

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Palynologische Untersuchung des Fohramoos in
Vorarlberg“

verfasst von / submitted by

Lisa Schmidinger BSc BEd MSc

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Education (MEd)

Wien, 2021 / Vienna 2021

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 199 502 523 02

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund
UF Biologie und Umweltkunde Lehrverbund
UF Physik Lehrverbund

Betreut von / Supervisor:

ao. Univ.-Prof. Dipl.-Geol. Dr. Christa Hofmann

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Dr. Karin Hain

Danksagung

Das Zustandekommen der Masterarbeit in dieser Form wäre ohne die erhaltene Unterstützung nicht möglich gewesen.

Bei Martin Bösch will ich mich dafür bedanken, dass er meinen Vorschlag, das Fohramoos zu untersuchen, mit Begeisterung aufgenommen und in Vorarlberg alles dafür Nötige in die Wege geleitet hat.

Stephan Glatzel danke ich für die anregende Diskussion der Ergebnisse.

Bei Markus Grabher bedanke ich mich für die Durchführung der Bohrung.

Karin Hain danke ich für die kritische Auseinandersetzung mit der Fragestellung und den Ergebnissen.

Bei Christa Hofmann bedanke ich mich für die Einführung in die Pollenpräparation und den Umgang mit dem Rasterelektronenmikroskop sowie für die Hilfe bei der Bestimmung der Pollenkörner.

Stefan Lehr danke ich für die Probenaufbereitung für die C-14-Datierung und seine geduldigen und freundlichen Erklärungen.

Bei Peter Steier möchte ich mich dafür bedanken, dass er die Zusammenarbeit mit der Isotopenphysik und damit die Kombination von Pollenanalyse und C-14-Datierung ermöglicht hat.

Dem Land Vorarlberg danke ich für die Finanzierung der C-14-Datierung.

Durch die vielfältige positive Resonanz wurde die Arbeit zum Vergnügen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1. Fragestellung und aktueller Forschungsstand	2
1.1 Fragestellung.....	2
1.2 Bisherige palynologische Untersuchungen des Fohramoos.....	2
2. Das Fohramoos	5
2.1 Die Entstehung des Fohramoos	5
2.2 Das Fohramoos heute	6
3. Methoden	7
3.1 Bohrung, Transport und Lagerung	7
3.2 Pollenanalyse	8
3.2.1 Probenaufbereitung.....	8
3.2.2 Zählung	10
3.2.3 SEM	10
3.3 C-14-Datierung.....	11
3.3.1 Übersicht über die erforderlichen Schritte	11
3.3.2 Maßnahmen zur Vermeidung von Kontamination	12
3.3.3 Auswahl und Aufbereitung des Probenmaterials	12
3.3.4 Graphitisierung.....	15
4. Ergebnisse	17
4.1 Pollenanalyse	17
4.2 C-14-Datierung.....	26
5. Diskussion.....	28
5.1 Qualität der Ergebnisse der Pollenanalyse.....	28
5.2 C-14-Daten	28
5.3 Vergleich mit der bisherigen Forschung im Fohramoos	30
5.3.1 Profil von 1931	30
5.3.1 Profil von 1988.....	33

5.4 Einordnung in die Abschnitte des Postglazials nach Firbas.....	33
6. Conclusio	38
Literaturverzeichnis.....	40
Anhang	42

Zusammenfassung

Für die vorliegende Arbeit wurde ein 3,5 m langer Moorbohrkern aus dem Fohramoos (1150 m ü. M., 2393 mm Jahresniederschlag) im Norden Vorarlbergs in Österreich untersucht. Das Fohramoos ist ein Moorkomplex. Die Bohrung erfolgte in einem degradierten, aber noch renaturierungsfähigen Hochmoorbereich.

Es wurden 12 Pollenproben jeweils zweimal auf 300 Pollenkörner ausgezählt. Dabei wurden 17 Gattungen und 3 weiter gefasste Gruppen unterschieden. Der Fokus lag auf Baumpollen. Zusätzlich wurden 8 C-14-Datierungen durchgeführt.

Die unterste C-14-Datierung markiert den Beginn des Moorwachstums und ergab ein Alter von 8561BC bis 8305BC. Die Torfakkumulationsrate ist zu Beginn gering und in der Mitte des Bohrkerns größer. In neuerer Zeit ist die Akkumulationsrate wieder geringer. Die Abnahme der Akkumulationsrate beginnt um 1000BC. Die erst in jüngerer Zeit angelegten Entwässerungsgräben kommen daher als Ursache für primär nicht erfolgte Torfbildung nicht in Frage. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass in den letzten 3000 Jahren gebildeter Torf sekundär durch Störung des Hochmoores wieder zersetzt wurde.

Die Ergebnisse der Pollenanalyse folgen im Wesentlichen den schematisierten Kurven nach Firbas für die Region. *Betula* spielte jedoch immer eine untergeordnete Rolle. *Abies* und *Picea* dominieren das Profil. *Fagus* und Eichenmischwaldelemente erreichen nicht die Häufigkeiten, die von niederen Lagen bekannt sind. *Sphagnum* weist ein starkes Maximum zwischen 3000BC und 2000BC auf. Das dürfte im Fohramoos eine Zeit intensiven Hochmoorwachstums gewesen sein.

1. Fragestellung und aktueller Forschungsstand

1.1 Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit wird die Entstehungsgeschichte des Moorkomplexes Fohramoos im Norden Vorarlbergs, Österreich anhand einer Pollenanalyse sowie anhand von C-14-Datierungen untersucht. Durch die Pollenanalyse werden Rückschlüsse auf die in der Vergangenheit am Standort und in der Umgebung vorherrschende Vegetation gezogen.

Das erhaltene Pollenprofil wird mit bisherigen palynologischen Untersuchungen im Fohramoos und bestehenden Erkenntnissen zur Vegetationsgeschichte der Region verglichen. Dabei wird die besondere Lage des Fohramoos (1150 m ü. M., 2393 mm Jahresniederschlag) berücksichtigt.

Die zusätzliche C-14-Datierung des Bohrkerns ermöglicht die absolute zeitliche Einordnung der Ergebnisse und erlaubt eine Aussage über die Änderung der Torfzuwachsrate mit der Zeit.

Über eine Datierung an der Basis des Torfkörpers wird der Beginn der Torfbildung im Fohramoos ermittelt.

Die der Arbeit zugrunde liegenden Fragen sind:

Welche Pflanzengruppen sind in den verschiedenen Tiefen wie stark vertreten?

Inwiefern unterscheidet sich das Pollendiagramm aus dem Fohramoos von schematisierten Pollendiagrammen der Region?

Wie gleichmäßig erfolgte die Torfbildung?

Wann setzte die Torfbildung ein?

