasgewächsen (Cyperaceae) F/S tricarpelat und Fieberklee (*Menyanthes trifoliata*) Samen die ersten Moorpflanzen (Mire) Funde festgestellt werden. Außerdem wird diese Zone im Gegensatz zu den tieferen Zonen durch einen deutlichen Anstieg von Kryptogamenfunden, darunter Amblystegiaceae, *Sphagnum* und Lebermoose (Marchantiophyta), gekennzeichnet.

4.1.2 Grafische Darstellung aller Makrofossilien

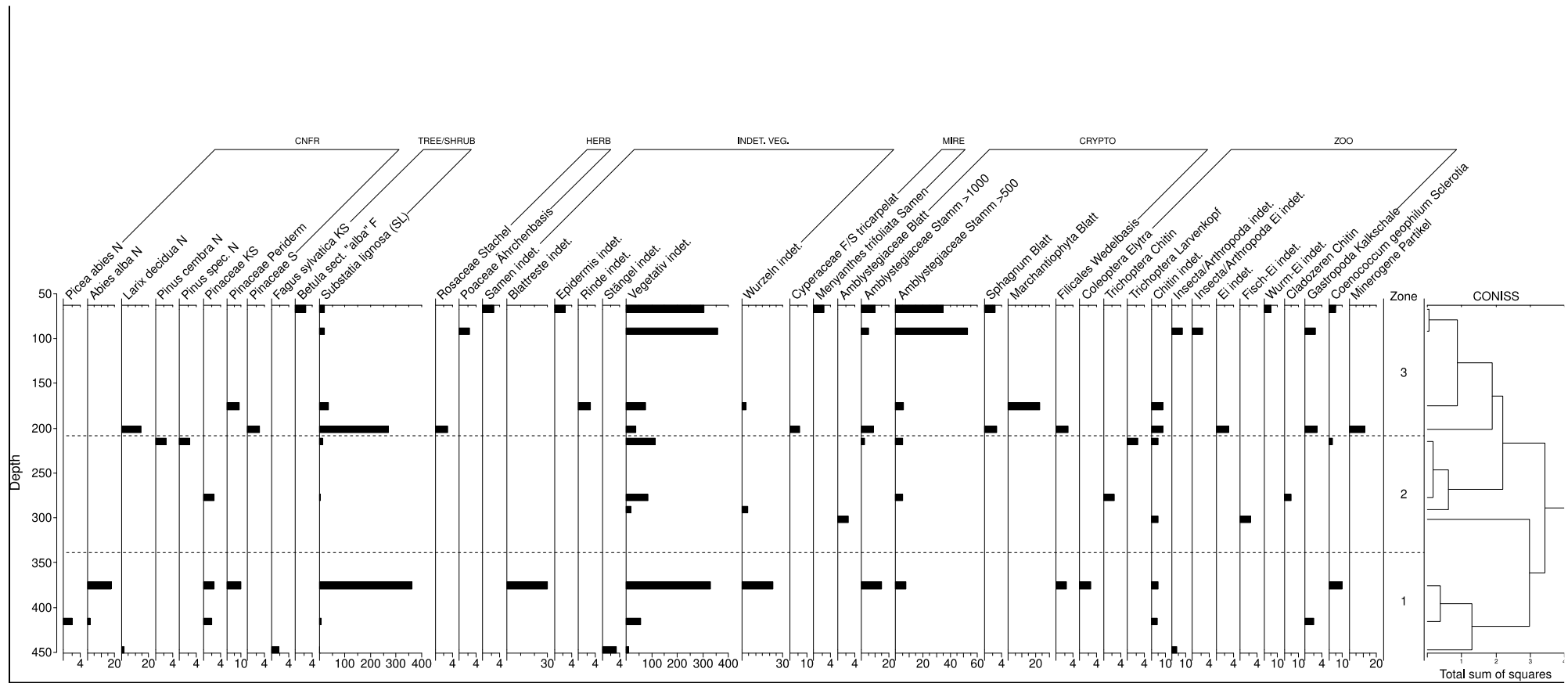


Abbildung 5: Grafische Darstellung aller Makrofossilien-Funde aus den Sedimentproben des Altausseeer See, Altaussee, Steiermark, Österreich

4.1.3 Detailgrafik Koniferen

Hinsichtlich der Makrofossilfunde der Koniferen, zeigten sich im Allgemeinen *Larix decidua*-Nadeln, *Abies alba*-Nadeln, aber auch Pinaceae-Peridermfunde in größerer Anzahl (Abbildung 6).

Larix decidua-Nadeln konnten sowohl in der tiefsten Probe (447,5 cm) als auch in 201,5 cm Probentiefe dokumentiert werden. *Abies alba*-Nadeln konnten in den tiefen Schichten (415,5 cm und 375,5 cm) gefunden werden, jedoch nicht in höher liegenden Proben. Pinaceae-Knospenschuppen und Periderm-Funde waren in tiefen Schichten vorhanden. Die Knospenschuppen reichten lediglich bis in die mittleren Schichten, während die Periderm-Funde sogar in oberen Schichten dokumentiert wurden. Pinaceae-Knospenschuppen konnten in den Proben 415,5 cm, 375,5 cm und 277,5 cm gefunden werden. Pinaceae-Peridermfunde befanden sich in 375,5 cm und 175,5 cm Tiefe.

Des Weiteren konnten bei 201,5 cm Pinaceae-Samen gefunden werden. *Picea abies*-Nadeln zeigten sich lediglich in 415,5 cm Tiefe. Außerdem wurden in einer Tiefe von 215 cm *Pinus cembra*- und *Pinus spec.*-Nadeln entdeckt (Abbildung 6).

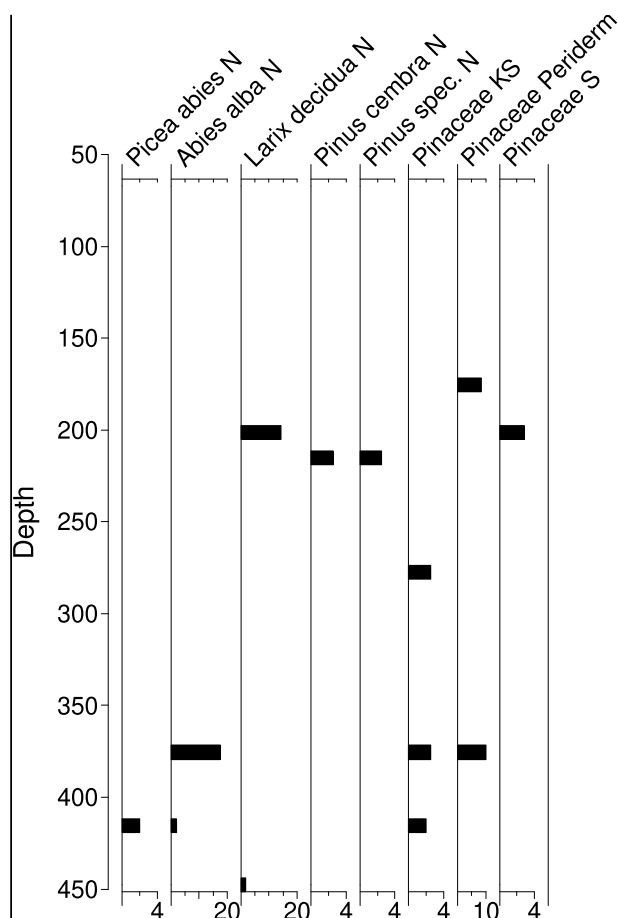


Abbildung 6: Grafische Darstellung der Makrofossilien von Koniferen aus den Sedimentproben des Altausseer Sees, Altaussee, Steiermark, Österreich

4.1.4 Detailgrafik Laubbäume, Sträucher und krautige Pflanzen

In Bezug auf die Laubbäume und Sträucher in unseren Proben, konnten in der untersten Probe (447,5 cm) *Fagus sylvatica*-Knospenschuppen dokumentiert werden (*Abbildung 7*). Birke (*Betula*) sect. „*alba*“ Früchte konnten lediglich in der obersten Probe (67 cm) entdeckt werden. Im Weiteren konnte eine Vielzahl an *Substantia lignosa* (SL) Funden gemacht werden. Diese waren vor allem in den unteren Schichten vorhanden, wobei deren Maximum bei 375,5 cm dokumentiert wurde. Im Verlauf nach oben nahmen sie deutlich ab.

Die Makrofossilien der krautigen Pflanzen konnten erst in weiter oben liegenden Proben erfasst werden. Darunter Rosaceae-Stachelfunde bei 201,5 cm und Poaceae-Ährchenbasisfunde bei 92,5 cm (*Abbildung 7*).

