

Paläoökologische Makrofossilanalyse eines Sedimentbohrkerns
aus dem Altausseer-See
(Altaussee, Steiermark, Österreich)

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 Lisa-Maria Weber

Matr.-Nr.: 51867589

Innsbruck, Februar 2025

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.

22.02.2025

Datum



Unterschrift

Danksagung

Mit dieser Seite möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich auf unterschiedlichste Art und Weise beim Erstellen dieser Arbeit unterstützt haben. Ganz besonders möchte ich meinem Betreuer Jean Nicolas Haas danken, der mich von den ersten anfänglichen Schritten im Labor, bis zur Fertigstellung und Korrektur des Manuskripts, unterstützt hat. Dabei hat er sich stets Zeit für meine Fragen genommen und stand mir mit Rat zur Seite. Ein weiterer besonderer Dank gilt Marcel Ortler, für das Bereitstellen von Bildern und Grafiken, als auch für die Radiokarbon-Datierungen und das Erstellen des Altersmodells. Gemeinsam mit Jasper Moernaut hat er mit mir lange (und leider vergeblich) den gemusterten Boden nach einem 1mm großen Mineral abgesucht. Werner Kofler danke ich für die technische Einführung im Labor und die Erklärungen für das Anfertigen der 3D-Fotos.

Danke auch an Konrad Pagitz, der den entscheidenden Tipp zur Identifizierung des Wacholders gegeben hat. Abschließend möchte ich noch der Walter Munk Foundation für das schöne und informative Wochenende am Altausseer-See danken, an dem ich auch noch das Wissen für diese Arbeit vertiefen konnte.

Abstract

Es wurde ein kurzer Sedimentbohrkern (von 133cm Länge) aus der Mitte des tiefen Seebeckens aus dem Altausseer-See entnommen. Durch Radiokarbondatierung und die Analyse von Makrofossilresten soll die historische Pflanzendiversität rund um den See rekonstruiert und in Zusammenhang mit einem, durch ein Großereignis entstandenen, Megaturbidit im Sediment sowie der menschlichen Siedlungsgeschichte der Region gestellt werden.

Der Bohrkern konnte mithilfe eines Altersmodells dabei in vier Zonen unterteilt werden: Die Zone des Megaturbidits (ca. 1200 cal. BP) wird charakterisiert von einer großen Anzahl an Holzstücken, Laubblättern und Wurzelstücken, die vermutlich von einem Erdrutsch stammen. Insekten-Eier deuten auf eine gute Wasserqualität hin. Gleich nach dem Großereignis, in der Phase „Hintergrund vor Augstbach“ (ca. 1020 - 780 cal. BP) findet sich die Pionierpflanze *Larix decidua*. Verkohlte Makrofossilreste deuten auf durch Menschen verursachte Brände hin, und eine Vielzahl von Daphnien und Wurmeiern spiegelt eine gute Wasserqualität wider. Die Augstbachphase (ca. 780 – 660 cal. BP) wird durch ein erneut vermehrtes Aufkommen von Holzfragmenten charakterisiert, während durch den Salzabbau die Wasserqualität des Sees sinkt, sodass kaum mehr Daphnien zu finden sind. In der obersten Zone „Hintergrund nach Augstbachphase“ (ca. ab 590 cal. BP) sind kaum mehr Holzteile nachweisbar, und es findet wieder eine ruhigere Sedimentation statt. *Abies alba* und *Juniperus* kommen nun wieder vor.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINFÜHRUNG	6
1.1	FRAGESTELLUNG	6
1.2	DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET	7
1.2.1	<i>Geologie</i>	8
1.2.2	<i>Klima</i>	9
1.2.3	<i>Vegetation</i>	10
1.2.4	<i>Siedlungsgeschichte</i>	11
2	MATERIAL UND METHODEN	12
2.1	PROBENENTNAHME	12
2.1.1	<i>Entnahme des Bohrkerns</i>	12
2.1.2	<i>Probenentnahme</i>	13
2.1.3	<i>Aufbereitung der Schnitte</i>	14
2.1.4	<i>Makrorestbestimmung</i>	15
2.1.5	<i>Radiokarbondatierungen</i>	15
2.1.6	<i>Weitere Geologische Analysen</i>	16
2.2	AUFBEREITUNG DER ROHDATEN	16
2.2.1	<i>Tilia</i>	16
2.2.2	<i>Fotos</i>	17
3	ERGEBNISSE	17
3.1	ALTER DES BOHRKERNS	17
3.2	MAKRORESTBESTIMMUNG	20
3.2.1	<i>Lokale Makrofossilzonen</i>	20
3.2.2	<i>Bäume und Sträucher</i>	23
3.2.3	<i>Kryptogamen</i>	24
3.2.4	<i>Fauna und Sonstiges</i>	25
3.2.5	<i>Weitere Funde</i>	26
4	DISKUSSION	26
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	28
6	LITERATUR	28
7	ANHANG	31

1 Einführung

Der Altausseer-See liegt in der Steiermark (Österreich) und bildet Teil mehrerer Seen im Salzkammergut. Der idyllisch gelegene See und der direkt anliegende Ort Altaussee erfreuen sich ihrer Beliebtheit als Kurort und Ferienziel, auch für den Ozeanographen Walter Munk, Gründer der „Walter Munk Foundation for the Oceans“, der hier Teile seiner Kindheit verbracht hat und an eben diesem See im Jahr 2018 gemeinsam mit Projektleiter Erwin Heine das Forschungsprojekt „Altaussee 2019“ gegründet hat (Heine, 2021). Ziel des Projekts ist es, den See auf hydrologischer, geologischer, als auch biologischer Ebene zu durchleuchten und so einen Beitrag zum besseren Verständnis der Geschichte, Gegenwartszustand und möglichen Zukunft dieser sensiblen Ökosysteme der alpinen Seen zu leisten (Walter Munk Foundation, 2024). Unter Beteiligung der Universität für Bodenkultur Wien, dem Institut für Geologie der Universität Innsbruck, dem Institut für Botanik der Universität Innsbruck und vielen anderen wurden inzwischen mehrere wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht, die sich zum Beispiel mit einer 3D-Kartierung des Seebeckens (Heine, 2021) oder dem Eintrag von Mikroplastik (Deu et al., 2022) auseinandersetzen.

1.1 Fragestellung

Andere vorangegangene Arbeiten des Projekts, welche die Sedimentschichten des Sees untersuchten, konnten im See-Sediment einen Megaturbidit entdecken (Moernaut et al., 2021). Ein Megaturbidit ist eine durch einen schwerkraftgetriebenen Strom entstandene Sedimentbewegung, welche sich als homogene und deutlich unterschiedliche Schicht im Sediment manifestiert (Bouma, 1987). Dieser Megaturbidit wurde laut Rechenmacher et al. (2022) durch ein Großereignis, vermutet wird ein Erdrutsch durch ein starkes Erdbeben, und die darauffolgende Massenbewegung, verursacht.

Im Rahmen einer Serie mehrerer wissenschaftlichen Arbeiten am Institut für Botanik an der Universität Innsbruck sollen verschiedene Bohrkerne auf ihre Makrofossilreste hin untersucht werden, um die nacheiszeitliche Pflanzendiversität des Altausseer Sees zu rekonstruieren. Ablagerungen im Sediment sind äußerst gute Archive, um vergangene Umweltbedingungen zu rekonstruieren (Jacomet & Kreuz, 1999). Gerade Makrofossilreste von Pflanzen sind für solche Analysen besonders gut geeignet (Jørgensen et al., 2012).

In dieser Bachelorarbeit wird ein Sedimentbohrkern aus der Mitte des tiefen Seebbeckens auf Makrofossilreste untersucht, um so Rückschlüsse auf die Vegetation um den See vor und insbesondere nach dem Megaturbidit zu ziehen. Und was können uns diese Makrofossilreste eigentlich über den menschlichen Einfluss auf das Ökosystem und die Landschaft des Sees erzählen?

1.2 Das Untersuchungsgebiet

Der Altausseer See befindet sich in der nordwestlichen Steiermark (Österreich), in den nordöstlichen Kalkalpen, und liegt auf 712 m ü. A. an den Koordinaten $47^{\circ} 38' 30''$ N, $13^{\circ} 47' 10''$ O. Der See befindet sich am nördlichen Rand des Ausseer Beckens, welches Teil des Salzkammerguts ist. Er hat eine Fläche von $2,1\text{km}^2$ und befindet sich östlich des Ortszentrums von Altaussee (Abbildung 1). Der See liegt in einem kurzen und engen Tal und wird nördlich vom Loser (1837 m ü. A.), östlich von der vermutlich von einem Felssturz gezeichneten Trisselwand (1754 m ü. A.) und im Süden vom Tressenstein (1201 m ü. A.) umgeben (Riedl et al., 2008). Der Bohrkern für diese Bachelorarbeit wurde an der tiefsten Stelle der großflächigen Bodenzone entnommen (Siehe Markierung in Abbildung 1).



Abbildung 1: Übersichtskarte Lage Altausseer-See (Steiermark, Österreich), (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen-Austrian Map, 2024).

1.2.1 Geologie

Die Entstehung des Altausseer-Sees geht auf die Gletscherbewegungen während des Hoch- und Spätglazials zurück. Die während der Hochglazialzeit entstandenen, stark vertieften Zungenbecken wurden durch wiederholte Gletschervorstöße weiter ausgeprägt. Dadurch entstanden am Rand der Plateaus in den Hauptströmungsbereichen des Eises übertiefe Täler, von denen eines das Becken des Altausseer-Sees bildet (Mandl et al., 1982). Die umliegenden Berge und Täler sind durch geologische Formationen aus dem Mesozoikum geprägt (Götzinger, 1935). Ein bedeutender Teil des Gebirges um Altaussee gehört, wie in Abbildung 2 dargestellt (Amt d. Steiermärkischen Landesregierung, 2022), zur Dachstein-Formation, die sich durch Wassermangel und spärliche Vegetation auszeichnet. Aus diesem Grund wird sie auch als "Totes Gebirge" bezeichnet (Frischmuth, 1946). Eine weitere, wichtige Gesteinsschicht in der Region ist der Plassenkalk (Abbildung 2), eine ebenfalls aus Kalkstein bestehende Formation. Südlich des Altausseer-Sees treten neben mesozoischen Dolomit-Stein auch pleistozäne Moränen auf.