1.2 Bisherige palynologische Untersuchungen des Fohramoos

Die erste pollenanalytische Untersuchung eines Profils aus dem Fohramoos wurde 1931 unter dem Titel „Die Waldgeschichte Vorarlbergs“ von Helmut Gams publiziert. Gams fasst darin die Erkenntnisse aus 15 Pollenprofilen aus Vorarlberg und der Umgebung zusammen. Das Profil vom Fohramoos (Abb. 10) reicht bis in eine Tiefe von vier Metern und beginnt direkt über dem Moränenmaterial. An der

Basis des Torfkörpers herrscht mit 90 % *Pinus* vor. *Pinus* wird langsam seltener, während *Corylus* kurzzeitig über 40 % erreicht. Um drei Meter Tiefe herum treten Eichenmischwaldelemente auf. Ab dann dominieren *Picea* und *Abies* das Pollenspektrum und Pollenkörner von *Fagus* machen etwa 10 % aus (Gams, 1931). Die Spirken (*Pinus mugo* subsp. *uncinata*), die dem Fohramoos seinen Namen verliehen, sieht Gams als eine neuere Erscheinung. Er ist außerdem der Meinung, dass die meisten Hochmoore Vorarlbergs ihren Anfang nicht in der Eiszeit genommen haben. Sie seien „viel später durch die Versumpfung farnreicher Nadelwälder entstanden“ (Gams, 1931).

1976 bezieht sich Walter Krieg auf die Publikation von Gams (Krieg et al., 1976). „Nach diesem Profil scheint über der Moräne sofort die Föhrenzeit zu beginnen: Die Bildung des Hochmoores hat demnach 4 m unter seiner heutigen Oberfläche vor vielleicht 9000 Jahren begonnen“. Krieg vergleicht das Profil des Fohramoos mit einem Moor aus dem Schwarzwald und einem schematisierten Pollendiagramm von Mitteleuropa. Er kommt zu dem Schluss, dass das Pollenprofil aus dem Fohramoos gut mit den Ergebnissen der Forschung in anderen Teilen Europas übereinstimmt (Krieg et al., 1976). Es gibt allerdings einige

„Besonderheiten, die mit der Seehöhe und den hohen Niederschlägen im Fohramoos zusammenhängen: So war die erst in der Wärmezeit erscheinende Buche im Fohramoos nie stark vertreten, der Eichen-Mischwald ist auf die Mittlere Wärmezeit beschränkt (wo er immerhin 50% aller Pollen lieferte), die Hasel auf die Frühe Wärmezeit, die Föhre dagegen war bereits seit 10 000 Jahren, als die Moorbildung im Fohramoos allem Anschein nach begann, einer der wichtigsten Waldbäume. Den hohen Niederschlägen hat die Tanne seit 5000 Jahren ihre große Bedeutung zu verdanken, während die Fichte eher untergeordnet blieb“ (Krieg et al., 1976).

Der geringe Anteil an *Fagus* in den jüngeren Torfen wird mit der Höhenlage des Fohramoos erklärt (Krieg et al., 1976).

1988 wurde von Friedrich Kral ein neues Pollenprofil vom Fohramoos erstellt (Kral, 1993). Es reicht bis in eine Tiefe von 140 cm hinab (Abb. 1). In dieser Tiefe dominieren *Abies* und *Fagus*. *Picea* spielt nur eine untergeordnete Rolle. *Alnus*

war am Moorrand häufig. In 40 cm Tiefe ändert sich die Pollenzusammensetzung abrupt. *Abies* und *Fagus* nehmen ab, *Picea* dominiert das Bild. Kral führt das auf Rodungstätigkeit zurück.

„Auf dem stellenweise stark vernäßten Moor (Cyperaceae) breitet sich die Latsche aus, am Moorrand die Birke. In der Umgebung folgt auf eine Phase geringer Bewaldung (Waldweide) später eine Phase der Waldregeneration“ (Kral, 1993).

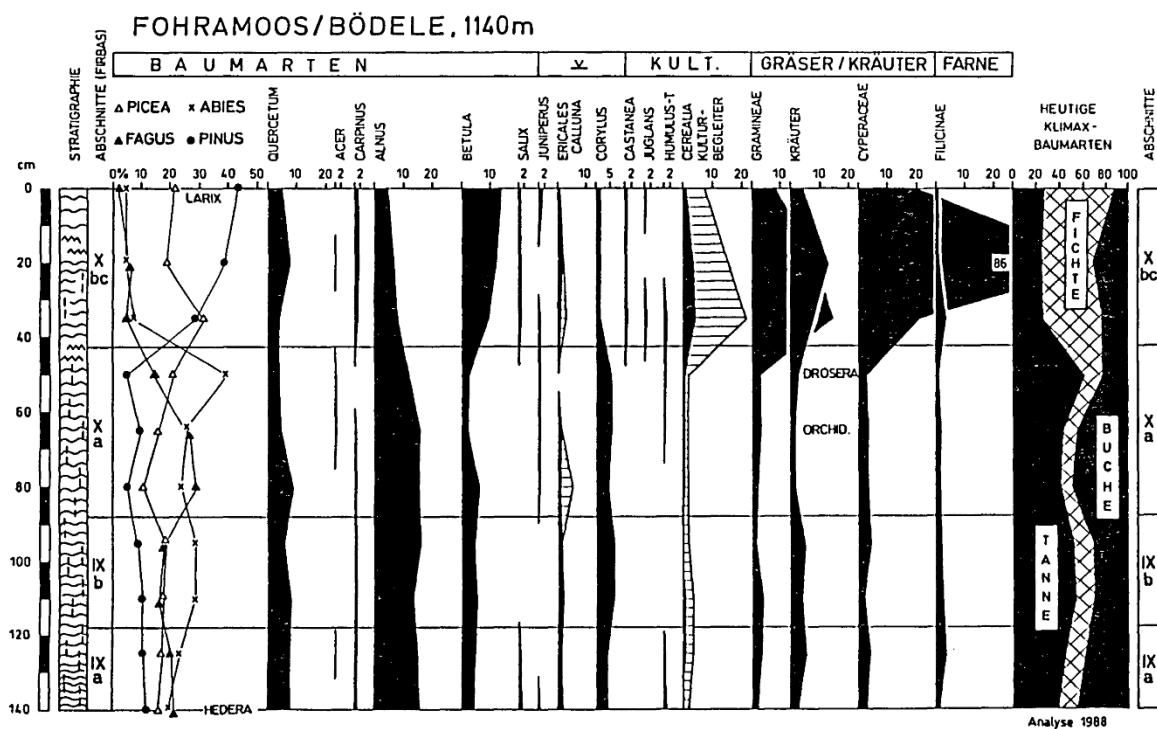


Abb. 1: Zweites Pollenprofil aus dem Fohramoos ((Kral, 1993).

Die bisherigen palynologischen Untersuchungen gehen also auf zwei Bohrungen zurück. Die erste wurde bereits vor 1931 durchgeführt. Die zweite produzierte einen Kern von 140 cm Länge, der nur den jüngeren Abschnitt der Moorentwicklung wiedergibt. Eine C-14-Datierung des Torfs aus dem Fohramoos gab es bisher nicht.

2. Das Fohramoos

2.1 Die Entstehung des Fohramoos

Das Fohramoos befindet sich östlich von Dornbirn in einer Höhe von ungefähr 1150 m ü. M. auf einer vergleichsweise ebenen Terrasse nördlich des Hochälpelekkopfs (Abb. 2). Diese Terrasse trägt den Namen Bödele.

Das Bödele liegt an der Grenze zwischen der Molassezone im Norden und der Flyschzone im Süden (Farasin, 1993). Im Westen liegt das Rheintal, im Osten der Bregenzerwald. Diese beiden Täler waren während der letzten Eiszeit von Gletschern, respektive dem Rheingletscher und dem Bregenzerachgletscher, erfüllt. Das Gelände am Bödele wurde durch die Eismassen abgeschliffen und mit Moränenmaterial verfüllt (Friebe, 2012).