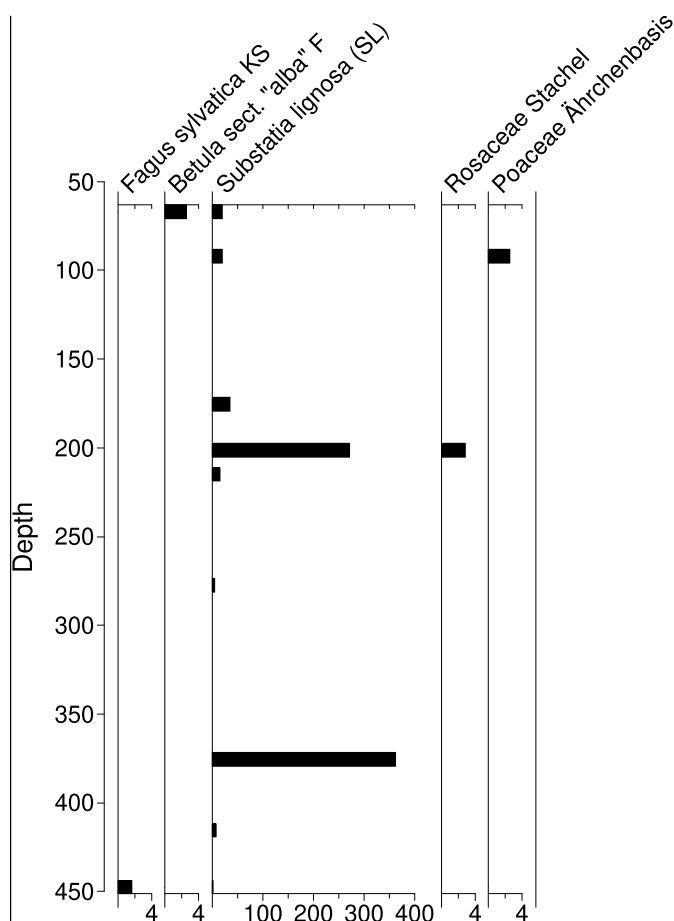


Abbildung 7: Grafische Darstellung der Makrofossilien von Laubbäumen, Sträuchern und krautigen Pflanzen bzw. Süßgräsern aus den Sedimentproben des Altausseer Sees, Altaussee, Steiermark, Österreich

4.1.5 Detailgrafik Unbestimmtes

In dieser Kategorie konnte vor allem eine hohe Anzahl an Vegetativ indet.-Funden dokumentiert werden, aber auch erhöhte Makrofossil-Anteile der Blattreste indet. und Wurzeln indet. (Abbildung 8).

Vegetativ indet. zieht sich in großer Anzahl durch alle Proben, mit Ausnahme der Probe (312,5 cm), in der keinerlei Makrofossilien zu finden waren. In den mittleren Probentiefen ist ein leichter Rückgang der Vegetativ indet. Funde zu beobachten, der jedoch in den oberen Proben konträr ist.

Blattreste indet. wurden in 375,5 cm und Wurzeln indet. in den Proben 375,5 cm, 291 cm und 175,5 cm dokumentiert. Ihr Maximum wiesen dabei alle drei Fundarten bei 375,5 cm auf.

Des Weiteren wurden Epidermis indet. (67 cm), Rinde indet. (175,5 cm) und Wurzeln indet. (375,5 cm, 291 cm und 175,5 cm) gefunden. Stängel indet. ließen sich in der untersten Probe (447,5 cm) dokumentieren (Abbildung 8).

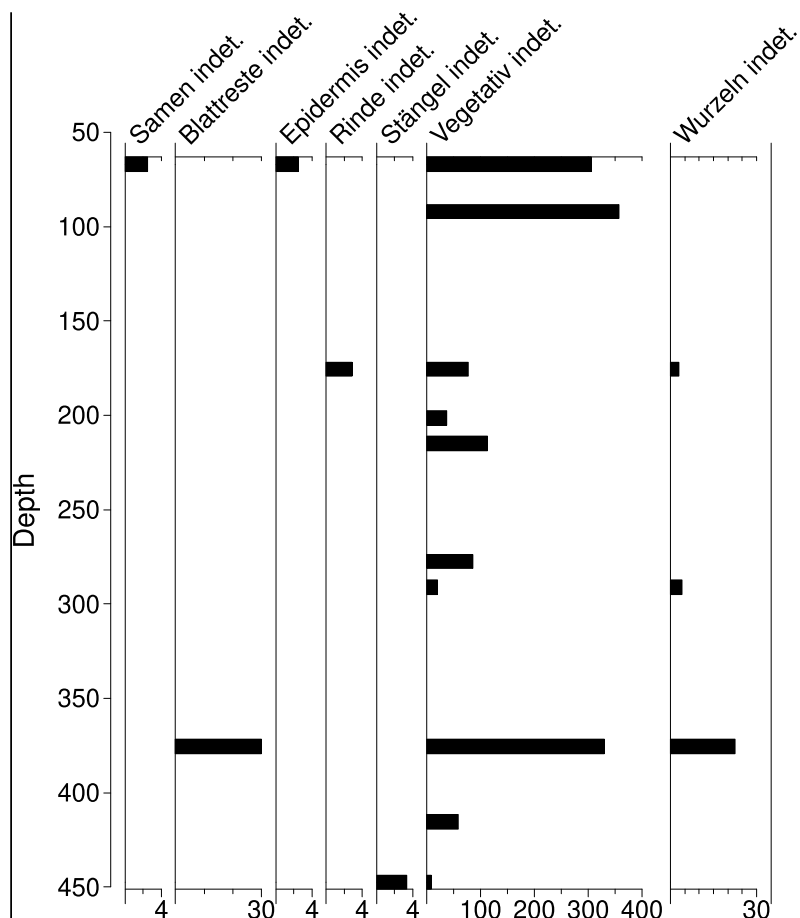


Abbildung 8: Grafische Darstellung der unbestimmten Makrofossilien aus dem Altaussee, Altaussee, Steiermark, Österreich

4.1.6 Detailgrafik Moorpflanzen und Kryptogamen

Die ersten und einzigen beiden Moorpflanzen zeigten sich erst in den oberen Schichten (Abbildung 9), mit Cyperaceae Früchten (tricarpelat) bei 201,5 cm und *Menyanthes trifoliata*-Samen in der obersten Probe (67 cm).

Die ersten Kryptogamen-Funde konnten bereits in tiefen Schichten des Bohrkerns dokumentiert werden. So wurden die ersten Amblystegiaceae-Funde in 375,5 cm Tiefe dokumentiert. In den oberen Schichten weisen sie jedoch eine deutlich größere Anzahl auf. Filicales Wedel-Basen konnten in 375,5 cm und 201,5 cm Tiefe, Marchantiophyta-Blättchen in 175,5 cm nachgewiesen werden. In zwei der weiter oben liegenden Proben (201,5 cm und 67 cm) traten außerdem *Sphagnum*-Blättchen auf (Abbildung 9).

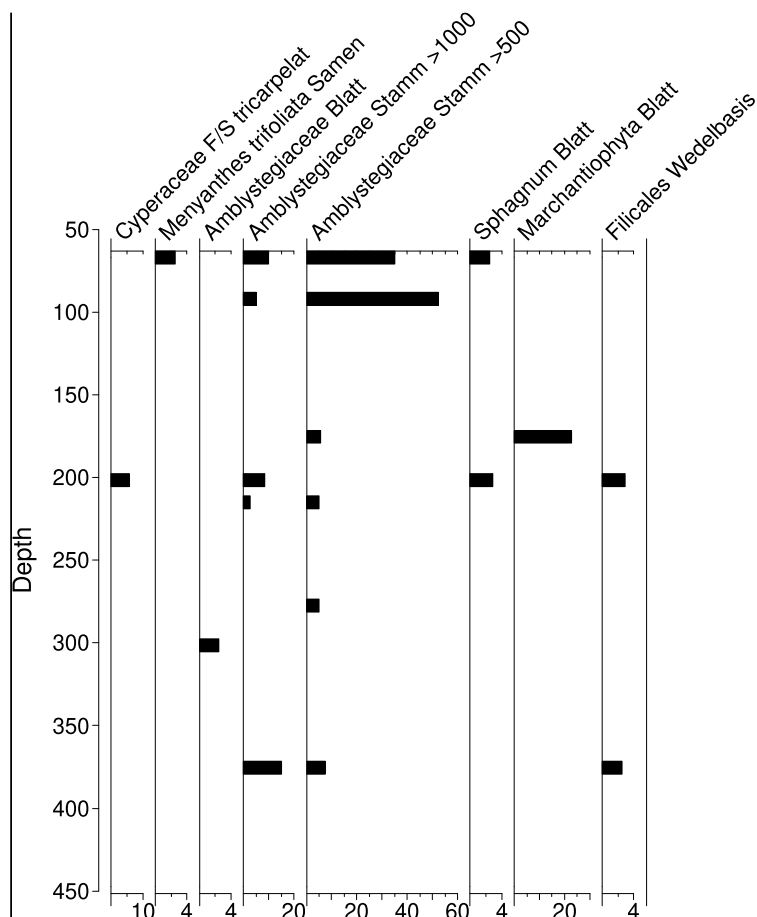


Abbildung 9: Grafische Darstellung der Moorpflanzen und Kryptogamen Makrofossilien aus den Sedimentproben des Altausseer Sees, Altaussee, Steiermark, Österreich

4.1.7 Detailgrafik zoologische und andere Funde

Bei Betrachtung der zoologischen Funde fällt auf, dass diese über alle Schichten hinweg vorhanden sind (Abbildung 10). Vor allem die Chitin indet.-Funde ziehen sich

durch sehr viele Proben (415,5 cm, 375,5 cm, 301,5 cm, 215 cm, 201,5 cm, 175,5 cm). In der untersten Probe (447,5 cm) des Bohrkerns waren Insecta/Arthropoda indet.-Funde existent, diese sind auch weiter oben (92,5 cm) wiederzufinden. In 415,5 cm Tiefe folgen die ersten Chitin indet.-Funde und Schnecken- (Gastropoda) Kalkschalen. Gastropoda Kalkschalen konnten außerdem in 201,5 cm und 92,5 cm Tiefe gefunden werden.