Es gibt momentan keine oberirdischen Zuflüsse zum See, nachdem der zuvor in den See fließende Augstbach schon in der Neuzeit verlegt wurde (Drozdowski et al., 2015). Der See wird hauptsächlich von unterirdischen Karstquellen gespeist, die Trichterformen bilden und Tiefen von bis zu 22 Metern und Durchmesser von bis zu 60 Metern aufweisen (Rechenmacher et al., 2022). Die Traun bildet im Westen des Altausseer-Sees, wo er seichter wird und in eine Moränenlandschaft übergeht, den einzigen Abfluss des Sees (Heine, 2021).



Geologie

— Terrassenkante, Erosionskante

Tektonik

— Regionale tektonische Störung

- - - tektonische Störung vermutet

→ Deckengrenze gesichert

↔ Abrissnische

— Schutt

Geologie 1:50.000

■ Haselgebirge: Mischgesteine von Evaporiten und Peliten

■ Grauvioletter Bankkalk

■ Massiger bis gebankter Heilkalk

■ Hangendrotkalk, Hangendgraukalk (Nor), Roter Bankkalk (Karn - Nor), Knollenfaserkalk (Jul), Pötschendolomit, Fedatadolomit

■ Mergel und Arenite: Turbidite aus Gesteinen der Dachsteinfazies

■ Dunkler Kalkmergel

■ Vorwiegend Kalk

■ Dachsteinkalk, gebankt: Megalodontenfazies

■ Dachsteinkalk, meist massig: Riffstotzen, Riffschutt, Korallen

■ Dachsteinkalk

■ Adneter Kalk, Hierlatzkalk, Klauskalk

■ Allgäuschichten: kalkig - mergelig

■ Allgäuschichten, vorwiegend kieselig

■ Radiolarit, Kieselkalk

■ Oberalmer Schichten: graue fossilarme mergelige Kalke mit dünnen Tonzwischenlagen

■ Tressensteinkalk

■ Plassenkalk

■ Vorstoßschotter

■ Terrasse des Goiserer Standes

■ Wallförmige Ufermoränen (End- und Seitenmoränen)

■ Wallförmige Ufermoränen (End- und Seitenmoränen)

■ Grundmoränenrücken (Drumlin)

■ Grundmoräne, Moränen i.a., tlw. verschwemmt

■ Staukörper am Eisrand, Eisrandterrassen

■ Rutschhang, größere Rutschungen

■ Bergsturzmassen, Blockwerk

■ Hangschutt, Schutthalden (teilweise Würm)

■ Quelltuff

■ Schwemmfächer, Schwemmkugel, Murenkegel (z.T. spät- postglazial)

■ Auzonen, Kolluvien, Wildbachschutt

■ Moor, Torf, Sumpf, Vernässung

Abbildung 2: Geologische Karte der Umgebung um den Altaussee-See (Steiermark, Österreich), (Amt der Steiermärkischen Landesregierung 2024).

1.2.2 Klima

Da es für den Ort Altaussee keine historischen Wetterdaten gibt wurden die Wetterdaten des ca. 2,9km Luftlinie entfernten Ortes Bad Aussee verwendet. Hier stellt die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG 2002) historische Wetterdaten von 1971 bis 2000 zur Verfügung. Das Klima in Bad Aussee wird als nördlich-inneralpin beschrieben, und wird bei

Niederschlag noch zusätzlich von den Staueffekten beeinflusst, die typisch für diesen oberösterreichischen Teil des Salzkammergutes sind (Prettenthaler et al. 2010). Nebel ist selten, im Winter gibt es viel Sonnenschein, und es gibt eine starke Fluktuation innerhalb der Tages-Temperatur.

Wie man dem untenstehendem Klimadiagramm von Bad Aussee (Abbildung 3) entnehmen kann, wird das Niederschlagsmaximum in den Monaten Juni bis August erreicht, wobei der Jahresgesamtniederschlag mit 1532,3 l/m² relativ hoch ist. Der trockenste Monat ist der Februar mit einer Niederschlagsmenge von 81,8 l/m². Am wärmsten ist es in den Monaten Juni und Juli, wo die Tageshöchstwerte 23,5 °C erreichen, während der Januar mit einer Durchschnittstemperatur von -2,5 °C am kältesten ist. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 7,3°C, somit liegt Bad Aussee laut der Klimaklassifikation von Köppen (1918) in der Klassifikation Dfb.

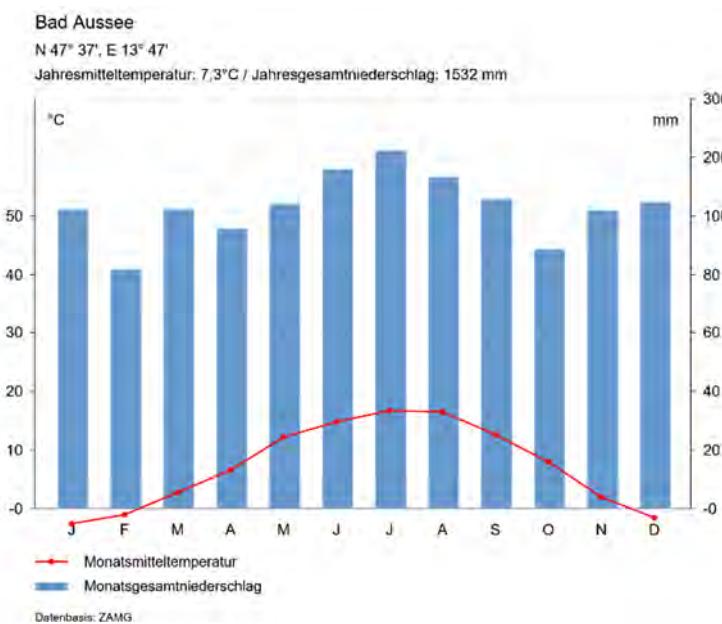


Abbildung 3: Klimadiagramm von Bad Aussee (Steiermark, Österreich), Daten: ZAMG 1971-2000.

1.2.3 Vegetation

Die heutige Waldgrenze liegt, nach einem ehemaligen Maximum von über 2000 m ü. A., inzwischen aufgrund menschlicher Aktivität nur mehr bei ca. 1750 m ü. A. (Drescher, 2018; Lamer 1998). Die Vegetation rund um den Altausseer-See variiert je nach Höhenlage. In mittleren Lagen (400–800 m ü. A.) wachsen Buchenwälder (*Fagus sylvatica*), durchmischt mit Tannen (*Abies alba*), Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*) und Eschen (*Fraxinus excelsior*),

während in höheren Bereichen (800–1450 m ü. A.) Mischwälder aus Fichten (*Picea abies*), Tannen und Buchen vorherrschen. In subalpinen Höhen (1450–1650 m ü. A.) treten Fichten oft zusammen mit Lärchen (*Larix decidua*) auf, reine Fichtenwälder sind ebenfalls verbreitet. In alpinen Regionen wächst zudem noch die Zirbe (*Pinus cembra*), während in den Tälern Buchen, Ahorne, Vogelbeeren (*Sorbus aucuparia*) und Holunder (*Sambucus nigra*) häufig vorkommen. Die Wiesenvegetation variiert stark je nach Bodenbeschaffenheit, besonders bekannt ist das jährliche Narzissenblühen in den feuchten Moränenwiesen (Frischmuth, 1946).

Im Frühling 2022 wurde auch eine kurze Aufnahme der Vegetation rund um den Altausseer-See durchgeführt. Dabei waren folgende Arten präsent:

vereinzelt *Abies alba* (Weißtanne), viel *Picea abies* (Fichte), *Betula* (Birke), *Larix decidua* (Lärche), *Pinus sylvestris* (Rotföhre), *Vaccinium vitis-idaea* (Preiselbeere), *Calluna vulgaris* (Besenheide), *Melampyrum* (Wachtelweizen), *Acer pseudoplatanus* (Berg-Ahorn), *Corylus avellana* (gemeine Hasel), *Maianthemum bifolium* (zweiblättrige Schattenblume) und am Uferbereich: *Poaceae* (Süßgräser), *Equisetum* (Schachtelhalm) und *Ranunculaceae* (Hahnenfußgewächse).

Es ist jedoch wichtig anzumerken, dass es sich hierbei nur um eine Momentaufnahme handelt und keinesfalls die gesamte ansässige Flora widerspiegeln kann.

1.2.4 Siedlungsgeschichte

Die ersten menschlichen Siedlungen in der Region um den Altausseer-See können aufgrund von ca. 8000 Jahre alten Funden einer Steinaxt und eines Steinhammers auf die Mittelsteinzeit zurückdatiert werden (Lamer, 1998). Auch aus der Bronzezeit (ca. 2000-800 BC) wurden Funde wie ein Bronzedolch oder ein Bronzeschwert bei Altaussee gemacht (Mirsch, 2013). Ebenso wurde eine Spiralbrosche entdeckt, die in die Hallstattzeit datiert werden kann (Mirsch, 2013). Während es Nachweise für eine Besiedlung der Gegend um den Altausseer-See aus der Römerzeit gibt, fehlen diese für die Zeit zwischen dem 5. und 8. Jahrhundert (Mirsch, 2013). Ab dem späten 8. Jahrhundert ist eine durchgehende Niederlassung in der Gegend um den Altausseer-See sehr wahrscheinlich (Lamer, 1998). Die erste urkundliche Erwähnung des Salzabbaus in Altaussee stammt aus dem Jahr 1094, jedoch

könnte die Salzgewinnung dort weitaus früher begonnen haben, wie archäologische Funde aus dem nahegelegenen Hallstatt nahelegen (Friedel, 1985). Der Salzabbau hat die Landschaft um den Altausseer-See massiv verändert, so wurde zum Beispiel der Verlauf des Augstbachs im 16. Jahrhundert verlegt, da dieser salzhaltiges Wasser aus dem oberhalb von Altaussee gelegenen Salzbergwerk in den See leitete (Drozdowski et al., 2015). Zur Gewinnung von Feuerholz für die Salzanlagen als auch für den Bau von Stollen und Rohrleitungen wurden große Fichtenbestände angebaut (Frischmuth, 1946; Lamer, 1998). Bis heute spielt der Salzbergbau eine wichtige Rolle in der Region: mit einer jährlichen Produktion von 450.000 Tonnen Salz ist das Salzbergwerk Altaussee heute die größte Salzgewinnungsstätte Österreichs (Salzwelten, 2021).