Abb. 2: Lage des Fohramoos in Vorarlberg.

Gegen Ende der Eiszeit bildete sich an der Stelle des heutigen Fohramoos eine eisfreie Stelle. Eingesperrt durch die beiden Gletscher entstand hier über der Grundmoräne ein Eisrandsee. In weiterer Folge lagerte sich über der Grundmoräne Seeton ab. Dieses Material bildete eine wasserstauende Schicht, über der sich das Fohramoos entwickeln konnte (Friebe, 2012).

Für allgemeine Informationen zur Entstehung und Einteilung von Mooren sei an dieser Stelle auf die entsprechende Literatur verwiesen (Göttlich, 1990; Jungmeier

& Werner, 2004). Eine ausführliche Behandlung von Mooren in ihrer Bedeutung für die Paläobotanik findet sich in der „Einführung in die Paläobotanik“ (Klaus, 1987). Für Informationen zur Entstehung und Vegetation von Mooren speziell im Ostalpenraum siehe Krisai (1998).

2.2 Das Fohramoos heute

Das Fohramoos ist ein Spirkenhochmoor. 18,35 ha liegen auf dem Gebiet der Gemeinde Schwarzenberg (Zöhrer & Staudinger, 2009) und 13,35 ha auf dem Gebiet der Gemeinde Dornbirn (Grabherr & Staudinger, 2008).

Es handelt sich dabei um einen Moorkomplex aus Hoch- und Niedermooren, Moorwäldern, Streuwiesen und Magerrasen, der in mehrere Teile gegliedert ist (Friebe, 2012). Das Zentral- und das Südmoos im Westen und das Fohramoos und Randmoos im Osten sind durch einen Fichtenwald getrennt (Bösch, 2020). Das Moor liegt auf einer Höhe von ca. 1150 m, der Torfkörper erstreckt sich über eine Höhendifferenz von etwa 50 m (Krieg et al., 1976). Das Gebiet ist von mehreren natürlichen Bächen durchschnitten (Friebe, 2012). Unterhalb des Moores liegt der Bödelesee, ein kleiner, künstlich angelegter Stausee (Bösch, 2020).

Bemerkenswert ist der hohe Niederschlag. Mit 2393 mm Jahresniederschlag ist die Messstation am Bödele die niederschlagsreichste Messstation außerhalb des Hochgebirges in Österreich (Bösch, 2020). Grund dafür sind die Westwinde, die sich am Bödele stauen (Krieg et al., 1976).

Die Umgebung besteht aus Wirtschaftswald und Weiden. Im Süden verläuft eine Schipiste. Ein unbefestigter Wanderweg und eine Langlaufloipe führen durch das Fohramoos. Der hohe Besucherdruck verursacht Schäden an der empfindlichen Moorvegetation (Bösch, 2020). Im Winter 2020/2021 wurden im Rahmen einer Moorrenaturierung in der Vergangenheit angelegte Entwässerungsgräben wieder geschlossen.

Erste Naturschutzgedanken zum Fohramoos gab es bereits 1902 durch die Moorforscher Hans und Peter Schreiber (Schreiber, 1910; Tiefenthaler, 2015). Auch der Pollenforscher Helmut Gams sprach sich bereits früh für eine Unterschutzstellung des Moores aus (Gams, 1931). Tatsächlich dazu gekommen

ist es aber erst 1974. In der Zwischenzeit erfolgten zahlreiche Eingriffe. In geringem Ausmaß wurde Torf gestochen. Entwässerungsgräben wurden angelegt und Leitungen verlegt. Am nördlichen Rand wurde eine Feriensiedlung gebaut (Bösch, 2020). Heute ist das Fohramoos Natura-2000-Gebiet von überregionaler Bedeutung (Tiefenthaler, 2015).

3. Methoden

3.1 Bohrung, Transport und Lagerung

Die Probennahme erfolgte nach einer besonders regenreichen Woche Anfang September 2020 mit Hilfe eines Kammerbohrers, der halbzylindrische Kerne mit ca. 5 cm Durchmesser und 50 cm Länge produziert. Es wurden im Vorfeld an verschiedenen Stellen im Moorkomplex Bohrversuche durchgeführt. Teilweise wurde mit dem Bohrgestänge ohne Bohrkammer nur die Tiefe sondiert. An mehreren Stellen wurde bereits in einer Tiefe von 2,5 m Sediment oder ein Hindernis angetroffen.

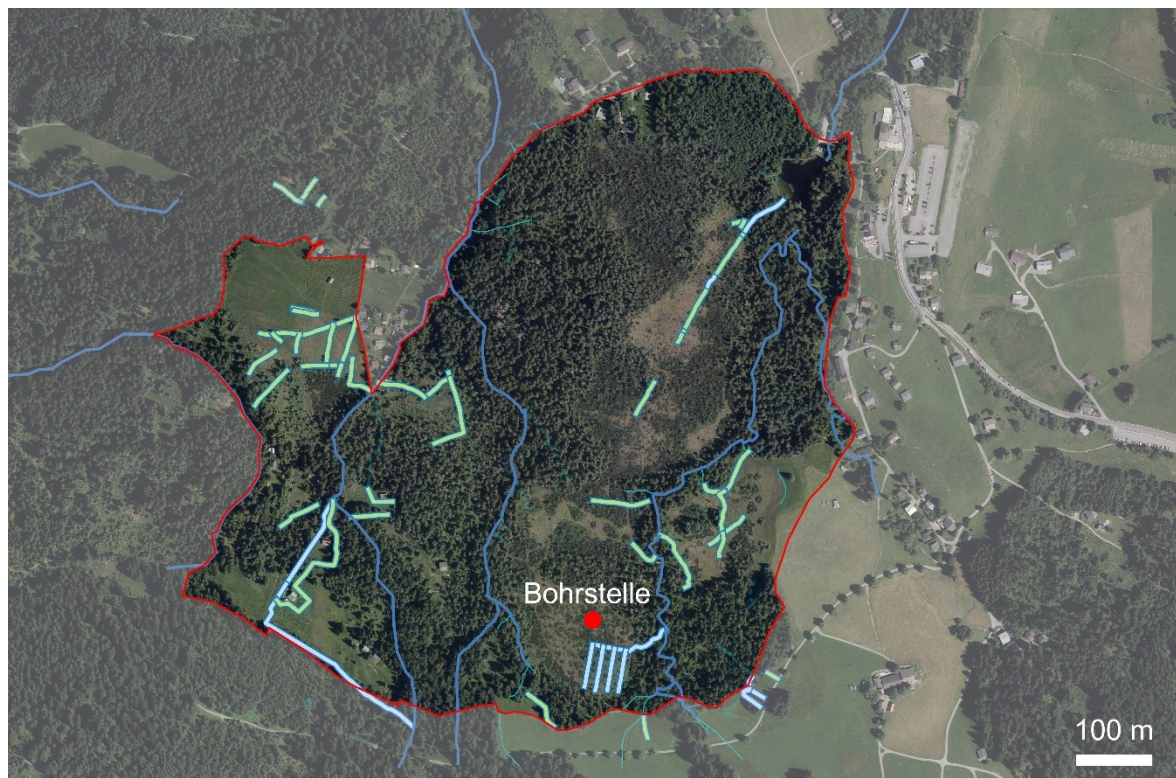


Abb.3: Karte des Fohramoos. Die rote Linie ist die Grenze des Naturschutzgebietes. Bachläufe sind blau eingezeichnet, künstlich angelegte Entwässerungsgräben hellblau und hellgrün.