Des Weiteren wurden Coleoptera-Elytra (375,5 cm), Fisch-Ei indet. (301,5 cm), Trichoptera-Chitin (277,5 cm), Cladozieren-Chitin (277,5 cm) und Trichoptera-Larvenköpfe (215 cm) dokumentiert. In den obersten Schichten konnten verschiedene Eier entdeckt werden. Darunter Ei indet (201,5 cm), Insecta/Arthropoda Ei indet. (92,5 cm) und Wurm-Ei indet. (67 cm).

„Andere Funde“ bezeichnet die *Coenococcum geophilum*-Sclerotia und die Minerogenen Partikel. *Coenococcum geophilum*-Sclerotia konnten in 375,5 cm, 215 cm und 67 cm Tiefe dokumentiert werden. Minerogene Partikel wurden in 201,5 cm Tiefe entdeckt (Abbildung 10).

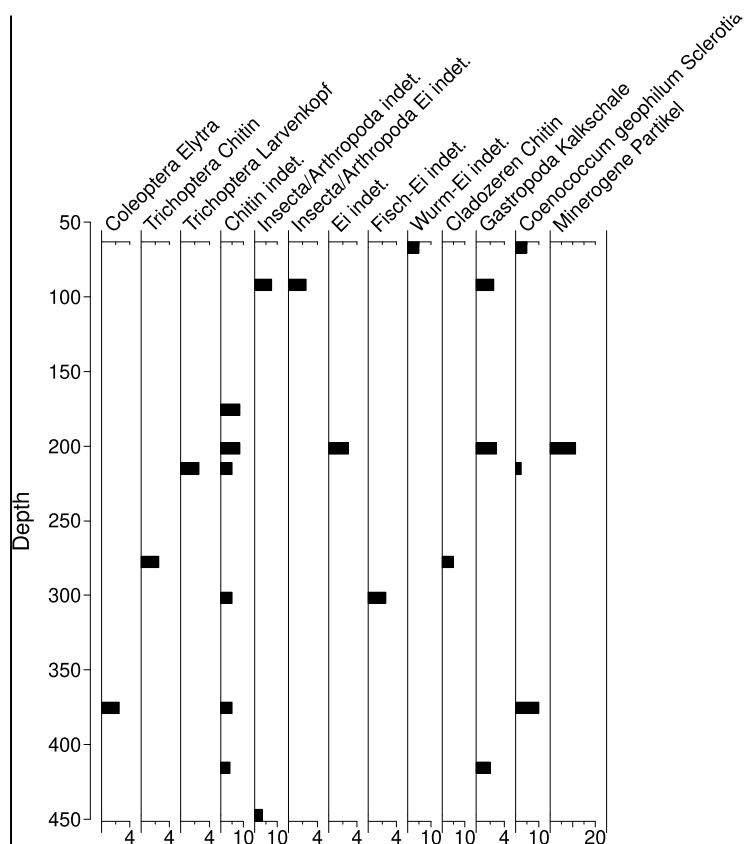


Abbildung 10: Grafische Darstellung der Makrofossilien von Tieren und Pilzen, sowie der minerogenen Partikel aus den Sedimentproben des Altaussee Sees, Altaussee, Steiermark, Österreich

4.2 Radiokarbon (^{14}C)-Datierungen

In der Tabelle 4 und der Abbildung 11 sind sowohl unsere als auch die Datierungsergebnisse der ^{14}C -Datierung aus anderen Bohrkernen dargestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Radiokarbon-Datierungen an pflanzlichen Makrofossilien aus den Sedimentproben des Altausseer Sees, Altaussee, Steiermark, Österreich

| LabID | Alter cal. BP (BP=AD 1950) | Error | Absolute Tiefe [cm] |
|----------------------|----------------------------|-------|---------------------|
| surface | -71 | 1 | 0 |
| ALT20-02_26.5-27cm | 591 | 22 | 83,5 |
| ALT20-02_66.5-67cm | 842 | 22 | 110,5 |
| ALT20-02_80cm-82cm | 1178 | 60 | 177,5 |
| ALT20-18a_57-58cm | 1181 | 23 | 177,5 |
| ALT20-01_38.5-39.5cm | 1203 | 59 | 177,5 |
| 1002-3-A-1-2_52cm | 1396 | 24 | 201,5 |
| 1002-3-B-1-1_100.5cm | 1980 | 76 | 292 |

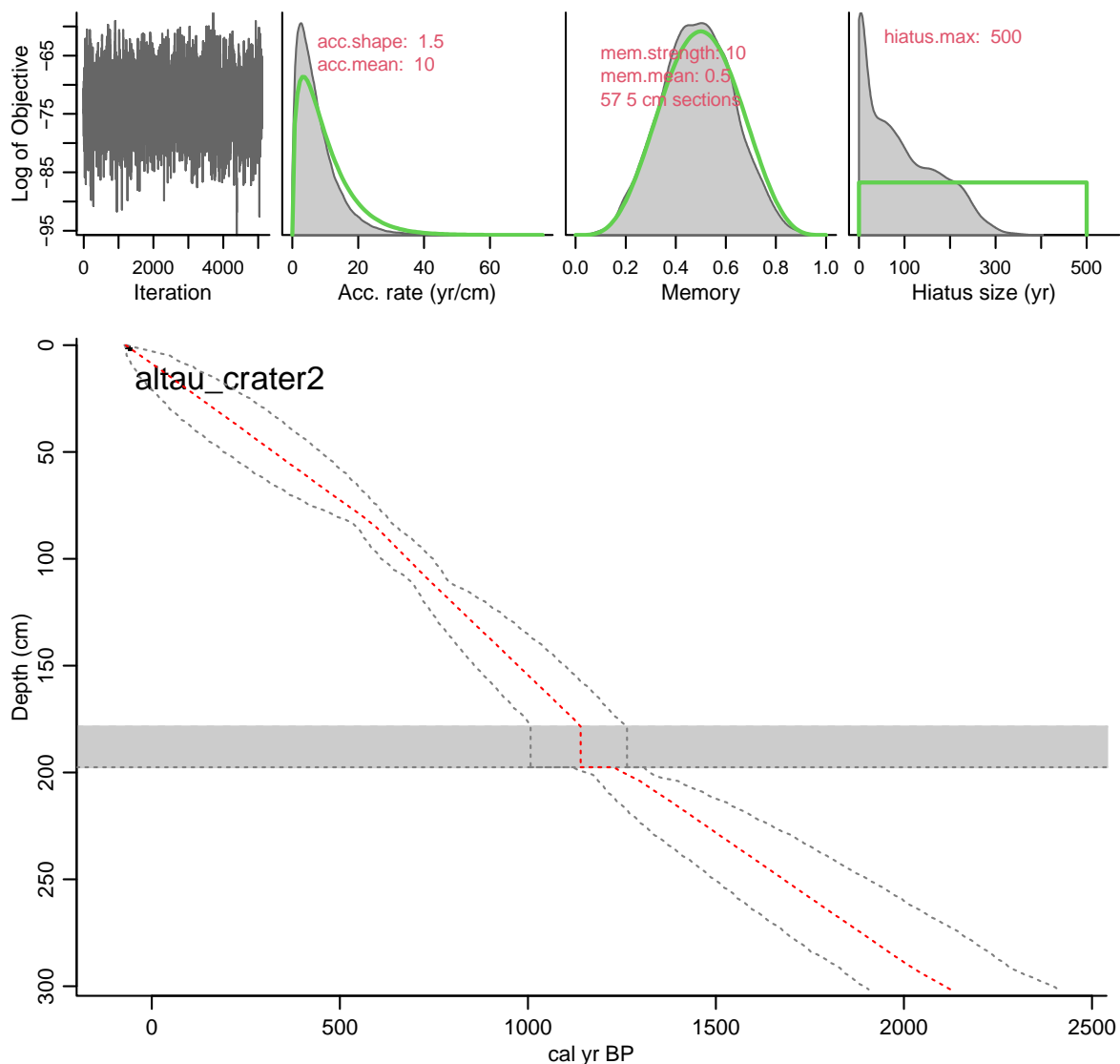


Abbildung 11: Tiefen-Altersmodell für die Radiokarbon-Datierungen an pflanzlichen Makrofossilien aus den Sedimentproben des Kraterbohrkerns aus dem Altausseer Sees, Altaussee, Steiermark, Österreich. Der grau unterlegte Tiefenbereich zeigt den auf ca. 750 nach Christus datierten Megaturbidit.