2 Material und Methoden

2.1 Probenentnahme

2.1.1 Entnahme des Bohrkerns

Der Bohrkern mit der Bezeichnung ALT20-01 wurde am 16.09.2020 durch Jasper Moernaut, Marcel Ortner und Ariana Molenaar entnommen. Der Bohrkern wurde in der Mitte des tiefen Beckens im See an den Koordinaten 47°38'15.8"N, 13°46'46.6"E (ermittelt mit einem Handheld Garmin GPS-Gerät) entnommen (Siehe auch Markierung in Abbildung 4)(Ortler, 2021). Für die Entnahme des Sedimentbohrkerns wurde ein Perkussions-Bohrgerät verwendet, dessen Hammer-Mechanismus ein leichteres Eindringen in tiefere Schichten ermöglicht.

Der Bohrkern hat einen Durchmesser von 63mm und eine Länge von 133cm. Der Sedimentbohrkern wurde in einem PVC-Rohr ins Institut für Geologie der Universität Innsbruck transportiert, dort der Länge nach aufgeschnitten und mit einem ITRAX XRF Corescanner fotografiert und analysiert. Der Sedimentbohrkern wurde zur Vermeidung des Austrocknens mit einer Frischhaltefolie eingewickelt, als Lichtschutz noch zusätzlich mit Aluminiumfolie umhüllt und bei 4°C bis zur Probenentnahme am Institut für Botanik in Innsbruck gelagert.

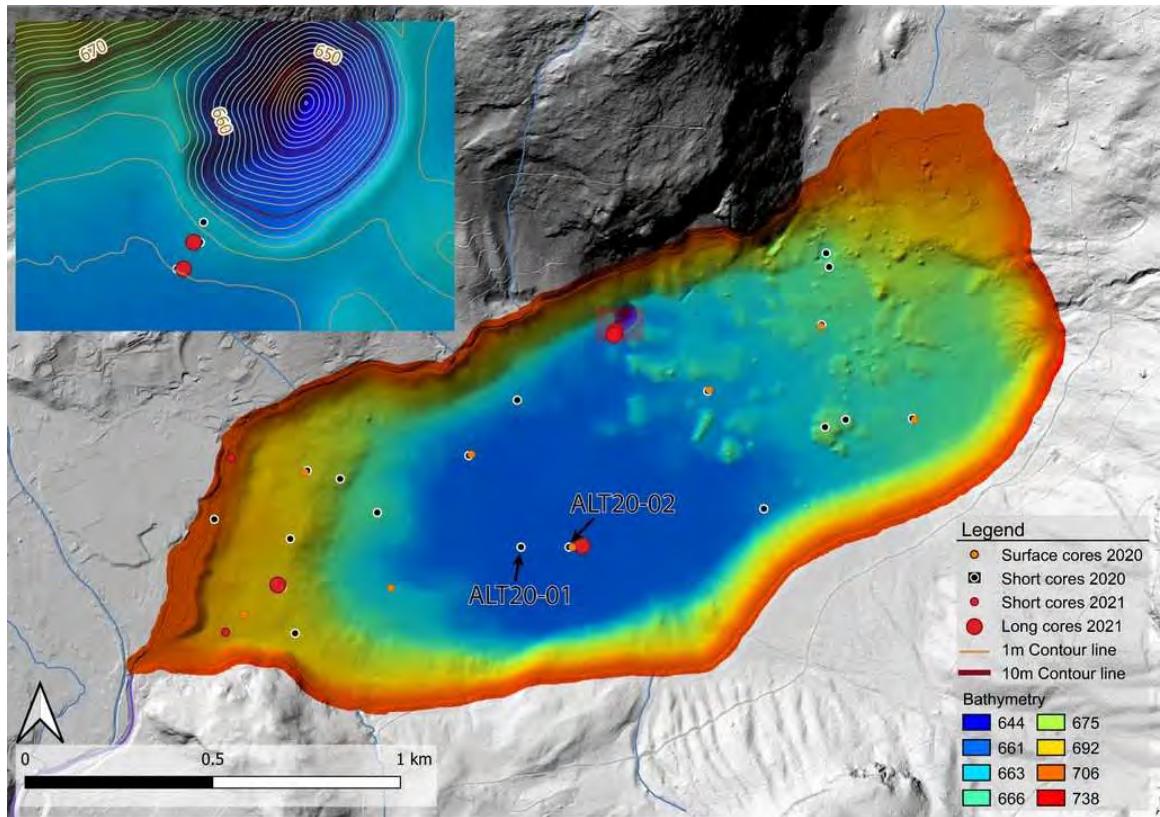


Abbildung 4: Bathymetrische Karte des Altaussee-Sees (Steiermark, Österreich) mit Markierung des Bohrkerns ALT20-01 (Marcel Ortler, 2024).

2.1.2 Probenentnahme

Die Probenentnahme erfolgte im April 2022 am Institut für Botanik der Universität Innsbruck. Es wurden insgesamt 14 Proben an optisch interessanten Stellen des Bohrkerns entnommen: in einer Tiefe von 128cm, 108cm, 88cm, 77cm, 69cm, 67cm, 58cm, 42cm, 34cm, 29cm, 21cm, 13cm und 5cm. Die Probentiefe wird mit einem Meterstab vom oberen Rand des Bohrkerns gemessen, wobei die ersten 4cm für das Schwamm-Inlet abgezogen werden müssen. Der Einschnitt erfolgt jeweils einen Zentimeter ober- als auch unterhalb der ausgewählten Probentiefe. Eine angegebene Probentiefe von 13cm würde also den Ausschnitt von 13,5cm bis 12,5cm bedeuten. Um eine Kontamination zu verhindern, wird zuerst die obere Schicht des Bohrkerns an der jeweiligen Tiefe der Probe mit einem sauberen Messer abgeschabt. Anschließend wird ein 1cm breiter und ca. 3cm langer Schnitt entnommen. Um ein Verrutschen des Bohrkernes zu vermeiden, und einen weiteren Überblick über die entnommenen Proben zu behalten, werden wie in Abbildung 5 dargestellt, beschriftete Styropor-Ausschnitte in die entstandenen Spalten gelegt. Von den

Rändern der Probe werden, ebenfalls zur Vermeidung von Kontaminationen, mit einem Messer 1-2mm abgeschnitten. Aus der Mitte der Probe wird mit einem Probenstecher ein 1cm³ großes Quadrat für etwaige zukünftige Pollenanalysen ausgestochen, und bei 4°C gekühlt gelagert. Der Rest der Probe wird in einen zuvor abgewogenen Plastikbeutel gegeben und das Gewicht mit einer Feinwaage ermittelt.



Abbildung 5: Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich) mit Styroporeinlagen an Proben aus 42cm, 50cm, und 58cm Tiefe. Foto L.-M. Weber, 2024.

2.1.3 Aufbereitung der Schnitte

Die zuvor entnommene Probe wird nun durch Siebe unterschiedlicher Feinheitsgrade gesiebt. Die Probe wird vom Kunststoffbeutel in ein mit ml-Angaben markiertes Röhrchen gegeben, um das Volumen zu bestimmen. Aus dem zuvor ermittelten Gewicht und dem Volumen wird im Anschluss die jeweilige Dichte der Probe ermittelt. Eine Übersicht über die Proben findet sich in Tabelle 1.

Es werden 4 Siebe aufsteigend mit einer Maschenweite von 125µm, 250µm, 500µm und 1000µm gestapelt. Die Probe wird auf das oberste Sieb gegeben, und mit einem feinen Wasserstrahl so lange das Material durch das Netz gespült, bis keine Veränderung des Siebrückstandes sichtbar ist. Große Stücke werden gleich mit einer Pinzette herausgenommen, um eine mechanische Beschädigung zu vermeiden. Die Reste werden mit etwas Aqua dest. in eine mit der entsprechenden Siebgröße beschriftete Kunststoffdose gespült. Das oberste Sieb wird entfernt und man fährt mit den folgenden Siebgrößen in

gleicher Weise fort. Pro Probe ergibt das 4 Plastikdöschen unterschiedlicher Fraktionen, die so im weiteren Schritt analysiert werden können.

Tabelle 1: Übersicht der entnommenen Proben aus dem Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Probenname	Tiefe [cm]	Nettogewicht Probe [g]	Volumen [cc]	Dichte [g/cc]
Alt20-01 5	5	3,97	3,0	1,32
Alt20-01 13	13	3,99	3,5	1,14
Alt20-01 21	21	3,95	3,5	1,13
Alt20-01 29	29	3,50	3,0	1,17
Alt20-01 34	34	6,21	4,0	1,55
Alt20-01 42	42	4,58	3,5	1,31
Alt20-01 50	50	4,79	3,5	1,37
Alt20-01 58	58	5,55	4,0	1,39
Alt20-01 67	67	6,59	5,0	1,32
Alt20-01 69	69	6,45	5,5	1,15
Alt20-01 77	77	6,89	6,5	1,06
Alt20-01 88	88	4,04	3,0	1,35
Alt20-01 108	108	3,64	3,0	1,21
Alt20-01 128	128	3,17	3,0	1,06

2.1.4 Makrorestbestimmung

In dieser Bachelor-Arbeit werden nur die zwei größeren Fraktionen mit 1000µm und 500µm Maschenweite untersucht. Die zwei kleineren Fraktionen von 250µm und 125µm werden nur kurz unter dem Mikroskop auf Auffälligkeiten untersucht und danach für etwaige zukünftige Arbeiten bei 4°C gelagert.

Der Inhalt aus einem Kunststoffdöschen wird in eine Petrischale gespült und unter einem Auflichtmikroskop analysiert. Mithilfe von Vergleichsliteratur und dem pflanzlichen Vergleichsmaterial vor Ort wird das gesamte Material möglichst genau zugeordnet und in einer Tabelle erfasst (siehe Anhang 1 & 2, Rohdaten).

2.1.5 Radiokarbonatierungen

Um das Alter des Bohrkerns zu ermitteln, wird die Radiokarbonmethode (^{14}C -Datierung) angewendet. Diese Technik, die Münnich (1960) beschreibt, basiert auf dem Zerfall des radioaktiven Kohlenstoffisotops ^{14}C . Während ihres Lebens nehmen Organismen dieses Isotop kontinuierlich aus der Atmosphäre auf. Sobald sie sterben, endet dieser Prozess, und der enthaltene Kohlenstoff-14 zerfällt allmählich (Münnich, 1960). Durch die bekannte

Halbwertszeit des Isotops lässt sich berechnen, wie lange der Zerfall bereits andauert und somit, wie alt das organische Material ist (Heitz, 2020).