Datenquelle: Land Vorarlberg – data.vorarlberg.gv.at

Der in der vorliegenden Arbeit untersuchte Bohrkern stammt von einer Stelle, an der erst in 3,5 m Tiefe Sediment angetroffen wurde. Die Höhe beträgt 1173 m ü. M., die Koordinaten der Entnahmestelle sind 47,4175498°N, 9,8037946°O. Die Bohrstelle ist in die Karte in Abb. 3 eingezeichnet. An dieser Stelle ist das Hochmoor degradiert, aber noch renaturierungsfähig (Klarica & Glaser, 2015). Südlich davon liegt ein System von Entwässerungsgräben. Das wurde in Anbetracht der vergleichsweise großen erreichten Tiefe in Kauf genommen.

Der Bohrer wurde vor jeder Bohrung mit Wasser gereinigt. Die einzelnen Stücke des Bohrkerns wurden fotografiert, in Frischhaltefolie gewickelt, in passende, längs halbierte Kunststoffrohre gelegt und beschriftet.

Der Bohrkern wurde noch am Tag der Entnahme eingefroren und bis zur Bearbeitung tiefgekühlt gelagert.

3.2 Pollenanalyse

3.2.1 Probenaufbereitung

Bei der Pollenanalyse wurden 12 möglichst gleichmäßig über den Bohrkern verteilte Proben ausgewertet. Sie sind in Tab. 1 aufgelistet.

Die Proben wurden mit einem Messer aus dem leicht angetauten Bohrkern entnommen. Dann wurden sie auf eine leicht von der Standardprozedur abweichende Weise präpariert.

In der Standardprozedur werden zuerst mit einer Alkalibehandlung Huminsäuren entfernt, die sich bei der Zersetzung des organischen Materials gebildet haben. Alkalien wie z.B. NaOH reagieren mit den Huminsäuren unter Bildung von Wasser und Salzen. Durch anschließendes Waschen mit Wasser werden diese Salze gelöst und entfernt. Die Probe muss für die nachfolgende Acetolyse wasserfrei sein, da die Acetolysemischung aus neun Teilen konzentrierter Essigsäure und einem Teil konzentrierter Schwefelsäure bei Kontakt mit Wasser explodieren kann. Zu diesem Zweck wird einmal mit konzentrierter Essigsäure gewaschen (Jones & Rowe, 1999).

Bei der Acetolyse wird Zellulose in Zellulose-Triacetat umgewandelt, das in konzentrierter Essigsäure löslich ist und somit ausgewaschen wird. Außerdem

werden die blassen Pollenexinen bräunlich gefärbt. Sie können so besser unter dem Lichtmikroskop untersucht werden. Die Acetolyse ist nur bei subfossilen Proben notwendig, da die Zellulose in älteren Proben bereits abgebaut ist (Jones & Rowe, 1999).

Probenbezeichnung	Tiefe (cm)
POF	1 – 3
P10	15,5 – 17,5
P21	64 – 66
P9	85 – 87
P8	125 – 127
P7	131,5 – 133,5
P11	162 – 163
P17	203 – 204,5
P13	239 – 240
P15	274 – 275
P2	302 – 303
P1	347 – 350

Tab. 1: Übersicht über die entnommenen Proben für die Pollenanalyse.

Diese Standardprozedur wird am Institut für Paläontologie der Universität Wien in leicht abgewandelter Form angewandt. Im Folgenden werden die tatsächlich durchgeführten Maßnahmen beschrieben.

P1 enthielt Sediment und wurde einer Vorbehandlung unterzogen. Ein Test auf Karbonate fiel negativ aus. Um Silikate aus der Probe zu entfernen, wurde diese mit Flusssäure (HF) in einem Becher aus Polyethylen angesetzt und mehrere Tage unter gelegentlichem Rühren stehen gelassen. Dann wurde der Inhalt des Bechers in einen Behälter mit mehreren Litern Wasser gefüllt. Nach einer Dreiviertelstunde wurde der Inhalt des Behälters vorsichtig dekantiert. Der verbleibende Rest wurde fünf Minuten in Salzsäure gekocht.

Alle anderen Proben wurden mit 50 ml Wasser aufgeschlämmt und unter Rühren durch ein engmaschiges Küchensieb gegossen. Der im Sieb zurückgebliebene Anteil wurde noch einmal unter Rühren mit der erhaltenen Flüssigkeit übergossen.

Die groben Komponenten wurden für eventuelle spätere Untersuchungen aufgehoben. Die Flüssigkeit mit dem feinen Material wurde in einem Becherglas etwa eine Dreiviertelstunde stehen gelassen und dann dekantiert. Mit dem Bodensatz wurde ein Zentrifugenröhrchen mit einem Fassungsvermögen von 10

ml etwa zu einem Drittel gefüllt. Dazu wurden 3 – 4 cm einer kaltgesättigten Natriumchloratlösung, 1 cm konzentrierte Essigsäure und 5 Tropfen konzentrierte Salzsäure gegeben. Diese Mischung wurde unter wiederholtem Rühren mit einem Glasstab 5 Minuten im kochenden Wasserbad erhitzt.

Danach wurde die Probe zentrifugiert, dekantiert und dreimal mit Wasser und ein letztes Mal mit konzentrierter Essigsäure gewaschen. Für die Acetolyse wurden in das Zentrifugenröhrchen 10 ml einer Mischung aus 9 Teilen konzentrierter Essigsäure und einem Teil konzentrierter Schwefelsäure gefüllt. Wieder wurde die Mischung für 5 Minuten unter Rühren im kochenden Wasserbad erhitzt. Danach wurde die Probe zentrifugiert, dekantiert, einmal mit konzentrierter Essigsäure und dreimal mit Wasser gewaschen. Nach dem letzten Durchgang wurden die Zentrifugenröhrchen verkehrt in den Halter gesteckt, so dass das Restwasser auslaufen konnte. Das Probenmaterial wurde mit Glyzerin versetzt und in beschriftete Röhrchen abgefüllt.

3.2.2 Zählung

Für das Auszählen wurden mit dem Probenmaterial in Glyzerin Linien von etwa 1 mm Breite auf dem Objektträger gezogen. Von jeder Probe wurden zwei unabhängige Zählungen von 300 Pollenkörnern durchgeführt. Die Manipulation der Pollenkörner erfolgte dabei mit einem an der Spitze einer Nadel befestigten Haar. Die zwei Zählungen einer Probe wurden stets an verschiedenen Tagen durchgeführt. Für die Bestimmung der Pollenkörner wurde der „Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete“ (Beug, 2004) herangezogen. Ausgewählte Pollenkörner verschiedener Gruppen wurden mit dem Durchlichtmikroskop fotografiert.