Durch diese war es Marcel Ortler möglich, ein vorläufiges Altersmodell (R package „Bacon“; Blaauw & Christen, 2011) für den Altausseer See zu erstellen (Abbildung 11). Probe A (415,5 cm) konnte leider im Radiokarbon-Labor nicht datiert werden und ist somit im Altersmodell nicht dargestellt. Aufgrund der Tiefen der datierten Proben reicht das Altersmodell bis in eine Tiefe von 301,5 cm, wobei sich die letzte Datierung bei 292 cm befindet. Die datierten Proben sind in Abbildung 11 als blaue Striche dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Rate der Sedimentablagerung leicht variiert. Von 2000 yr cal. BP bis 1300 yr cal. BP weisen die Proben eine Sedimentzunahme von 1 cm in 10 Jahren auf. Danach ist die bereits erwähnte Massensedimentbewegung deutlich ersichtlich. In dieser ist durch die Vermischung der Proben kaum eine Veränderung hinsichtlich des Alters bemerkbar. Es folgt ein Abschnitt mit einer leicht erhöhten Sedimentzunahme, bevor diese wieder leicht abflacht.

5 Diskussion

Allgemeines

Um unsere Hauptfragestellung, wie sich die Flora und Vegetation rund um den Altausseer See durch die Entstehung des Kraters und des Megaturbidits verändert haben, zu beantworten und um in dessen Zusammenhang die Vegetation vor der Kraterentstehung zu rekonstruieren, werden nun im Folgenden die Ergebnisse der Radiokarbon-Datierungen und die Ergebnisse der Makrofossilanalyse interpretiert und zu einem einheitlichen Bild zusammengefasst. Wir können unsere Probenergebnisse dazu grob in drei Zeiträume gliedern: in die Zeit vor der Kraterentstehung bzw. Quellaktivität (447,5 cm, 415,5 cm, 375,5 cm, 312,5 cm, 301,5 cm, Tiefe) und die Zeit nach der Kraterentstehung, d.h. die Sedimente die beeinflusst sind von der Quellaktivität des Kraters (291 cm, 277,5 cm, 215 cm, 201,5 cm, 175,5 cm, 92,5 cm und 67 cm Tiefe). Diese Sedimentproben nach der Kraterentstehung können nochmals unterteilt werden in Proben vor dem Megaturbidit (291 cm, 277,5 cm, 215 cm, 201,5 cm Tiefe) und nach dem Megaturbidit (175,5 cm, 92,5 cm und 67 cm Tiefe), welcher in der Tiefe von 197,5 cm bis 178,5 cm im Sedimentkern enthalten ist.

Radiokarbon-Datierungen

Hinsichtlich der ^{14}C -Datierungsergebnisse kann gesagt werden, dass die Entstehung des Megaturbidits, welcher im Zusammenhang mit einer massiven Sedimentbewegung entstanden ist (Rechenmacher et al., 2022), nach unserem vorläufigen Altersmodell für die Kernposition am Krater auf etwa 1140 yr cal. BP datiert werden kann. Die Kraterentstehung mit der Tiefe von ~292 cm und einem Alter von 1832–2291 cal BP modelliert ist somit nicht im direkten Zusammenhang mit der Megaturbidit-Ablagerung. Die Kraterentstehung kann anhand der Sedimente (Übergang von dunkleren, feinkörnigeren Ablagerung zu helleren, grobkörnigeren Ablagerung) identifiziert werden. Die grobkörnigeren Sedimentablagerungen zeigen hierbei den Beginn der Quellaktivität des Kraters. Ob und wie der mit der Quellaktivität einhergehende Wassereinfluss zu einer Änderung hinsichtlich der Flora und Vegetation um den See/Krater geführt hat, gilt es weiters mithilfe der Ergebnisse der Makrofossilanalyse zu klären. Unsere Datierungsergebnisse reichen bis in eine Tiefe von 301,5 cm, wobei unsere letzte Datierung bei 292 cm Tiefe liegt. Aufgrund dieser Tatsache ist es uns leider z. Z. nicht möglich tiefer liegende Sedimentproben genau datieren zu können. Jedoch lässt sich aufgrund der Funde von *Fagus sylvatica* und *Abies alba* in den untersten Proben des Bohrkerns sagen, dass unser Bohrkern nicht viel älter als 6000 yr cal. BP sein kann, da sich diese Baumarten erst vor ca. 6000 Jahren in der Region etabliert haben (Drescher-Schneider 2022, sowie J.N. Haas, persönliche Mitteilung 2022). Es wäre jedoch denkbar, durch weitere Radiokarbon-Datierungen, vor allem aus tieferen Schichten des Sees, das Tiefen-Altersmodell nochmals zu verfeinern und das genaue Alter des Bohrkerns zu bestimmen.

Makrofossilanalyse

Da uns besonders die Flora und Vegetation vor der Kraterentstehung interessiert, wollen wir nun die Ergebnisse der Proben, von unten nach oben, zu einem einheitlichen Bild zusammenfassen. Leider kann aufgrund der z. Z. fehlenden Datierungen für die tiefen Schichten keine Aussage über das genaue Alter der Proben gemacht werden. Diese werden dann aber im Verlauf der Diskussion ab der Probentiefe 301,5 cm zusätzlich für einen besseren zeitlichen Überblick miteinbezogen.

Die Ergebnisse der Makrofossilanalyse in den tiefen Schichten (LMFZ-1) zeigten eine deutlich höhere Anzahl an Koniferen-Fossilien als höher gelegene Schichten. So waren vor allem im untersten Teil des Bohrkerns vorwiegend *Larix decidua*-Nadeln (447,5 cm), *Abies alba*-Nadeln (415,5 cm, 375,5 cm) und Pinaceae-Periderm (415,5 cm), aber auch geringere Anteile an *Picea abies*-Nadeln (415,5 cm) und Pinaceae-Knospenschuppen (415,5 cm, 375,5 cm) vorhanden. Diese Ergebnisse weisen deutlich darauf hin, dass die Flora und Vegetation zu dieser, im Bohrkernverlauf, frühen Zeit deutlich von Koniferen-Arten geprägt war. *Abies alba* war bereits aus ihren glazialen Rückzugsgebieten im Süden Europas zurück, bzw. eingewandert, ebenso wie *Fagus sylvatica*, da dieser in der untersten Probe (447,5 cm) in Form von *Fagus sylvatica*-Knospenschuppen dokumentiert wurde. Somit muss auch *Fagus sylvatica* zu dieser Zeit bereits Einfluss auf die Flora und Vegetation genommen haben. Aufgrund dieser Funde befinden wir uns zeitlich betrachtet bei einem Alter von maximal 6000 yr cal. BP. *Fagus sylvatica* konnte im weiteren Verlauf in diesem Bohrkern nicht mehr dokumentiert werden. Ein Grund dafür stellt wohl mitunter die jahrhundertlang andauernde, wirtschaftliche Förderung von *Picea abies* in der Umgebung dar, wodurch *Fagus sylvatica* stark zurückgedrängt wurde (Adler & Mrkvicka, 2005). Des Weiteren zeigten unsere Ergebnisse einen sehr hohen Anteil an Substantia lignosa (SL) und einen hohen Anteil an Blattreste indet., Vegetativ indet.- und Wurzeln indet.-Funde (375,5 cm). Dies deutet nochmals deutlich auf das Vorkommen von Bäumen in unmittelbarer Litoral-Nähe des Kraters zu dieser Zeit.

Im weiteren Verlauf nahmen zur Mitte des Bohrkerns (LMFZ-2) die Dichte der Makrofossilfunde deutlich ab. Somit muss ab der Tiefe 301,5 cm nun auch die Altersdatierung miteinbezogen werden. Diese Abnahme der Makrofossilien könnten hierbei auf eine erhöhte Quellaktivität des Kraters zeigen, welche die Entstehung der Quellaktivität des großen Kraters bekräftigen. Wir befinden uns zeitlich etwa bei 2124 yr cal BP bei 292 cm Tiefe. Im Zuge des abnehmenden Makrofossilvorkommens nahmen auch die Koniferen-Funde in diesem Bereich ab. Es fanden sich jedoch noch vereinzelte Pinaceae-Knospenschuppen (277,5 cm), *Pinus cembra*- (215 cm) und *Pinus spec.*-Nadeln (215 cm). Es war jedoch kaum Substantia lignosa (SL) in den Proben vorhanden und auch Vegetativ indet. konnte zu einem beträchtlich geringeren Teil als zuvor dokumentiert werden. Der Bereich LMFZ-2 ist

beeinflusst durch die Quellaktivität des Kraters, welche zu erhöhter Fließgeschwindigkeit im Bereich der Kernposition geführt hat. Die erhöhte Fließgeschwindigkeit kann für die Abnahme an Makrofossiliendichte verantwortlich sein.