Die Probe für die Datierung wurde von Marcel Ortner und Jean Nicolas Haas in einer Tiefe von 39cm entnommen und für die Analyse vorbereitet. Dabei wurden identifizierbare Überreste fotografiert und gewogen, bevor sie mit Aqua dest. gespült, als Klumpen zusammengeschoben und nach einer Trocknungszeit von zwei Tagen abermals gewogen wurden. Ebenso wurden weitere Proben von Marcel Ortner von anderen Sedimentbohrkernen des Altausseer Sees gleichermaßen vorbereitet und gemeinsam zur Analyse an die Universität Bern versendet. Durch die Einbeziehung anderer Sedimentbohrkerne erhöht sich die Genauigkeit des Altersmodells und es kann ein vorläufiges Tiefen-Altersmodell für den Altausseer-See erstellt werden. Der Bohrkern Alt20-01 wurde anschließend auf den Bohrkern ALT20-02 projiziert und so ein Tiefen-Altersmodell modelliert.

2.1.6 Weitere Geologische Analysen

Am Institut für Geologie der Universität Innsbruck wurde eine feste Substanz, welche in mehreren Proben gefunden wurde, mittels Micro-XRF (Mikro-Röntgenfluoreszenzspektrometrie) analysiert. Dabei wird mithilfe von Röntgenstrahlung die Probe zur Ausstrahlung von Fluoreszenzröntgenstrahlung angeregt. Anhand des Spektrums dieser Strahlung können so Haupt-, Neben- und Spurenelementen einer Probe identifiziert werden (Gill, 2014).

2.2 Aufbereitung der Rohdaten

2.2.1 Tilia

Die Rohdaten der Makrorestbestimmung werden in ein Excel Sheet (Excel Version 2402) übertragen, bevor sie im weiteren Schritt auf dasselbe Volumen von 5cc genormt werden. Nur wenn alle Daten auf dasselbe Proben-Volumen genormt sind, ist eine Analyse der Ergebnisse möglich. Dabei wird folgende Formel verwendet:

$$\text{Normierte Makrofossilanzahl} = \left(\frac{5 \text{ [cc]}}{\text{Probenvolumen [cc]}} \right) \times \text{Makrofossilanzahl}$$

Nach der Normierung werden die Rohdaten in das Tilia Programm (Tilia Version 2.6.1) (Grimm, 1990) geladen und als .tlx-Datei gespeichert. Bei Tilia handelt es sich um eine Auswertungssoftware, welche speziell für die Analyse und Darstellung von paläoökologischen Daten konzipiert wurde (Grimm, 1990). In weiterer Folge kann aus dieser Datei eine .tgx-Datei („Tilia Graphic File“) erstellt werden, in der die Ergebnisse graphisch dargestellt werden können. Mit der CONISS-Methode („Constrained incremental sum of squares“) (Grimm, 1987) kann anschließend eine Cluster-Analyse durchgeführt werden, welche den Bohrkern in mehrere lokale Makrofossilzonen unterteilt.

2.2.2 Fotos

Am Institut für Botanik der Universität Innsbruck wurden zur Dokumentation der wichtigsten Makrofossilien-Funde Fotos erstellt. Es wurden 2D-Bilder mit einem „Olympus SZX9“ Mikroskop und dem „analySIS pro“-Programm als auch 3D-Fotos mit Tiefenschärfe mit einer „Keyence digital VHX-2000 Microscope“-Kamera angefertigt. Die Bilder wurden zu Schautafeln zusammengestellt und sind im Anhang 3 bis 5 zu finden.

3 Ergebnisse

3.1 Alter des Bohrkerns

In Abbildung 6 ist das Ergebnis der Radiokarbondatierung der Probe aus 39cm Tiefe des Sedimentbohrkerns ALT20-01 dargestellt. Die blauen Kurven stellen die Radiokarbon-Messungen der Atmosphärischen Daten dar, während die rote Kurve links die Radiokarbon-Konzentration der Probe anzeigt. Die grauen Kurven bilden wahrscheinliche Kalibrationsdaten für die Probe ab. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,4% ist das Alter der untersuchten Probe 1203 cal. BP (BP = 1950 n. Chr.).

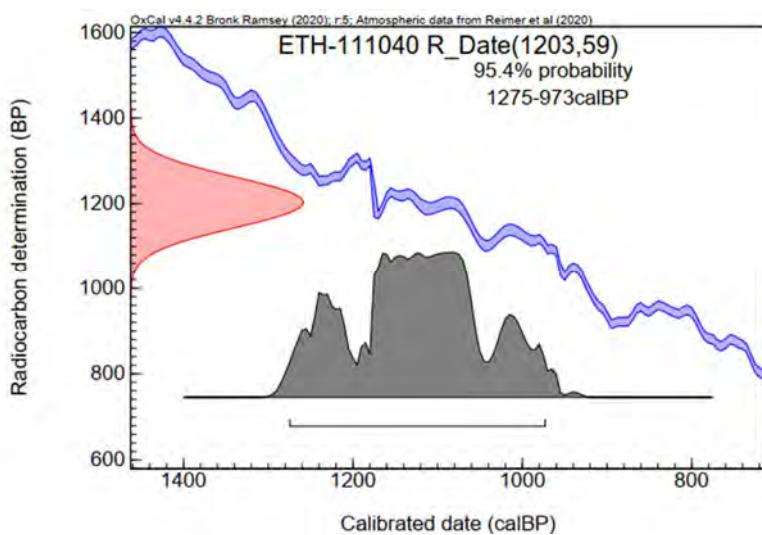


Abbildung 6: Ergebnis der Radiokarbondatierung der Sedimentprobe ALT20-01 aus 39cm Tiefe aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Durch die Ergebnisse der ^{14}C -Datierung und der Projizierung der zwei Bohrkerne von ALT20-01 auf ALT20-02 (siehe blaue Linien Abbildung 7) konnte Marcel Ortner ein Altersmodell für den hier untersuchten Sedimentbohrkern erstellen. Es zeigt sich, dass die Sedimentation bis zu einer Tiefe von ca. 29cm (590 cal. BP) langsam verläuft, und im weiteren Verlauf bis zu einer Tiefe von ca. 67cm (774 cal. BP) um einiges schneller verläuft. Darauf folgt wieder eine Phase der langsameren Sedimentation bis zu einer Tiefe von 77cm (1022 cal. BP). Ab einer Tiefe von 80cm (1200 cal. BP) ist der zuvor erwähnte Megaturbidit klar erkennbar. Hier ist durch die Homogenität der Proben als auch des Sediments keine Veränderung des Alters ersichtlich.

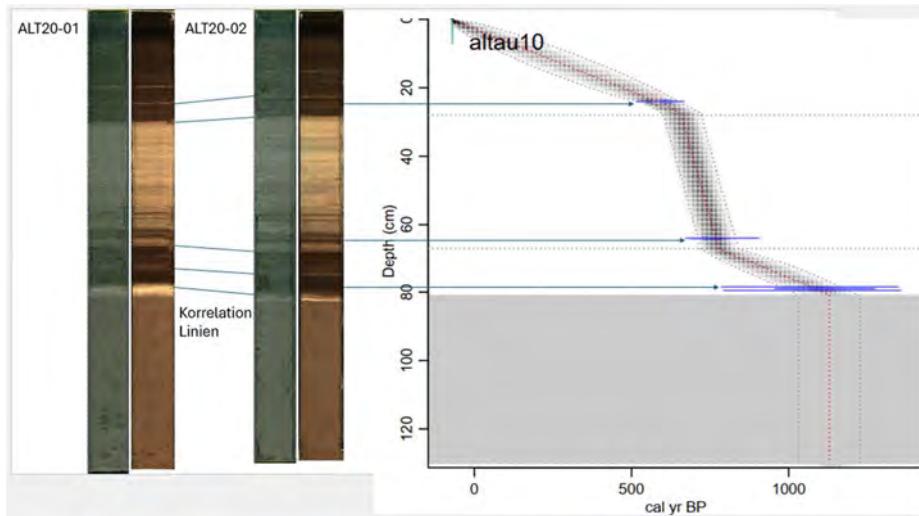


Abbildung 7: Projektion des Bohrkerns ALT20-01 auf ALT20-02 und Tiefen-Altersmodell für den Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich). Der grau unterlegte Tiefenbereich zeigt den auf ca. 1200 cal. BP datierten Megaturbidit (Marcel Ortler, 2024).

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Makrofossil-Proben und ihr modelliertes Alter gemäß dem Alters-Tiefenmodell (Abb. 7). Die gesamten Ergebnisse des Analyseverfahrens und die Rohdaten der Sedimentbohrkern-Projektion sind im Anhang 6 zu finden.

Tabelle 2: Übersicht Proben-Alter für den Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Probename	Alter [years cal. BP]	Phase
Alt20-01 5	-51	Background
Alt20-01 13	153	Background
Alt20-01 21	319	Background
Alt20-01 29	590	Background
Alt20-01 34	665	Augstbach
Alt20-01 42	692	Augstbach
Alt20-01 50	718	Augstbach
Alt20-01 58	742	Augstbach
Alt20-01 67	774	Augstbach
Alt20-01 69	788	Background
Alt20-01 77	1022	Background
Alt20-01 88	1132	Megaturbidite
Alt20-01 108	1132	Megaturbidite
Alt20-01 128	1132	Megaturbidite

3.2 Makrorestbestimmung

3.2.1 Lokale Makrofossilzonen

Nach der Bestimmung der Makrorestfossilien und Analyse der Rohdaten mit Tilia konnte mithilfe der CONISS-Methode eine Cluster-Analyse durchgeführt werden und 4 lokale Makrofossilzonen – abk. LMFZ - (siehe Abb. 8) bestimmt werden. Die ungefähren Grenzen der Zonen liegen bei 80cm, 68cm und 32cm (siehe auch rot strichlierte Linie in Abb. 8) Diese 4 Zonen unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung der Makrorestfossilien und wurden von mir anhand der Siedlungsgeschichte, dem geologischen Hintergrund und der ¹⁴C-Datierung folgend benannt:

LMFZ-1: Megaturbidite (133cm bis 80cm – ca. 1200 cal. BP)

Die tiefste LMFZ erstreckt sich von der untersten Probe bei 128cm bis Probe 88cm. Diese Zone wird von einem sehr großen Vorkommen von Holzteilen und indet. Laubblättern als auch das Vorkommen von Wurzelstücken in allen Probentiefen charakterisiert. Nur in LMFZ-1 wurde *Pinus cembra*, *Betula* sp., *Populus* sp. als auch *Vaccinium myrtillus* nachgewiesen. Bis auf Coeloptera-Chitin und Insecta-Eiern konnten keine zoologischen Makrofossile dokumentiert werden.