3.2.3 SEM

Für die SEM-Bilder wurden einzelne Pollenkörner ausgewählt und in einem Glyzerintropfen auf einem neuen Objektträger gesammelt. In die SEM-Stubs wurde mit einer Nadel ein in vier Quadranten unterteiltes Quadrat geritzt. Unter dem Auflichtmikroskop wurden mit einer Glaspipette kleine Tropfen Ethanol in die

Quadranten gesetzt. Mit einem Haar wurden die Pollenkörner in diese Tropfen transferiert.

Nach dreimaligem Sputtern mit Gold wurden die so präparierten Pollenkörner im SEM fotografiert.

Für detailliertere Informationen zu dieser und weiteren Methoden sei auf das Buch „Illustrated Pollen Terminology“ (Halbritter et al., 2018) verwiesen.

3.3 C-14-Datierung

3.3.1 Übersicht über die erforderlichen Schritte

Mit der C-14-Datierung kann festgestellt werden, wann eine organische Probe aufgehört hat, Kohlenstoff mit der Atmosphäre auszutauschen. Im Falle von Torfmoosen ist das der Zeitpunkt des Absterbens der Pflanze. C-14 wird durch kosmische Strahlung in der oberen Atmosphäre aus N-14 ständig nachgebildet. Weil das C-14 laufend zerfällt und neu gebildet wird, stellt sich in der Atmosphäre ein mehr oder weniger konstanter C-14-Gehalt ein. Das CO₂ aus der Atmosphäre wird von Pflanzen aufgenommen. In dem abgestorbenen Teil eines Torfmooses wird das C-14 dann mit einer Halbwertszeit von rund 5730 Jahren immer weniger. Aus dem Verhältnis von C-14 zu C-13 und C-12 kann auf das Alter des Materials geschlossen werden (Bowman, 1990).

Für tiefer gehende Informationen sei an dieser Stelle das Buch „Radiocarbon Dating“ von Sheridan Bowman (1990) empfohlen.

Für die C-14-Datierung sind aufwändige Vorbereitungsarbeiten notwendig. Die Proben müssen unter Einhaltung strenger Maßnahmen zur Kontaminationsvermeidung entnommen und weiterverarbeitet werden, da die C-14-Konzentration in der Probe sehr klein ist. Nach einer Säure-Base-Säure-Behandlung wird das Probenmaterial getrocknet, gewogen und graphitisiert, um anschließend mittels Beschleunigermassenspektrometrie (AMS) gemessen zu werden.

Die C-14-Datierung wurde mit dem Teilchenbeschleuniger VERA („Vienna Environmental Research Accelerator“) der Fakultät für Physik in Wien

durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung der Funktionsweise des Teilchenbeschleunigers findet sich bei Steier, 2000.

Die Probenaufbereitung für die C-14-Datierung wurde im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit durchgeführt und soll daher im Folgenden näher erläutert werden.

3.3.2 Maßnahmen zur Vermeidung von Kontamination

Bei der Aufbereitung der Proben für die C-14-Datierung wurde darauf geachtet, eine Kontamination mit Kohlenstoff zu vermeiden. Kohlenstoff kann z.B. von den Händen, von Verpackungsmaterial wie Papier oder von anderen Proben stammen. Es wurde stets mit Handschuhen gearbeitet. Die Handschuhe wurden nach jeder Probe gewechselt. Als Arbeitsunterlage, für die Abdeckung von Behältern und als Verpackung für Werkzeuge diente Aluminiumfolie.

Pinzetten und Mikrolöffel wurden vor der Verwendung im Ultraschallbad gereinigt und dann bei 550 °C in den Trockenschrank gelegt. Bei dieser Temperatur verbrennt eventuell noch anhaftender Kohlenstoff. Bechergläser werden zuerst im Laborgeschirrspüler gewaschen und dann ebenfalls der Behandlung im Trockenschrank unterzogen.

Wenn möglich, wurde bei jedem Arbeitsschritt mit der ältesten Probe begonnen, da bei dieser eine Kontamination mit C-14 aus einer anderen Probe das Alter am stärksten beeinflussen würde.

3.3.3 Auswahl und Aufbereitung des Probenmaterials

Für die C-14-Datierung wurden 8 Proben genommen. Diese sind in Tab. 2 aufgelistet. Sie wurden in den meisten Fällen direkt unter und im Fall der untersten Probe VERA-7187 und der obersten Probe VERA-7194 direkt über einer Probe für die Pollenuntersuchung genommen.

Für die unterste Probe VERA-7187 wurde eine größere Menge entnommen, da aufgrund des höheren anorganischen Anteils ein geringerer Kohlenstoffgehalt zu

erwarten war. Abb. 4 zeigt die Verteilung der Proben für Pollenanalyse und C-14-Datierung über den Bohrkern.

Probenbezeichnung	Tiefe im Bohrkern (cm)	verwendete Menge (mg)
VERA-7187	346 – 347	212
VERA-7188	303 – 304	104
VERA-7189	240 – 241	120
VERA-7190	163 – 164	101
VERA-7191	127 – 128	95
VERA-7192	66 – 67	90
VERA-7193	17,5 – 18,5	96
VERA-7194	0 – 1	84

Tab. 2: Bezeichnung der 8 Proben, Entnahmetiefe und die im zweiten Arbeitsschritt eingewogene Menge.

Die Proben wurden mit einem Messer aus rostfreiem Edelstahl aus dem gefrorenen Bohrkern gebrochen und in mit Uhrgläsern abgedeckten Bechergläsern bei 60 °C einen Tag im Umluftschrank getrocknet.

Am darauffolgenden Tag wurden eventuell enthaltene Wurzeln und besonders große Pflanzenstücke entfernt. Von dem verbleibenden zerstoßenen Material wurden mit einer Laborwaage jeweils ungefähr 100 mg in kleine Bechergläser eingewogen. Im Fall der untersten Probe VERA-7187 wurde etwa die doppelte Menge verwendet.

Darauf folgte die Säure-Base-Säure-Behandlung. Mit der ersten Säurebehandlung werden Sediment und andere kontaminierende Karbonate entfernt, durch die Base organische Säuren wie z. B. Huminsäuren und mit der zweiten Säurebehandlung atmosphärisches CO₂ aus dem vorangegangenen Schritt (Brock et al., 2010).

Die Bechergläser wurden mit jeweils 20 ml 1-molarer Salzsäure aufgefüllt, mit einem Uhrglas abgedeckt und eine Stunde lang bei 60 °C in den Trockenschrank gestellt.

Nach einer Stunde wurden die größeren Stücke mit einem Glasstab zerstoßen. Die Proben wurden in Zentrifugenröhrchen aus Teflon umgefüllt und so lange zentrifugiert, dekantiert und mit Wasser gewaschen, bis ein pH-Wert von 5 erreicht war.