Im obersten Bereich des Bohrkerns (LMFZ-3) befindet sich zwischen 197,5 cm und 178,5 cm (ca. 1140 yr cal. BP) der Megaturbidit. In 201,5 cm Tiefe, möglicherweise beeinflusst vom Megaturbidit und dem Großereignis, konnten erneut *Larix decidua*- und Pinaceae-(Samen)Funde dokumentiert werden. Auch *Substantia lignosa* (SL) nahm in dieser Tiefe (201,5 cm) nochmals zu. Moorpflanzen (Mire plants) traten mit Cyperaceae Früchten (tricarpetat) zum ersten Mal kurz vor dem auf (201,5 cm), was auf einen höheren Wasserspiegel, bzw. auf die Überflutung von moorigen Litoralf Flächen (W-Plateau?) hinweisen könnte, und auf damit einhergehende Erosionsphasen hinweist.

Nach dem Megaturbidit konnte lediglich in einer einzelnen Probe (175,5 cm) Pinaceae-Periderm entdeckt werden, sonst waren keinerlei Koniferen-Makrofossilfunde mehr vorhanden. In 92,5 cm Tiefe konnten zum ersten Mal Poaceae-Ährchenbasen dokumentiert werden. Kryptogamen konnten in den Proben nach dem Megaturbidit deutlich vermehrt dokumentiert werden, was ebenfalls auf einen höheren Wasserspiegel (W-Plattform unter Wasser?) und Erosionsphänomene hinweisen könnte. So konnte eine große Anzahl an Marchantiophyta-Blättchen gefunden werden (175,5 cm). Auch Amblystegiaceae-Funde waren in den Proben nach dem Megaturbidit deutlich vermehrt vorhanden. Braunmoose waren zwar auch schon in tieferen Schichten vorhanden, erreichten jedoch ihr Maximum in den zwei obersten Proben (92,5 cm und 67 cm). Ein steigender Seespiegel und nachfolgende Erosion von Moor- oder Feuchtf lächen dürfte dafür verantwortlich gewesen sein. Des Weiteren konnten *Sphagnum* Blätter in den oberen Proben (67 cm) gefunden werden. Diese waren zwar auch schon vor dem Megaturbidit, oder während der ersten Megaturbidit-Ablagerung, vorhanden (201,5 cm), jedoch in wesentlich geringeren Mengen. *Sphagnum* ist eine Zeigerpflanze für Torfmoore und nährstoffarme und feuchte Standorte (Van Breemen, 1995). Das vermehrte Vorkommen dieser feuchtigkeitsliebenden Kryptogamen in den Schichten nach dem Megaturbidit, könnte als Auswirkung der veränderten Quellaktivität angesehen werden oder mit der Überflutung von Flachwasserzonen wie z.B. dem W-Plateau. In der obersten Probe (67 cm) lassen sich Birken-Früchte (*Betula* sect. "alba")

nachweisen. *Betula* besitzt die Fähigkeit sich als Pionierart auf mageren Moorböden anzusiedeln (Pils et al., 2002). Sie könnte sich somit nach Verdrängung der Koniferenarten, in den durch Wassereinlauf entstandenen, feuchten Randgebieten des vergrößerten Sees, angesiedelt haben. *Menyanthes trifoliata* Samen folgen in der obersten Probe (67 cm), sie sind ebenfalls in Flachwasserbereichen von Gewässern oder auf Moorflächen anzutreffen, welche es nach der Kraterentstehung und des Seespiegelanstiegs wohl zu genüge am Rand des Sees gegeben haben muss (Fischer et al., 2008).

Es bleibt jedoch anzumerken, dass im Rahmen dieser Bachelorarbeit nur zwölf Proben bearbeitet wurden, wobei eine der Proben (312,5 cm) aufgrund des fehlenden Makrofossilien-Inhalts (in den untersuchten Fraktionen) weggefallen ist und wir somit lediglich elf Proben betrachtet haben. Diese Tatsache schränkt die Genauigkeit, mit der die Flora und Vegetation rund um den Altausseer See beschrieben werden kann, enorm ein. Um die Flora und Vegetation vor der Kraterentstehung noch genauer beschreiben zu können, wäre es sinnvoll, weitere Proben aus dem bereits behandelten Bohrkern zu entnehmen oder weitere Bohrkern in nächster Nähe zum Krater, zu untersuchen, um eine höhere Stichprobenanzahl zu bekommen.

6 Schlussfolgerung und Ausblick

Mit dieser Bachelorarbeit kann die Fragestellung, wie die Flora und Vegetation rund um den Altausseer See vor der Entstehung des Kraters aussah, bereits zum Teil beantwortet werden. Somit kann zusammenfassend gesagt werden, dass vor der Kraterentstehung vor allem Koniferen wie *Larix decidua*, *Abies alba* sowie Pinaceae in nächster Nähe des Kraters vorherrschend waren, und später wenige krautige Pflanzen sowie vorwiegend Moorpflanzen und Kryptogamen (wie Marchantiophyta, *Sphagnum* und einer großen Anzahl an Amblystegiaceae) den Makrofossilgehalt dominierten.

Aktuell werden am Institut für Botanik der Universität Innsbruck zwei weitere paläoökologische Bachelorarbeiten an anderen Bohrkern Standorten des Altausseer See von Lisa-Maria Weber (Weber in prep.) und Viktoria Wenger (Wenger, 2023)

geschrieben. Es wäre spannend, die Ergebnisse dieser Arbeiten im Bezug mit der vorliegenden Arbeit zu vergleichen, um so mit einer größeren Probenanzahl ein genaueres Bild der vergangenen Flora und Vegetation zu bekommen. Hinsichtlich der ^{14}C -Datierungen wurden bereits die Ergebnisse der Bachelorarbeit von Lisa-Maria Weber mit einbezogen, jedoch wären zur Verbesserung des vorläufigen Altersmodells weitere Probenentnahmen sowohl aus dem vorliegenden Kern als auch aus anderen Kernen sinnvoll. Dabei könnten vor allem auch Datierungen für ältere Sedimentproben spannend sein, um einen noch genaueren Verlauf hinsichtlich der Ablagerungsraten zu erhalten. Da diese Bachelorarbeit ein Teil des Gesamtprojektes rund um den Altausseer See ist, wird es sicherlich noch viele weitere Untersuchungen geben, mithilfe deren Ergebnissen der Einfluss der Kraterentstehung auf die Flora und Vegetation rund um den Altausseer See geklärt werden kann.

7 Literatur

- Adler, W., & Mrkvicka, A.C. (2005). *Natur-Wanderführer Salzkammergut*. Wien: Naturhistorisches Museum Wien.
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (2021). *Natura 2000- Standard Data Form*. Totes Gebirge mit Altaussee See.
<https://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=AT2243000#top>
(Abgerufen am 11.04.2023)
- Blaauw, M., and Christen, J.A. (2011) "Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process." *Bayesian Anal.* 6 (3) 457 - 474, September 2011.
<https://doi.org/10.1214/11-BA618>
- Bortenschlager, S., Oeggl, K., & Wahlmüller, N. (1996). Austria. In B.E. Berglund, H.J. Birks, M. Ralska-Jasiewiczowa, & H.E. Wright (Eds.), *Palaeoecological events during the last 15 000 years, regional syntheses of palaeoecological studies of lakes and mires in Europe* (pp. 667–685). Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- BEV. (2023). *Austrian Map; BEV-Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen*.
<https://maps.bev.gv.at/#/center/13.7846,47.641/zoom/14.7> (Abgerufen am 26.06.2023)
- Bouma, A.H. (1987). Megaturbidite: An acceptable Term? *Geo-Marine Letters*, 7, 63–67.
- Bradshaw, R.H.W., Styles, B., Giesecke, T., Flantua, S.G A., Bittmann, F., & Williams, J.W. (2021). Eric C. Grimm 1951–2020. *Vegetation History and Archaeobotany*, 30, 305–312.
- Drescher, A. (2018). Die Vegetation der Steiermark – Ein Überblick. In C. Berg, M. Magnes, P. Schwager, K. Stüwe, K. Zernig, & A. Drescher (Eds.), *Tuexenia Beiheft* (pp. 39–53). Graz: Selbstverlag der Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft e.V.
- Drescher-Schneider, R. (2022). Die spät- und postglaziale Vegetationsentwicklung im „Oberen Moor“ auf der Sulzkaralm am Fuß der Jahrlingsmauer (Nationalpark Gesäuse, Steiermark, Österreich). *Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines für Steiermark*, 152, 97–128.
- Drozdowski, I., Mrkvicka, A.C., & Mrkvicka, G.F. (2015). Die Wasserpflanzenflora stehender Gewässer des steirischen Salzkammergutes (Österreich) sowie Anmerkungen zum Vorkommen von Großmuscheln, Krebsen und Amphibien. *Biodiversität und Naturschutz in Ostösterreich – BCBEA*, 1, 233–251.
- Fischer, M.A., Oswald, K., & Adler, W. (2008). *Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein*