LMFZ-2: Background pre Augstbach (78cm bis 69cm – ca. 1020 bis 780 cal. BP)

LMFZ-2 beinhaltet die zwei Proben von 77cm und 69cm, und ist daher eine sehr kurze Zone. Charakterisiert wird diese Zone durch ein vermehrtes Aufkommen von Kryptogamen und aquatischen Pflanzen. Ausschließlich in dieser Zone waren zwei der analysierten Makrofossilreste verkohlt. Des Weiteren wurden auch viele sehr gut erhaltene zoologische Überreste dokumentiert. In der >125µm und >250µm Fraktion waren sehr viele Daphnien und Wurmeier.

LMFZ-3: Augstbachphase (68cm bis 33cm – ca. 770 bis 660 cal. BP)

Diese LMFZ erstreckt sich von der Probentiefe 67cm bis zur Probe 34cm und bildet somit die zeitlich längste lokale Makrofossilzone. Hier werden im Vergleich zur vorherigen Zone indet. Wurzelstücke als auch Holzteile wieder dominanter. Die Daphnien und Wurmeier der kleineren Fraktion gehen sukzessive zurück und verschwinden bis zum Ende der Phase gänzlich, während noch in der Mitte dieser Zone Ostracoda-Schalen dokumentiert werden.

LMFZ-4: Background (30cm bis 3cm – ab ca. 590 cal. BP)

Diese LMFZ bildet die oberste Zone ab einer Tiefe von 29cm. Im Vergleich zu den vorherigen Zonen sind fast keine Wurzel- oder Holzteile mehr vorhanden. Während die meisten Kryptogamen kaum mehr gefunden wurden gibt es in der obersten Probentiefe ein erhöhtes Aufkommen von Bryophyta-Stängel. Auch in dieser LMFZ gibt es wieder sehr gut erhaltene zoologische Funde.

Steiermark (A), Altaussee - Altausseer See

Macrofossil diagram
Lisa-Maria Weber, 2024

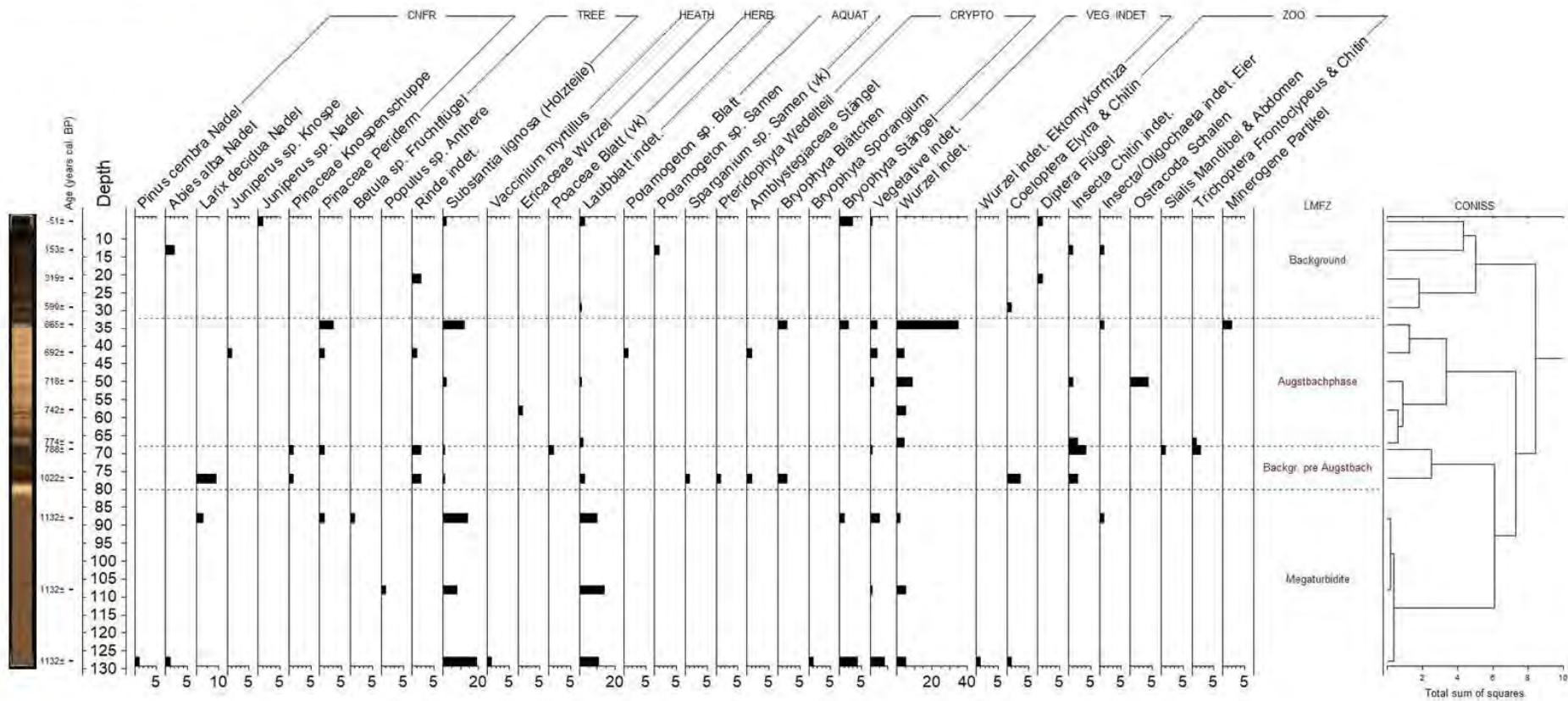


Abbildung 8: Grafische Darstellung aller Makrofossilreste aus dem Sedimentbohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

3.2.2 Bäume und Sträucher

Sieht man sich die Detailgrafik der Makrofossilfunde der Bäume und Sträucher (Abbildung 9) genauer an, fällt zuerst der große Anteil an Holzteilen (Substantia lignosa) auf, welcher in den drei tiefsten Proben, 128cm, 108cm und 88cm am stärksten ist, dann wieder abfällt und nochmals einen Höhepunkt bei der Probentiefe 34cm hat. *Pinus cembra* Nadeln wurden nur bei 128cm dokumentiert, ebenso wurde nur hier *Vaccinium myrtillus* gefunden. In dieser Probe wurden auch *Abies alba* Nadeln entdeckt, welche aber auch wieder in einer höheren Schicht, bei Probe 13cm, vorkamen. *Larix decidua* Nadeln wurden in einer Tiefe von 88cm und 77cm nachgewiesen. Eine *Juniperus* sp. Knospe fand sich in der Probentiefe 42cm, und eine Nadel derselben Art bei Probentiefe 5cm. Weitere Pinaceae-Überreste sind vor allem im mittleren Teil des Bohrkerns zu finden. Pinaceae-Knospenschuppen gab es bei 77cm und 69cm und Pinaceae-Periderm in 88cm, 69cm, 42cm und 34cm. Ein *Betula*-Fruchtflügel wurde in einer Tiefe von 88cm dokumentiert und die Anthere eines *Populus*-Baums konnte bei 108cm nachgewiesen werden. In der tieferen Schicht (LMFZ 1) konnte keine Rinde gefunden werden, diese kommt erst bei 77cm, 69cm, 42cm und 21cm vor.

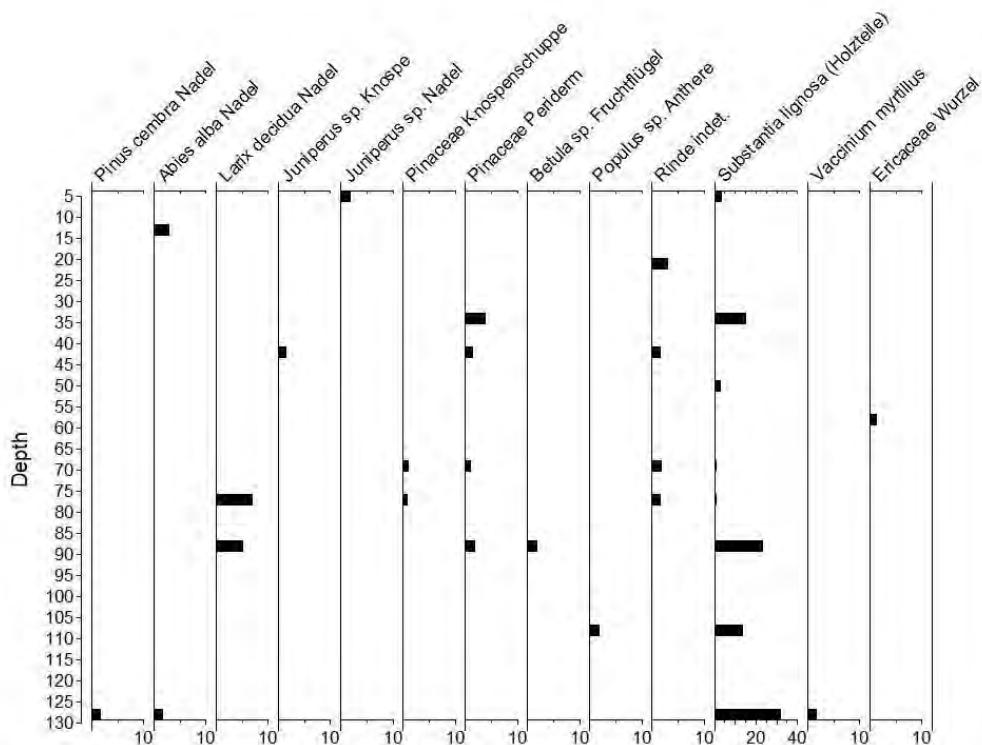


Abbildung 9: Detailgrafik Makrofossilreste von Bäumen und Sträuchern für den Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

3.2.3 Kryptogamen

Bei den Kryptogamen (Abbildung 10) wurden verhältnismäßig viele Bryophyta-Überreste dokumentiert. Bryophyta-Blättchen konnten in einer Probentiefe von 77cm als auch 34cm nachgewiesen werden, während Bryophyta-Sporangien in 128cm Tiefe gefunden wurde. Stängel von Bryophyta waren bei den Proben 128cm, 88cm, 34cm (in sehr gutem Zustand) als auch in 5cm Tiefe vorhanden. *Amblystegiaceae*-Stängel konnten in einer Tiefe von 77cm und 42cm dokumentiert werden, in einer Tiefe von 77cm war außerdem ein Pteridophyta-Wedelteil als auch ein verkohlter *Sparganium* sp. Samen vorhanden. Im oberen Drittel des Bohrkerns konnte ein *Potamogeton* sp. Blatt bei der Probentiefe 42cm und ein *Potamogeton* sp. Samen in 13cm Tiefe nachgewiesen werden.