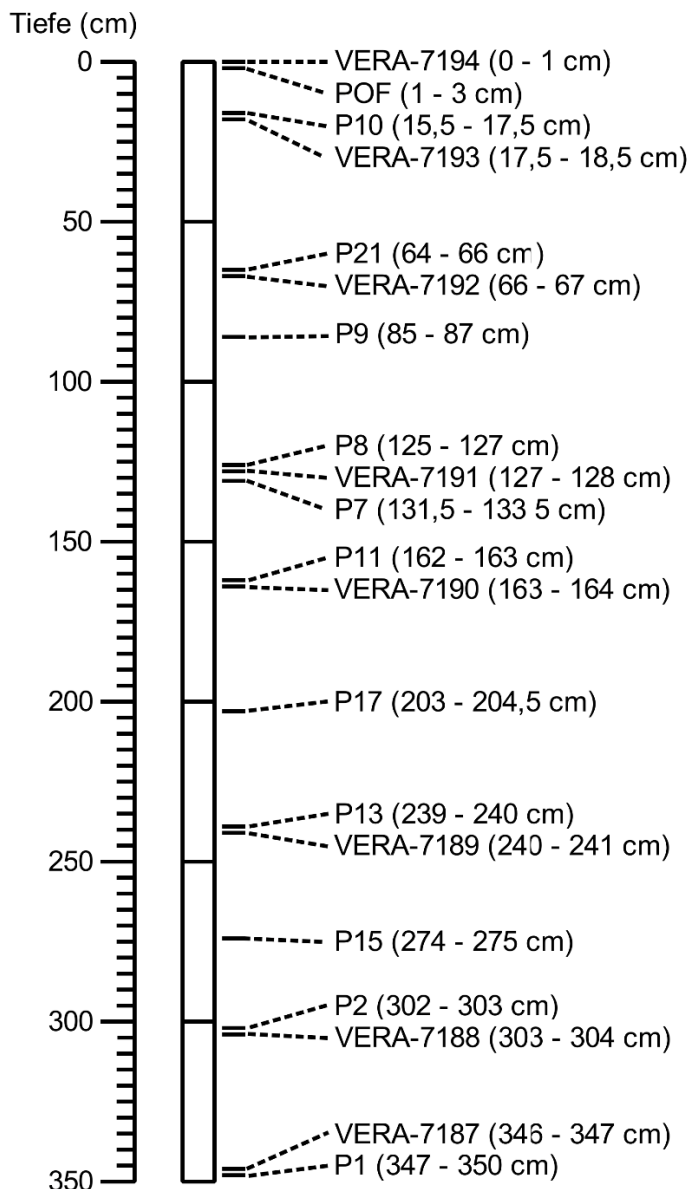


Abb. 4: Skizze des Bohrkerns mit den Entnahmetiefen der Proben für die Pollenanalyse (P...) und die C-14-Datierung (VERA-...).

Im nächsten Schritt wurden die Proben mit 0,1-molarer Natronlauge versetzt und in den Trockenschrank gestellt. Nach einer halben Stunde wurden jene Proben, die sich bereits stark verfärbt hatten, zentrifugiert, dekantiert und neu mit Natronlauge aufgegossen. Jene Proben, die wenig Verfärbung zeigten, blieben inzwischen im Trockenschrank. Nach insgesamt einer Stunde und 20 Minuten wurden alle Proben noch einmal zentrifugiert, dekantiert und neu mit der Natronlauge aufgegossen. Weitere 40 Minuten später, also nach insgesamt 2 Stunden in Natronlauge, wurde wieder zentrifugiert und dekantiert. Weil sich das Probenmaterial schlecht absetzte, wurde es angesäuert. Dazu wurden die Zentrifugenröhrchen je zur Hälfte mit 1-molarer Salzsäure und Wasser aufgefüllt.

Die Proben wurden so lange zentrifugiert, dekantiert und mit Wasser aufgegossen, bis wieder pH-Wert 5 erreicht war. Dann wurden die Zentrifugenröhrchen zum zweiten Mal mit 1-molarer Salzsäure aufgefüllt und für eine Stunde bei 60 °C in den Trockenschrank gestellt. Nach mehrmaligem Waschen bis pH-Wert 5 war die Säure-Base-Säure-Behandlung abgeschlossen. Die Proben wurden bis zum übernächsten Tag in den Zentrifugenröhrchen mit einer lockeren Abdeckung aus Aluminiumfolie im Trockenschrank getrocknet.

3.3.4 Graphitisierung

Im nächsten Schritt wurde das Probenmaterial für die Graphitisierung vorbereitet.

Dazu wurden mit einer Präzisionswaage jeweils ungefähr 4,5 bis 5,5 mg Material in kleine Zinnschiffchen eingewogen. Nur von der untersten Probe VERA-7187 wurden je Schiffchen 10 bis 12 mg eingewogen. Für jede Probe wurden vier solche Schiffchen angefertigt. Die Schiffchen wurden mit einer Pinzette zugefaltet und zu kleinen Quadern gepresst. Diese Quader wurden in die Graphitisierungsanlage gefüllt. Sie sind in Tab. 3 aufgelistet. Die vier Portionen einer Probe folgten jeweils direkt aufeinander. Die ersten drei wurden zum Spülen der Anlage verwendet, also um das verbliebene CO₂ aus der Verbrennung der vorangegangenen Proben zu entfernen. Erst das vierte wurde graphitisiert.

Bei der Graphitisierung wird das Probenmaterial verbrannt. Das Wasser wird mittels Kühlung aus den Verbrennungsgasen entfernt. Überschüssiger Sauerstoff wird durch Kupfer entfernt. Die restlichen Verbrennungsgase durchlaufen eine Anordnung, die die Gase verschieden schnell passieren lässt. Am schnellsten geht das für N₂, dann kommt CO₂ und schließlich H₂O. Nur das CO₂ wird in einer Zeolithfalle zwischengespeichert. N₂ und H₂O werden nicht benötigt. Zuletzt wird aus dem CO₂ in einem Reaktor unter Zugabe von H₂ und mittels Eisen als Katalysator elementarer Kohlenstoff gewonnen (Wacker et al., 2010).

Der so erhaltene elementare Kohlenstoff wurde von Hand unter Einhaltung der bereits beschriebenen Maßnahmen gegen Kontamination in sogenannte Targets gepresst.

Nr.	Gewicht (mg)	Bezeichnung
5	11,63	Pre-V7187
6	10,07	Pre-V7187
7	10,63	Pre-V7187
8	10,03	V7187
10	4,85	Pre-V7188
11	5,34	Pre-V7188
12	4,91	Pre-V7188
13	5,33	V7188
15	5,10	Pre-V7189
16	4,79	Pre-V7189
17	5,53	Pre-V7189
18	5,39	V7189
25	4,92	Pre-V7191
26	4,95	Pre-V7191
27	4,93	Pre-V7191
28	5,00	V7191
30	5,29	Pre-V7192
31	5,22	Pre-V7192
32	5,62	Pre-V7192
33	5,44	V7192
35	5,24	Pre-V7193
36	5,53	Pre-V7193
37	5,18	Pre-V7193
38	4,76	V7193
4	4,56	Pre-V7190/2
5	4,72	Pre-V7190/2
6	4,44	Pre-V7190/2
7	4,95	V7190/2
9	5,04	Pre-V7194
10	5,44	Pre-V7194
11	5,21	Pre-V7194
12	5,10	V7194

Tab. 3: Befüllung der Graphitisierungsanlage mit dem Probenmaterial. Es wurde in zwei Durchgängen graphitisiert, daher kommen in der Tabelle einige Positionen in der Graphitisierungsanlage zweimal vor. Nach jeder graphitisierten Probe wurde außerdem ein Leerdurchgang eingeschoben, bei dem kein Probenmaterial verbrannt wurde.