- und Südtirol. Bestimmungsbuch für alle in der Republik Österreich, im Fürstentum Liechtenstein und in der Autonomen Provinz Bozen / Südtirol (Italien) wildwachsenden sowie die wichtigsten kultivierten Gefäßpflanzen (Farnpflanzen und Samenpflanzen) mit Angaben über deren Ökologie und Verbreitung. Linz: Land Oberösterreich, OÖ Landesmuseum.
- Grimm, E.C. (1987). CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares. *Computers & Geosciences*, 13, 13–35.
- Grimm, E.C. (1990). *TILIA and TILIA*GRAPH. PC spreadsheet and graphics software for pollen data*. INQUA Working Group on Data-Handling Methods, Newsletter, 4.
- Heine, E. (2021). Bathymetry and lakebed mapping of Lake Altaussee using Multibeam Echo Sounding, UAV photogrammetry and underwater ROV imagery. *FIG e-Working Week 2021. Smart Surveyors for Land and Water Management - Challenges in a New Reality. Virtually in the Netherlands, 21–25 June 2021*.
- Heitz, C. (2020). Abseits der grossen Seen. Archäologie und Erhaltung der neolithischen UNESCO-Welterbestätten Seedorf, Lobsigensee. *Hefte zur Archäologie Im Kanton Bern*, 7.
- Jacomet, S., & Kreuz, A., (1999). *Archäobotanik: Aufgaben, Methoden und Ergebnisse vegetations- und agrargeschichtlicher Forschung*. Stuttgart: Ulmer.
- Jørgensen, T., Haile, J., Möller, P., Andreev, A., Boessenkool, S., Rasmussen, M., & et al. (2012). A comparative study of ancient sedimentary DNA, pollen and macrofossils from permafrost sediments of northern Siberia reveals long-term vegetational stability. *Molecular Ecology*, 21, 1989–2003.
- Köppen, W. (1918). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresverlauf. *Pet. Mitt.*, 64, 193–203.
- Mandl, G.W., van Husen, D., & Lobitzer, H. (2012). *Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50 000*. Wien: Geologische Bundesanstalt.
- Moernaut, J., Wagner, S., Rechenmacher, J., Fiebig, M., Ortler, M., Fabbri, S., Strasser, M., & Heine, E. (2021). A late Holocene Record of sediment dynamics obtained from Lake Altaussee (Salzkammergut, Austria). *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 10.5194/egusphere-egu21-1963
- Münnich, K.O. (1960). Die C¹⁴-Methode. *Geologische Rundschau*, 49, 237–244.
- Ortler, M. (2021). Expedition Report Lake Altaussee-Long Coring Field campaign.

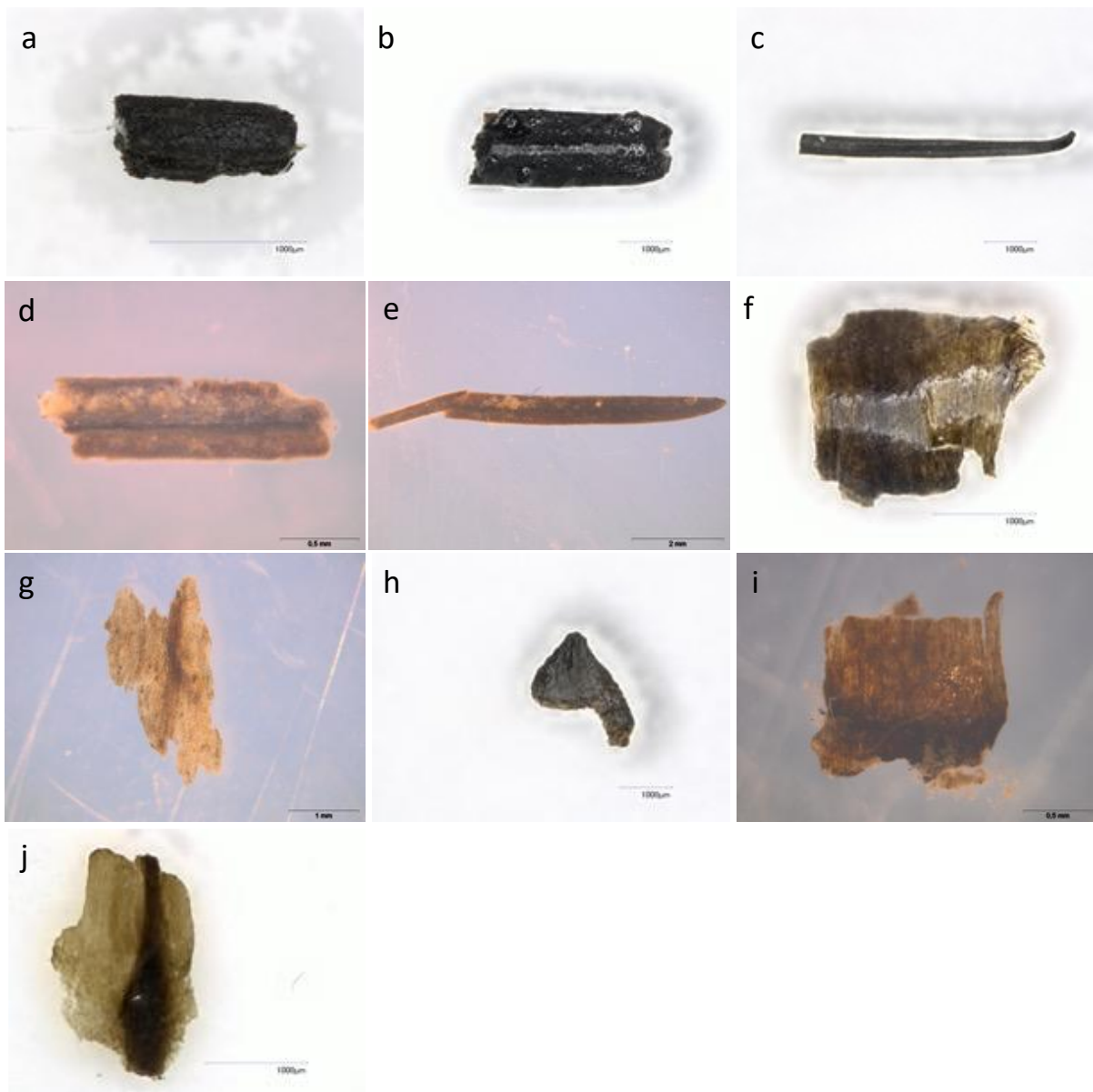
- Unpublished Report, University of *Innsbruck*.
- Pils, P., Wittmann, H., & Nowotny, G. (2002). Beiträge zur Flora des Bundeslandes Salzburg III. *Linzer biol. Beitr.*, 34, 5–165.
- Rechenmacher, J., Ortler, M., Moernaut, J., Häuselmann, P., Fiebig, M., & Heine, E. (2022). The Holocene sediment record of Lake Altaussee (Salzkammergut , Austria): A perspective on mass movements, lake level change and varying karst spring activity in an inner-Alpine setting. *Copernicus Meetings, EGU22-3952*, 1–2. 10.5194/egusphere-egu22-3952
- Riedl, H.-E., Friehs, B., Hochreiter, M. (2008). Der Altausseer See. In 1. *Steierischer Seenbericht. Ergebnisse der limnologischen Untersuchungen von 1999-2007 unter Berücksichtigung früherer Veröffentlichungen* (pp. 27–40). Graz: Amt der Steiermärkischen Landesregierung.
- van Breemen, N. (1995). How Sphagnum bogs down other plants. *Trends in Ecology & Evolution*, 10, 270–275.
- Wakonigg, H. (1978). *Witterung und Klima in der Steiermark*. Graz: Verlag für die Technische Universität Graz.
- Wenger, V. (2023). *Vegetation Reconstruction by Plant Macrofossils for the ca. 1200-year-old Altaussee Mire (Styria, Austria)*. Bachelor Thesis, University of Innsbruck, 42 pp.
- ZAMG (2002): *Klimadaten von Österreich 1971 - 2000*.
https://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (Abgerufen am 13.03.2023)
- Zukrigl, K. (1973). *Montane und subalpine Waldgesellschaften am Alpenostrand*. Wien: Österreichischer Agrarverlag.