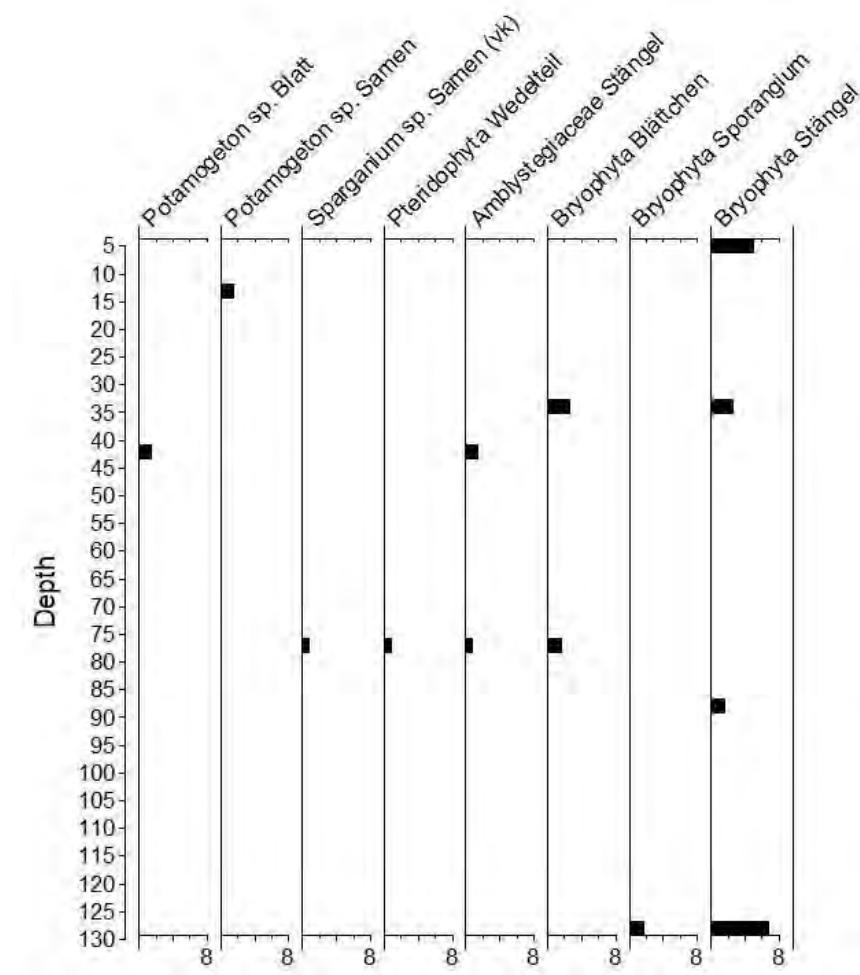


Abbildung 10: Detailgrafik Makrofossilreste von Kryptogamen für den Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer See (Steiermark, Österreich)., Sedimentbohrkern Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

3.2.4 Fauna und Sonstiges

Bei genauerer Betrachtung der zoologischen Makrofossilreste (Abbildung 11) fällt auf, dass im unteren Drittel des Bohrkerns, mit Ausnahme eines Coleoptera-Fundes, kaum Überreste vorhanden sind. Weiteres Coleoptera-Chitin konnte in einer Probentiefe von 77cm und 29cm dokumentiert werden. Im oberen Teil, in einer Tiefe von 21cm und 5cm, wurden Diptera-Flügel nachgewiesen. Besonders häufig war Insecta-Chitin zu finden, nämlich bei den Proben 77cm, 69cm, 67cm, 50cm als auch 13cm. Die Eier von Insecta und Oligochaeta (Wenigborster) waren in einer Probentiefe von 88cm, 34cm und 13cm vorhanden. Besonders hervorzuheben ist auch das Vorkommen von Ostracoda-Schalen in 50cm Tiefe. In der Probe 69cm konnten Mandibel und Abdomen von *Sialis* als auch ein Larvenkopf mit Frontoclypeus von Trichoptera dokumentiert werden. Weiteres Trichoptera-Chitin gab es auch bei der Probe 67cm. Es wurden mehrere grüne Partikel eines kristallinen Minerals in der Probe 34cm entdeckt, diese konnten jedoch leider nicht näher bestimmt werden.

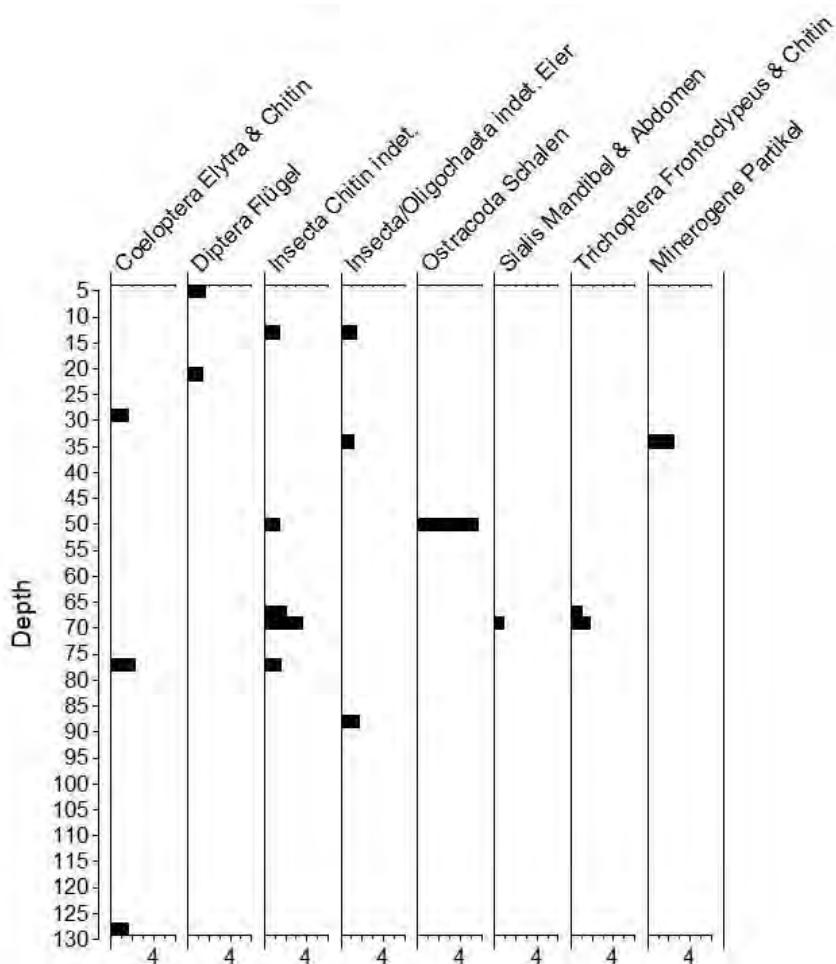


Abbildung 11: Detailgrafik Makrofossilreste der Fauna und Sonstiges für den Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

3.2.5 Weitere Funde

Die in fast allen Probentiefen (108cm, 88cm, 69cm, 67cm, 58cm, 50cm, 29cm, 21cm und 5cm) vorkommenden Partikel unterschiedlichster Form und Größe wurden als Kunststoff-Kontamination identifiziert (Siehe Anhang 7 – micro-XRF Analyse). Es wird vermutet, dass es beim Aufschneiden des Bohrkerns oder Entnehmen der Proben im Labor zu dieser Kontamination durch die Außenschale des Bohrkerns gekommen ist. Diese Funde wurden daher nicht weiter in den Ergebnissen berücksichtigt.

4 Diskussion

Um die Vegetationsgeschichte um den Altausseer-See als auch die möglichen Zusammenhänge mit dem Großereignis des Megaturbidits und der menschlichen Siedlungsgeschichte zu rekonstruieren, werden die Ergebnisse der Makrofossilanalyse in vier Zeiträume gegliedert:

Die unterste Schicht des Bohrkerns, (LMFZ-1) bei den Probentiefen 128cm, 108cm und 88cm, bildet den Megaturbidit ab, der auf eine Zeit von ca. 1200 cal. BP datiert wird. Da es hier zu einer massiven Sedimentbewegung gekommen ist, in der auch ältere Sedimentabschnitte mit aufgewirbelt wurden, dürfen wir die hier untersuchten Makroreste nicht nur auf die Zeit des Großereignisses datieren. Auffällig sind die sehr großen Vorkommen von Holzteilen, indet. Laubblättern als auch Wurzelstücken in allen Probentiefen. Diese stammen mit großer Wahrscheinlichkeit von einem durch ein Erdbeben verursachten Erdrutsch (Rechenmacher et al., 2022), der den Megaturbidit verursachte. Nur in diesem Bereich des Bohrkerns konnten *Pinus cembra*, *Betula* sp., *Populus* sp. als auch *Vaccinium myrtillus* nachgewiesen werden, diese scheinen früher häufiger gewesen zu sein als heute. Das Vorkommen von mehreren Insecta-Eiern deutet auf eine gute Ökologie des Sees hin.

In einer vorangegangenen Bachelorarbeit am Institut für Botanik der Universität Innsbruck von Cassandra Kremer (2023), welche einen tieferen Sedimentbohrkern aus dem See mit intaktem Sediment vor dem Megaturbidit untersuchte, konnte die Vegetation vor dem Großereignis analysiert werden. Neben einem großen Vorkommen von Koniferen gab es in dieser Zeit auch noch *Fagus sylvatica*, welcher aber anthropogen bedingt stark zurückgedrängt wurde und heute kaum mehr vorhanden ist (Adler & Mrkvicka, 2005).