4. Ergebnisse

4.1 Pollenanalyse

Die Ergebnisse der Pollenzählung sind in Tab. 4 bis Tab. 7 angeführt. Das Schattenrissdiagramm in Abb. 5 gibt einen Überblick über die Häufigkeiten.

	P1-1	P1-2	P2-1	P2-2	P15-1	P15-2
<i>Abies</i>	9	7	3	4	56	53
<i>Picea</i>	3	6	10	4	33	35
<i>Pinus</i>	239	236	37	44	27	27
<i>Fagus</i>	2	2	1	-	7	4
<i>Quercus</i>	-	-	1	9	6	6
<i>Tilia</i>	-	-	14	22	9	10
<i>Acer</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Betula</i>	3	-	4	4	1	1
<i>Corylus</i>	3	4	114	105	41	48
<i>Carpinus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Alnus</i>	-	2	35	23	22	25
<i>Ulmus</i>	-	-	12	33	23	22
<i>Salix</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Fraxinus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Juglans</i>	-	-	-	-	-	-
Ericaceae	-	-	3	-	-	-
<i>Drosera</i>	18	21	1	-	-	-
Poaceae	1	1	3	1	11	8
Farne	2	11	45	38	22	24
<i>Sphagnum</i>	3	-	-	-	7	9
Varia	16	10	17	13	35	28
gesamt	300	300	300	300	300	300

Tab. 4: Gezählte Pollenkörner der Proben P1, P2 und P15 im unteren Viertel des Bohrkerns.

Die unterste Probe P1 aus einer Tiefe von 350 bis 347 cm beginnt mit 79 % *Pinus*. Daneben ist das einzige Auftreten von *Drosera* im ganzen Profil auffällig (7 %).

In P2 bei 303 bis 302 cm hat *Pinus* stark auf 14 % abgenommen. Stattdessen gipfelt *Corylus* mit 37 %. Auch die Farne erreichen mit 14 % ihre größte Häufigkeit. *Alnus* (10 %), *Ulmus* (8 %) und *Tilia* (6 %) nehmen zu.

In P15 (275 bis 274 cm) ist eine deutliche Änderung der Verhältnisse sichtbar. *Abies* (18 %) und *Picea* (11 %) nehmen zu. *Pinus* ist weiter zurückgegangen und erreicht nur mehr 9 %. *Corylus* hat weiter abgenommen, ist mit 15 % aber immer noch stark. Auch die Farne gehen zurück (8 %). *Alnus* und *Ulmus* zeigen mit

jeweils 8 % ähnliche Häufigkeiten wie in der vorangegangenen Probe. *Fagus* und die Poaceae nehmen leicht zu, bleiben aber untergeordnet.

	P13-1	P13-2	P17-1	P17-2	P11-1	P11-2
<i>Abies</i>	93	88	96	109	134	129
<i>Picea</i>	54	71	81	69	95	87
<i>Pinus</i>	10	12	10	12	10	13
<i>Fagus</i>	17	13	12	28	8	2
<i>Quercus</i>	11	14	11	17	2	2
<i>Tilia</i>	12	21	14	5	2	3
<i>Acer</i>	-	-	1	2	-	-
<i>Betula</i>	3	6	3	5	2	1
<i>Corylus</i>	19	13	15	15	5	5
<i>Carpinus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Alnus</i>	20	5	20	22	13	13
<i>Ulmus</i>	16	5	6	4	2	-
<i>Salix</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Fraxinus</i>	1	-	-	-	-	-
<i>Juglans</i>	-	-	-	-	-	-
Ericaceae	8	5	-	-	2	2
<i>Drosera</i>	-	-	-	-	-	-
Poaceae	16	21	18	6	3	9
Farne	7	9	3	3	4	3
<i>Sphagnum</i>	-	-	1	-	12	22
Varia	13	17	9	3	6	9
gesamt	300	300	300	300	300	300

Tab. 5: Gezählte Pollenkörner der Proben P13, P17 und P11 im zweituntersten Viertel des Bohrkerns.

In P13 (240 bis 239 cm) setzen sich die Entwicklungen aus P15 fort. *Abies* (30 %) und *Picea* (21 %) nehmen weiter zu. *Pinus* ist weiter zurückgegangen und wird erst in der zweitobersten Probe wieder über 5 % hinauskommen. *Fagus*, *Quercus*, *Tilia*, *Corylus*, *Alnus* und *Ulmus* tragen jeweils 4 bis 6 % bei. Die Poaceae erreichen mit 6 % einen vorläufigen kleinen Gipfel. Die Farne fallen unter 3 %, über die sie nicht mehr hinauskommen werden.

P17 (204,5 bis 203 cm) ist P13 ähnlich. *Abies* ist weiter auf 34 % gestiegen, *Picea* weiter auf 25 %. *Quercus* gipfelt mit 5 %. *Ulmus* fällt unter 2 % und wird nicht mehr darüber hinauskommen. Die Poaceae nehmen wieder ab.

In P11 (163 bis 162 cm) gipfeln *Abies* (44 %) und *Picea* (30 %). Alle anderen Gruppen bleiben untergeordnet. *Sphagnum* steigt auf 6 %.

	P7-1	P7-2	P8-1	P8-2	P9-1	P9-2
<i>Abies</i>	96	106	59	53	77	75
<i>Picea</i>	89	88	60	54	41	35
<i>Pinus</i>	10	8	3	3	12	3
<i>Fagus</i>	36	33	30	40	28	41
<i>Quercus</i>	8	10	5	6	4	9
<i>Tilia</i>	7	4	3	3	1	-
<i>Acer</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Betula</i>	3	-	4	4	8	5
<i>Corylus</i>	5	7	14	11	16	16
<i>Carpinus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Alnus</i>	15	19	28	39	25	22
<i>Ulmus</i>	3	-	1	1	2	1
<i>Salix</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Fraxinus</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Juglans</i>	-	-	-	-	-	-
Ericaceae	-	-	3	1	-	1
<i>Drosera</i>	-	-	-	-	-	-
Poaceae	3	2	1	-	12	19
Farne	3	3	3	5	3	3
<i>Sphagnum</i>	10	12	79	73	61	60
Varia	12	8	7	7	10	10
gesamt	300	300	300	300	300	300

Tab. 6: Gezählte Pollenkörner der Proben P7, P8 und P9 im zweitobersten Viertel des Bohrkerns.

In P7 (133,5 bis 131,5 cm) nimmt *Abies* wieder ab, ist mit 34 % aber immer noch dominant. *Picea* bleibt bei 30 %. *Fagus* nimmt zu (12 %).

In P8 (127 bis 125 cm) sinkt *Abies* weiter auf 19 %. *Picea* fällt auf 13 %. Dafür gipfelt *Sphagnum* mit 25 %. *Fagus* bleibt konstant bei 12 %. *Corylus* erreicht 4 %. *Alnus* steigt stark auf 11 %.

P9 (87 bis 85 cm) ist P8 ähnlich. Bestehende Trends setzen sich fort. *Abies* ist mit 25 % nach wie vor hoch. *Picea* sinkt auf 13 %. *Sphagnum* ist mit 20 % immer noch häufig. *Fagus* bleibt weiter konstant bei 12 %. Die Kurve von *Corylus* (5 %) ist leicht ansteigend - ein Trend, der sich bis zur Oberflächenprobe fortsetzen wird. *Alnus* liegt bei 8 %. Die Poaceae steigen leicht auf 5 %.