8 Anhang

Anhangsverzeichnis

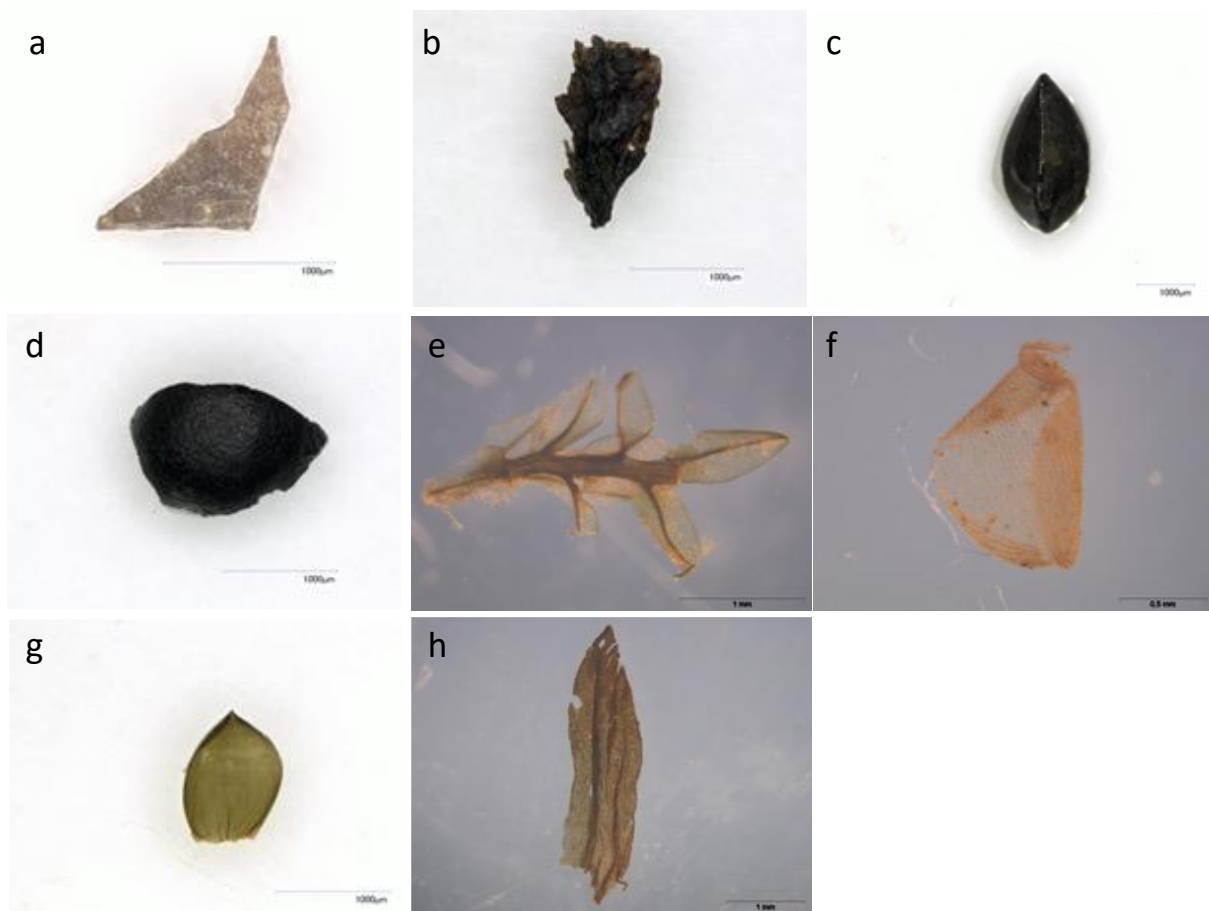
| | |
|---|------------|
| <u>1. BILDTAFEL: MAKROFOSSILIEN VON KONIFEREN, LAUBBÄUMEN UND STRÄUCHERN</u> | 33 |
| <u>2. BILDTAFEL: MAKROFOSSILIEN VON KRAUTIGEN PFLANZEN, GRÄSERN UND KRYPTOGAMEN</u> | 34 |
| <u>3. BILDTAFEL: MAKROFOSSILIEN VON TIEREN UND PILZEN, SOWIE MINEROGENE PARTIKEL</u> | 35 |
| <u>4. ROHDATEN DER MAKROFOSSILBESTIMMUNG</u> | 36 |
| <u>5. ROHDATEN DER MAKROFOSSILBESTIMMUNG AUF 10 ML NORMIERT</u> | 37 |
| <u>6. SEDIMENTKERN ÜBERBLICK: PROBENPOSITION</u> | 378 |

1. Bildtafel: Makrofossilien von Koniferen, Laubbäumen und Sträuchern



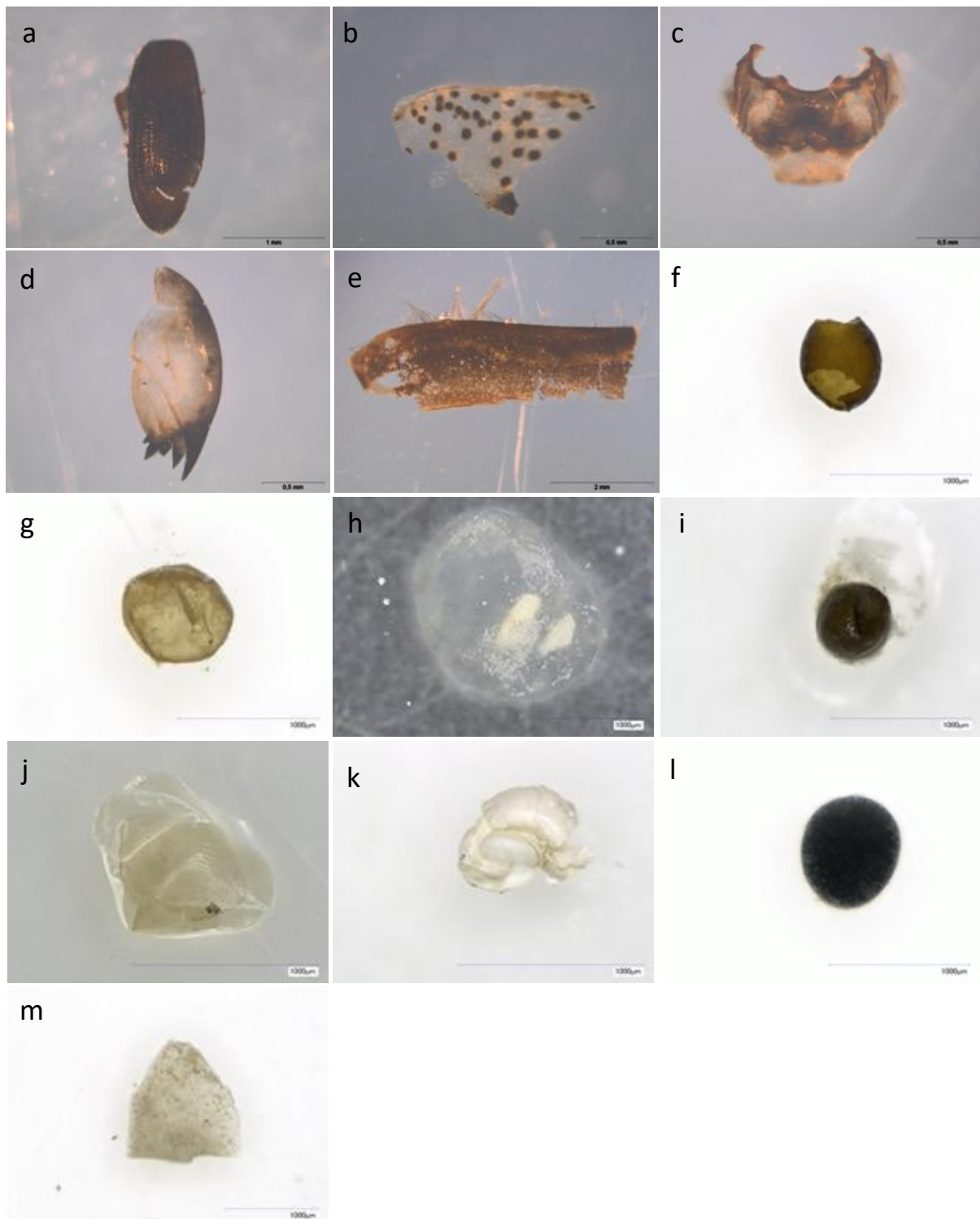
- a) *Picea abies* Nadel (415,5 cm)
- b) *Abies alba* Nadel (415,5 cm)
- c) *Larix decidua* Nadel (201,5 cm)
- d) *Pinus cembra* Nadel (215 cm)
- e) *Pinus spec.* Nadel (215,5 cm)
- f) Pinaceae Knospenschuppe (375,5 cm)
- g) Pinaceae Periderm (375,5 cm)
- h) Pinaceae Samen (201,5 cm),
- i) *Fagus sylvatica* Knospenschuppe (447,5 cm)
- j) *Betula* sect. "alba" F (67 cm)

2. Bildtafel: Makrofossilien von krautigen Pflanzen, Gräsern und Kryptogamen



- a) Rosaceae Stachel (201,5 cm)
- b) Poaceae Ährchenbasis (92,5 cm)
- c) Cyperaceae F/S tricarpelat (201,5 cm)
- d) *Menyanthes trifoliata* Samen (67 cm)
- e) Amblystegiaceae Stamm >500 (67 cm)
- f) *Sphagnum* Blatt (201,5 cm)
- g) Marchantiophyta Blatt (175,5 cm)
- h) Filicales Wedelbasis (375,5 cm)