Im nächsten Abschnitt des Bohrkerns (LMFZ-2), dem Hintergrund vor der Augstbachphase (Proben 77cm und 69cm), datiert auf ca. 1020–780 cal. BP, fällt zuerst die Zunahme von *Larix decidua* auf. Als Pionierpflanze nach Bergstürzen untermauert sie gut die Erdrutsch-These des Megaturbidits. Es wurden auch verkohlte Reste von *Poaceae* als auch *Sparganium* (eine Uferpflanze) gefunden, die auf Brände bis zum Ufer des Sees hindeuten. Die Ursachen könnten natürlichen Ursprungs wie zum Beispiel Blitzeinschläge sein, oder auf menschliche Aktivität zurückzuführen sein. In einer vorangegangenen Bachelorarbeit am Institut für Botanik in Innsbruck von Viktoria Wenger (2023), welche einen Bohrkern eines Moors in Seenähe untersuchte, konnten ebenfalls zu dieser Zeit verkohlte Reste, insbesondere von Kulturpflanzen wie Lein (*Linum usitatissimum*) und Getreide, nachgewiesen werden. Dies deutet auf vom Menschen verursachte Brände in Form von Brandwirtschaft hin (Reismann, 2020). In der >125µm und >250µm Fraktion waren sehr viele Daphnien und Wurmeier, die auf eine Oligotrophie des Sees hinweisen. Auch ein vermehrtes Aufkommen von Kryptogamen und aquatischen Pflanzen wird beobachtet. Die gute Erhaltung der Makroreste in dieser Zeit deutet auf eine ruhige und langsame Sedimentation hin.

Abschnitt LMFZ-3, der die Proben 67cm, 58cm, 50cm, 42cm und 34cm beinhaltet stellt die Augstbachphase dar (ca. 770 – 660 cal. BP), in der der Augstbach für den Salzabbau in den Altausseer-See geleitet wurde. Hier werden Wurzelreste als auch Holzteile, vor allem zum Ende der Phase hin, wieder dominanter. Da für den Salzabbau große Mengen Holz für Feuer und Stollen gebraucht wurden, deutet dieser Anstieg auch auf eine Zunahme des Salzabbaus hin. Während in der Mitte dieser Phase noch Ostracoda-Schalen gefunden wurden, nehmen die in LMFZ-2 noch vielzählig beobachteten Daphnien und Wurmeier, Indikatoren für eine gute Wasserqualität, ab, und verschwinden bis zum Ende der Augstbachphase komplett. Da es durch die Umleitung des Augstbachs immer wieder zu Salzeinträgen in den See kam, wurde der Augstbach so verlegt, dass er nun westlich des Sees vorbei in die Traun fließt.

Im obersten Abschnitt des Bohrkerns, LMFZ-4, dem Hintergrund nach der Augstbachphase (Proben 29cm, 21cm, 13cm und 5cm) der ab 590 cal. BP beginnt, sind kaum mehr Wurzel- oder Holzteile vorhanden, was darauf schließen lässt, dass die in LMFZ-3 gefundenen Holzteile und Wurzelreste tatsächlich durch den Eintrag des Augstbachs in den See kamen. *Abies alba* und *Juniperus* kommen nun wieder vor. Auch in dieser Phase sind viele Makrofossilreste sehr gut erhalten, was auf eine langsame Sedimentation hindeutet.

5 Schlussfolgerungen

Diese Bachelorarbeit kann nur einen anfänglichen Einblick in die Materie geben. Weitere Analysen von neuen Bohrkernen, die tiefer als die Megaturbidit-Schicht sind, als auch Untersuchungen von mehr Proben aus den schon entnommenen Bohrkernen sind notwendig, um ein genaueres Bild der historischen Pflanzendiversität rund um den Altausseer-See zu bekommen.

6 Literatur

- Adler, W., & Mrkvicka, A.C., 2005, *Natur-Wanderführer Salzkammergut*. Wien: Naturhistorisches Museum Wien
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Landesamtsdirektion, Referat Kommunikation Land Steiermark, 2022 "GIS Digitaler Atlas Steiermark." Landesentwicklung Steiermark, <https://gis.stmk.gv.at/wgportal/atlasmobile/map/Basiskarten/Kataster> (01.11.2024)
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Austrian Map, https://maps.bev.gv.at/#/center/13.497,47.723/zoom/7.8/basis/karte/compare/epo_1, (13.11.2024)
- Bouma, A.H., 1987, Megaturbidite: An acceptable Term? *Geo-Marine Letters*, 7, 63–67
- Deu, E., Hainzl, M., Schrempf, M., 2022, Microplastics in Alpine Lakes - Origin, Distribution, Solutions, Diplomarbeit an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein Landwirtschaft
- 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 11*, 39–53. Graz: Selbstverlag der Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft e.V.
- 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
- Friedel, W., 1985, Die Geologie des Sandlinggebietes (Altaussee, Steirisches Salzkammergut) mit besonderer Berücksichtigung der rezenten Tektonik. Dissertation (Universität Innsbruck)
- Frischmuth, F., 1946, Das Dorf Altaussee im Salzkammergut. Seine Landschaft, seine Wirtschaft und seine Menschen. Dissertation (Universität Innsbruck)
- Gill, R., 2014, *Modern Analytical Geochemistry*. London: Routledge.
- Götzinger, G., 1935, Das Ausseer Mittelgebirge. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Wien* 78, 227–234

- 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
- Kremer C., 2023, Floren- und Vegetationsgeschichte des Altausseer Sees und seiner Umgebung an Hand von Makrorestanalysen eines Sedimentbohrkerns, Bachelorarbeit Institut für Botanik der Universität Innsbruck
- Lamer, R., 1998, Das Ausseer Land. Geschichte und Kultur einer Landschaft. Styria, Graz
- Mandl, G. W., Husen, D. v. & Lobitzer, H., 1982, Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl
- Mirsch, I., 2013, Die Archäologie des mittleren Ennstales und steirischen Salzkammergutes. In: Suppan, W. (ed.) An der Wiege des Landes Steiermark. Die Chronik Pürgg-Trautenfels. Weishaupt, Gnas, 55–194
- 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. 31, Unpublished Report, University of Innsbruck

Prettenthaler, F., Podesser, A. & Pilger, H, 2010, Klimaatlas Steiermark Periode 1971–2000. Eine anwenderorientierte Klimatographie. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.

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

Reismann, B. A., 2020, Brandwirtschaft in der Steiermark. In: Malli, R., Moll, M. & Ruhri, A. (ed.) Der Wald als Lebens- und Wirtschaftsraum im pannonischen Raum. 47. Internationales Kulturhistorisches Symposium Mogersdorf in Bad Radkersburg, 3.–6. Juli 2018. Graz

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, 27–40. Graz: Amt der Steiermärkischen Landesregierung.

Salzwelten GmbH, 2021, <https://www.salzwelten.at/de/altaussee/entdecken-erleben> (22.12. 2024)

Walter Munk Foundation for the Oceans, 2024, Altaussee Project Description
<https://www.waltermunkfoundation.org/altaussee> (12.11.2024)

Wenger, V., 2023, Vegetation Reconstruction by Plant Macrofossils for the ca. 1200-year-old Altaussee Mire (Styria, Austria), Bachelorarbeit Institut für Botanik der Universität Innsbruck

ZAMG, 2002, Klimadaten von Österreich 1971-2000 https://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm (13.12.2024)

7 Anhang

Im Anhang befinden sich

... die Rohdaten der Makrorestfossilien aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich). (Anhang 1)

...die Rohdaten der Makrorestfossilien aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich), normiert auf 5cc (Anhang 2)

...3 Schautafeln (Anhang 3 bis 5):

-Schautafel 1: Makrofossilien von Bäumen und Sträuchern aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich)

-Schautafel 2: Makrofossilien von Gräser, Kryptogamen und Aquatischen Pflanzen aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich)

-Schautafel 3: Makrofossilien Fauna aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich)

...Detailergebnisse Altersmodell des Sedimentbohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich) (Anhang 6)

...Ergebnisse micro-XRF Analyse für die Probe aus 34cm Tiefe aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich) (Anhang 7)

Anhang 1: Rohdaten der Makrorestfossilien aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Tiefe [cm]	5	13	21	29	34	42	50	58	67	69	77	88	108	128
Volumen [cc]	3,00	3,5	3,50	3,00	4,00	3,50	3,50	4,00	5,00	5,50	6,50	3,00	3,00	3,00
Pinus cembra Nadel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Abies alba Nadel	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Larix decidua Nadel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	3	0	0
Juniperus sp. Knospe	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Juniperus sp. Nadel	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pinaceae Knospenschuppe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Pinaceae Periderm	0	0	0	0	3	1	0	0	0	1	0	1	0	0
Betula sp. Fruchtflügel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Populus sp. Anthere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Rinde indet.	0	0	2	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0
Substantia lignosa (Holzteile)	2	0	0	0	12	0	2	0	0	1	1	14	8	19
Vaccinium myrtillus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Ericaceae Wurzel	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Poaceae Blatt (vk)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Laubblatt indet.	3	0	0	1	0	0	1	0	2	0	3	10	14	11
Potamogeton sp. Blatt	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Potamogeton sp. Samen	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sparganium sp. Samen (vk)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pteridophyta Wedelteil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Amblystegiaceae Stängel	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Bryophyta Blättchen	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Bryophyta Sporangium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Bryophyta Stängel	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	4
Vegetative indet.	1	0	0	0	4	4	2	0	0	1	0	5	1	8
Wurzel indet.	0	0	0	0	35	4	9	5	4	0	0	2	5	5
Wurzel indet. Ektomykorrhiza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Coeloptera Elytra & Chitin	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1
Diptera Flügel	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta Chitin indet.	0	1	0	0	0	0	1	0	2	4	2	0	0	0
Insecta/Oligochaeta indet. Eier	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ostracoda Schalen	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Sialis Mandibel & Abdomen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Trichoptera Frontoclypeus&Chitin	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
Minerogene Partikel	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastik-Kontamination	5	0	4	1	0	0	4	3	7	2	0	1	3	0

Anhang 2: Rohdaten der Makrorestfossilien aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich), normiert auf 5cc

Tiefe [cm]	5	13	21	29	34	42	50	58	67	69	77	88	108	128
Volumen [cc]	5													
Pinus cembra Nadel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Abies alba Nadel	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Larix decidua Nadel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	0	0
Juniperus sp. Knospe	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Juniperus sp. Nadel	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pinaceae Knospenschuppe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Pinaceae Periderm	0	0	0	0	4	1	0	0	0	1	0	2	0	0
Betula sp. Fruchtflügel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Populus sp. Anthere	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
Rinde indet.	0	0	3	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0
Substantia lignosa (Holzteile)	3	0	0	0	15	0	3	0	0	1	1	23	13	32
Vaccinium myrtillus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Ericaceae Wurzel	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Poaceae Blatt (vk)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Laubblatt indet.	5	0	0	2	0	0	1	0	2	0	2	17	23	18
Potamogeton sp. Blatt	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Potamogeton sp. Samen	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sparganium sp. Samen (vk)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Pteridophyta Wedelteil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Amblystegiaceae Stängel	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Bryophyta Blättchen	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Bryophyta Sporangium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Bryophyta Stängel	5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	7
Vegetative indet.	2	0	0	0	5	6	3	0	0	1	0	8	2	13
Wurzel indet.	0	0	0	0	44	6	13	6	4	0	0	3	8	8
Wurzel indet. Ektomykorrhiza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Coeloptera Elytra & Chitin	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Diptera Flügel	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecta Chitin indet.	0	1	0	0	0	0	1	0	2	4	2	0	0	0
Insecta/Oligochaeta indet. Eier	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Ostracoda Schalen	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
Sialis Mandibel & Abdomen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Trichoptera Frontoclypeus&Chitin	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
Minerogene Partikel	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plastik-Kontamination	8	0	6	2	0	0	6	4	7	2	0	2	5	0

Anhang 3: Schautafel 1 – Makrofossilien von Bäumen und Sträuchern aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Schautafel 1 Makrofossilien von Bäumen und Sträuchern



- 1: *Juniperus* sp. Knospe (42cm)
2: *Abies alba* Nadel (13cm)
3: *Betula* sp. Fruchtfügel (88cm)
4: *Pinaceae* Knospenschuppe (69cm)
5: *Populus* sp. Anthere (108cm)
6: *Larix decidua* Nadel (77cm)
7: *Vaccinium myrtillus* Blatt (128cm)
8: *Ericaceae* Wurzel (58cm)
9: *Pinaceae* Periderm (69cm)
10: *Juniperus* sp. Nadel (5cm)
11: *Pinus cembra* Nadel (128cm)
12: *Abies alba* Nadel (128cm)

Anhang 4: Schautafel 2 – Makrofossilien von Gräser, Kryptogamen und Aquatischen Pflanzen aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Schautafel 2
Makrofossilien von Gräsern, Kryptogamen und
Aquatischen Pflanzen



1: *Potamogeton* sp. Samen (13cm)

2: *Poaceae* Blatt verkohlt (69cm)

3: *Pteridophyta* Wedelteil (77cm)

4: *Amblystegiaceae* (Bryophyta) Stängel (34cm)

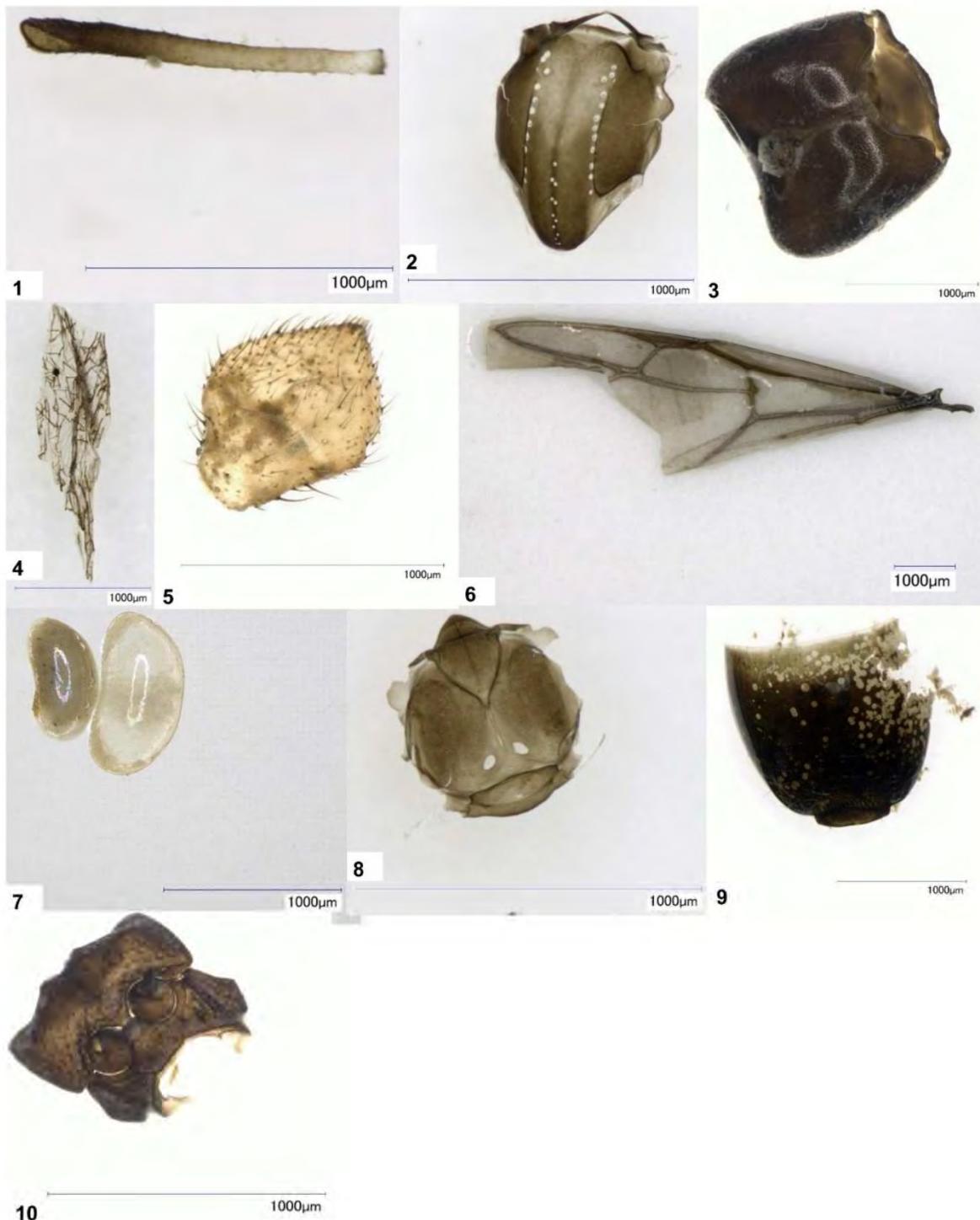
5: *Amblystegiaceae* (Bryophyta) Detail der Blättchen (34cm)

6: *Potamogeton* sp. Blatt (42cm)

7: *Sparganium* sp. Samen verkohlt (77cm)

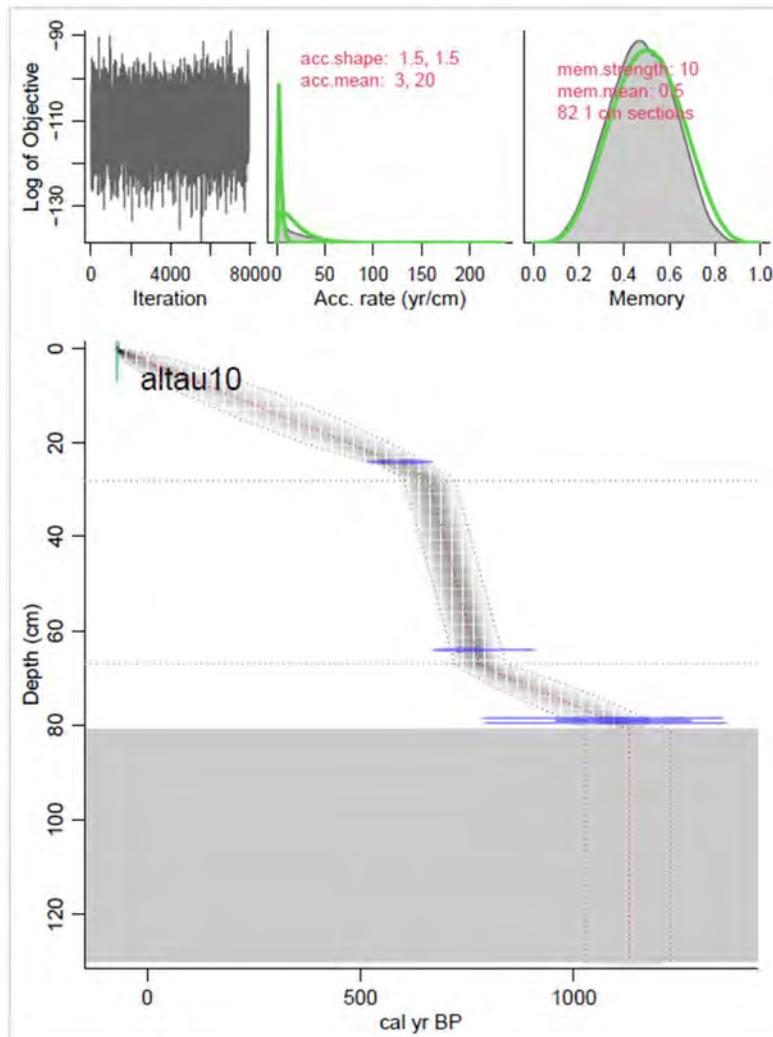
Anhang 5: Schautafel 3 – Makrofossilien Fauna aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

Schautafel 3 Makrofossilien Fauna



- 1: Insecta chitin (69cm)
2: Trychoptera chitin (69cm)
3: Coleoptera chitin (77cm)
4: Diptera Flügel (5cm)
5: Insecta chitin (77cm)
6: Diptera Flügel (21cm)
7: Octocoda Schale (50cm)
8: Trichoptera Larvenkopf mit Frontoclypeus (69cm)
9: Sialis Abdomen (69cm)
10: Coleoptera chitin (128cm)

Anhang 6: Detailergebnisse Altersmodell des Sedimentbohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).



	ALT20-01	ALT20-02	sediment depth: ALT20-02 --> for age model					
Foam	4	2,5	min	max	median	mean	LMFZ	
	5	3,5	1	-68	3	-51	-46	Background
	13	11	8,5	60	268	153	156	Background
	21	17	14,5	209	436	319	320	Background
	29	27	24,5	541	658	590	593	Background
	34	33	30,5	610	729	665	666	Augstbachphase
	42	41,5	39	636	754	692	692	Augstbachphase
	50	50	47,5	662	780	718	718	Augstbachphase
	58	58	55,5	686	805	742	743	Augstbachphase
	67	68	65,5	717	836	774	773	Augstbachphase
	69	70,3	67,8	731	853	788	788	Background pre Augstbach
	77	79	76,5	925	1117	1022	1020	Background pre Augstbach
	88	89	86,5	1030	1226	1132	1129	Megaturbidite
	108	109	106,5	1030	1226	1132	1129	Megaturbidite
	128	129	126,5	1030	1226	1132	1129	Megaturbidite

Anhang 7: Ergebnisse micro-XRF Analyse für die Probe aus 34cm Tiefe aus dem Sediment-Bohrkern ALT20-01 aus dem Altausseer-See (Steiermark, Österreich).