3. Bildtafel: Makrofossilien von Tieren und Pilzen, sowie Minerogene Partikel



a) Coleoptera Elytra (375,5 cm)
b) Trichoptera Chitin (277,5 cm)
c) Trichoptera Larvenkopf (225 cm)
d) Chitin indet. (375,5 cm)
e) Insecta/Arthropoda indet. (92,5 cm)

f) Insecta/Arthropoda Ei indet. (92,5 cm)
g) Ei indet. (201,5 cm)
h) Fischei indet. 301,5 cm)
i) Wurm-Ei indet. (67 cm)
j) Cladozoren Chitin (277,5 cm)

k) Gastropoden Kalkschale (92,5 cm)
l) *Coenococcum geophilum* Sclerotia (67 cm)
m) Minerogene Partikel (201,5 cm)

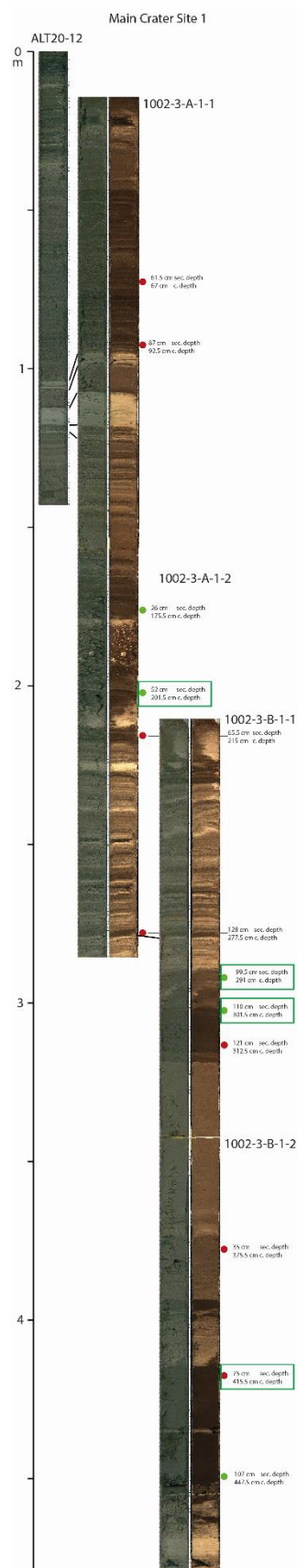
4. Rohdaten der Makrofossilbestimmung

| Tiefe [cm] | 67 | 92 | 175,5 | 201,5 | 215 | 277,5 | 291 | 301,5 | 312,5 | 375,5 | 415,5 | 447,5 |
|--|-----|-----|-------|-------|-----|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| Volumen [mL] | 4 | 4 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 | 6 |
| <i>Larix decidua</i> N | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| <i>Abies alba</i> N | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7 | 1 | - |
| <i>Picea abies</i> N | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| <i>Pinus cembra</i> N | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Pinus spec.</i> N | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Pinaceae KS | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | 1 | 1 | - |
| Pinaceae Periderm | - | - | 3 | - | - | - | - | - | - | 4 | - | - |
| Pinaceae S | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Betula</i> sect. "alba" F | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Fagus sylvatica</i> KS | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 |
| Substantia lignosa (SL) | 8 | 8 | 12 | 95 | 6 | 2 | - | - | - | 145 | 4 | 1 |
| Rosaceae Stachel | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Poaceae Ährchenbasis | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Samen indet. | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Blattreste indet. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 12 | - | - |
| Epidermis indet. | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rinde indet. | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Stängel indet. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Vegetativ indet. | 122 | 143 | 27 | 13 | 45 | 34 | 10 | - | - | 132 | 29 | 5 |
| Wurzeln indet. | - | - | 1 | - | - | - | 2 | - | - | 9 | - | - |
| Cyperaceae F/S tricarpetat | - | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> Samen | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Sphagnum</i> Blatt | 1 | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Amblystegiaceae Blatt | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| Amblystegiaceae Stamm >1000 | 4 | 2 | - | 3 | 1 | - | - | - | - | 6 | - | - |
| Amblystegiaceae Stamm >500 | 14 | 21 | 2 | - | 2 | 2 | - | - | - | 3 | - | - |
| Marchantiophyta Blatt | - | - | 8 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Filicales Wedelbasis | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | 1 | - | - |
| Cladozoren Chitin | - | - | - | - | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
| Coleoptera Elytra | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - |
| Gastropoda Kalkschale | - | 1 | - | 1 | - | - | - | - | - | - | 1 | - |
| Trichoptera Chitin | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - |
| Trichoptera Larvenkopf | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - |
| Chitin indet. | - | - | 3 | 3 | 2 | - | - | 2 | - | 2 | 2 | - |
| Ei indet. | - | - | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fisch-Ei indet. | - | - | - | - | - | - | - | 1 | - | - | - | - |
| Insecta/Arthropoda Ei indet. | - | 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Insecta/Arthropoda indet. | - | 3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 |
| Wurm-Ei indet. | 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Coenococcum geophilum</i> Sclerotia | 2 | - | - | - | 1 | - | - | - | - | 4 | - | - |
| Minerogene Partikel | - | - | - | 4 | - | - | - | - | - | - | - | - |

5. Rohdaten der Makrofossilbestimmung auf 10 ml normiert

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|
| Tiefe [cm] | 67 | 92 | 175,5 | 201,5 | 215 | 277,5 | 291 | 301,5 | 375,5 | 415,5 | 447,5 |
| Volumen [mL] | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| <i>Larix decidua</i> N | - | - | - | 14,29 | - | - | - | - | - | - | 1,67 |
| <i>Abies alba</i> N | - | - | - | - | - | - | - | - | 17,5 | 2 | - |
| <i>Picea abies</i> N | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2 | - |
| <i>Pinus cembra</i> N | - | - | - | - | 2,5 | - | - | - | - | - | - |
| <i>Pinus spec.</i> N | - | - | - | - | 2,5 | - | - | - | - | - | - |
| Pinaceae KS | - | - | - | - | - | 2,5 | - | - | 2,5 | 2 | - |
| Pinaceae Periderm | - | - | 8,57 | - | - | - | - | - | 10 | - | - |
| Pinaceae S | - | - | - | 2,86 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Betula</i> sect. " <i>alba</i> " F | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Fagus sylvatica</i> KS | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1,67 |
| Substatia lignosa (SL) | 20 | 20 | 34,29 | 271,43 | 15 | 5 | - | - | 362,5 | 8 | 1,67 |
| Rosaceae Stachel | - | - | - | 2,86 | - | - | - | - | - | - | - |
| Poaceae Ährchenbasis | - | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Samen indet. | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Blattreste indet. | - | - | - | - | - | - | - | - | 30 | - | - |
| Epidermis indet. | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Rinde indet. | - | - | 2,86 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Stängel indet. | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,33 |
| Vegetativ indet. | 305 | 357,5 | 77,14 | 37,14 | 112,5 | 85 | 20 | - | 330 | 58 | 8,33 |
| Wurzeln indet. | - | - | 2,86 | - | - | - | 4 | - | 22,5 | - | - |
| Cyperaceae F/S tricarpetat | - | - | - | 5,71 | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Menyanthes trifoliata</i> Samen | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Sphagnum</i> Blatt | 2,5 | - | - | 2,86 | - | - | - | - | - | - | - |
| Amblystegiaceae Blatt | - | - | - | - | - | - | - | 2,5 | - | - | - |
| Amblystegiaceae Stamm >1000 | 10 | 5 | - | 8,57 | 2,5 | - | - | - | 15 | - | - |
| Amblystegiaceae Stamm >500 | 35 | 52,5 | 5,71 | - | 5 | 5 | - | - | 7,5 | - | - |
| Marchantiophyta Blatt | - | - | 22,86 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Filicales Wedelbasis | - | - | - | 2,86 | - | - | - | - | 2,5 | - | - |
| Cladozoren Chitin | - | - | - | - | - | 5 | - | - | - | - | - |
| Coleoptera Elytra | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,5 | - | - |
| Gastropoda Kalkschale | - | 2,5 | - | 2,86 | - | - | - | - | - | 2 | - |
| Trichoptera Chitin | - | - | - | - | - | 2,5 | - | - | - | - | - |
| Trichoptera Larvenkopf | - | - | - | - | 2,5 | - | - | - | - | - | - |
| Chitin indet. | - | - | 8,57 | 8,57 | 5 | - | - | 5 | 5 | 4 | - |
| Ei indet. | - | - | - | 2,86 | - | - | - | - | - | - | - |
| Fisch-Ei indet. | - | - | - | - | - | - | - | 2,5 | - | - | - |
| Insecta/Arthropoda Ei indet. | - | 2,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Insecta/Arthropoda indet. | - | 7,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,33 |
| Wurm-Ei indet. | 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| <i>Coenococcum geophilum</i> Sclerotia | 5 | - | - | - | 2,5 | - | - | - | 10 | - | - |
| Minerogene Partikel | - | - | - | 11,43 | - | - | - | - | - | - | - |

6. Sedimentkern Überblick: Probenposition



Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Stellen, die wörtlich oder inhaltlich den angegebenen Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Ich erkläre mich mit der Archivierung der vorliegenden Bachelorarbeit einverstanden.

29.06.2023

Datum



Unterschrift