In P21 (66 bis 64 cm) ist *Abies* wieder auf 19 % gesunken. *Picea* bleibt bei 13 %. *Fagus* gipfelt mit 16 %. *Alnus* steigt stark auf 14 %, während die Ericaceae mit nicht einmal 3 % ihre größte Häufigkeit erreichen. *Sphagnum* hat mit 9 % stark abgenommen, ist aber immer noch vergleichsweise hoch.

In P10 (17,5 bis 15,5, cm) gipfelt *Alnus* bei 17 %. *Fagus* ist mit 16 % immer noch häufig. *Sphagnum* bleibt konstant (10 %). *Abies* (13 %) und *Picea* (6 %) haben sich untergeordnet. *Pinus* (10 %) steigt wieder.

	P21-1	P21-2	P10-1	P10-2	POF-1	POF-2
Abies	51	61	40	40	9	3
Picea	37	40	14	21	53	45
Pinus	12	14	29	29	57	67
Fagus	47	48	49	45	21	9
Quercus	11	7	12	5	4	1
Tilia	5	-	-	2	-	-
Acer	-	-	-	-	-	-
Betula	3	1	14	6	3	-
Corylus	17	22	20	19	25	19
Carpinus	-	-	-	3	-	1
Alnus	40	44	50	53	8	9
Ulmus	1	1	1	1	1	1
Salix	-	-	-	-	-	-
Fraxinus	-	-	-	-	-	-
Juglans	-	-	-	-	-	1
Ericaceae	9	7	5	8	3	4
Drosera	-	-	-	-	-	-
Poaceae	16	11	6	24	94	115
Farne	6	3	8	3	6	6
Sphagnum	31	24	30	29	3	2
Varia	14	17	22	12	13	17
gesamt	300	300	300	300	300	300

Tab. 7: Gezählte Pollenkörner der Proben P21, P10 und POF im oberen Viertel des Bohrkerns.

Zwischen P10 und der Oberflächenprobe kommt es zu einer starken Veränderung. Die Oberfläche POF (3 bis 1 cm) ist charakterisiert durch Poaceae, die mit 35 % hier ihre größte Häufigkeit erreichen. *Pinus* steigt auf 21 % und *Picea* auf 16 %. *Corylus* hat mit einem langsamen Anstieg 7 % erreicht. *Abies* (2 %), *Fagus* (5 %), *Alnus* (3 %) und *Sphagnum* (1 %) ordnen sich unter.

Abb. 6 zeigt lichtmikroskopische Aufnahmen von ausgewählten Pollenkörnern. Die Abb. 7 bis 9 zeigen rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen.

Die Pollenkörner wurden unter dem Lichtmikroskop bestimmt und gezählt. Im Folgenden sollen anhand der Aufnahmen einige Merkmale beschrieben werden, anhand derer die Pollenkörner unterschieden wurden. Für die Bestimmung wurde

Fohrhamos, 1173 m ü. M., 47,4175498°N, 9,8037946°O

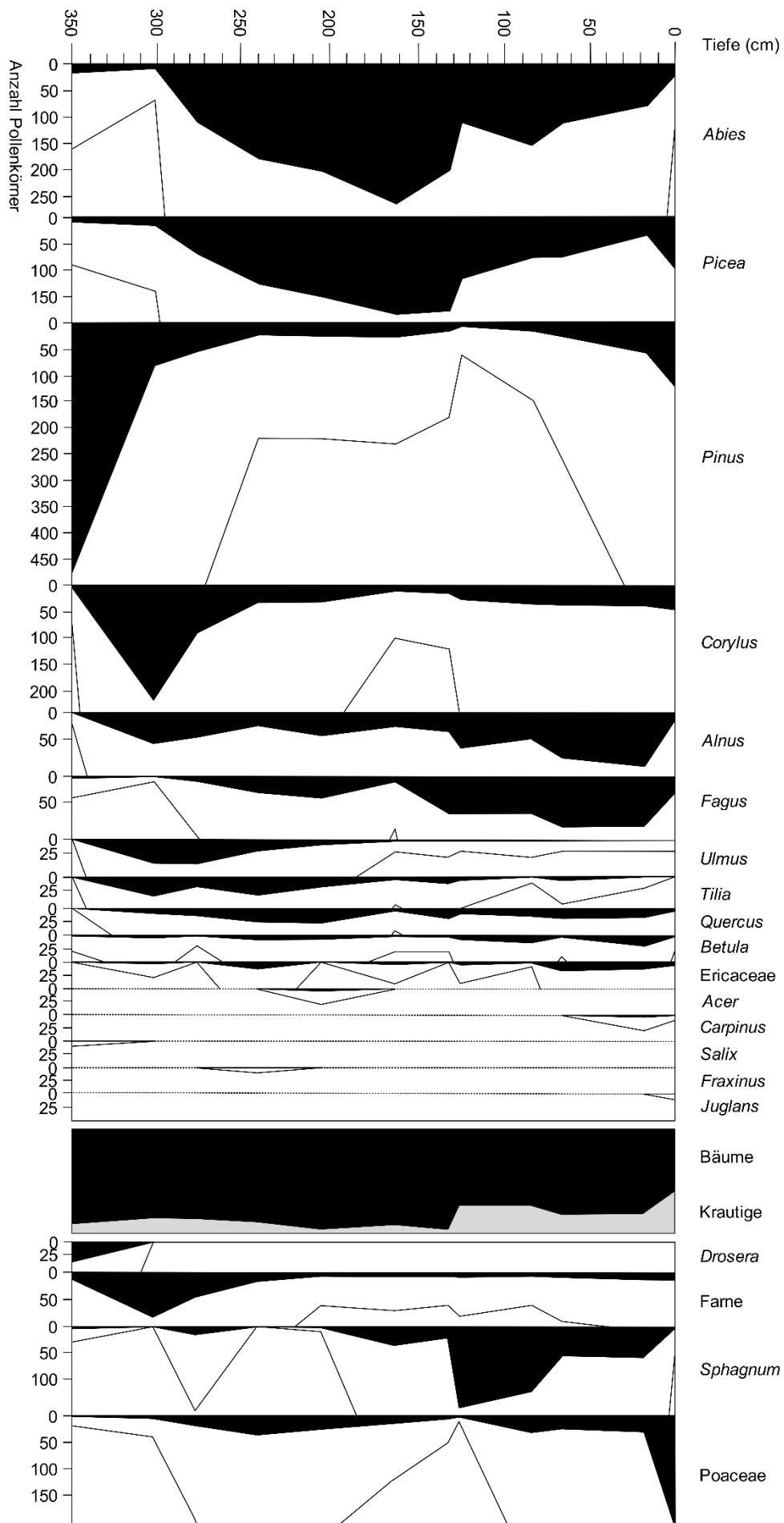


Abb. 5: Schattenrissdiagramm der untersuchten Pflanzengruppen. Die dünne Linie gibt jeweils den zehnfachen Wert der tatsächlich gezählten Pollenkörner wieder.

der „Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete“ (Beug, 2004) zu Rate gezogen.

Es wurden drei Gruppen von vesiculaten Pollenkörnern unterschieden: *Abies*, *Picea* und *Pinus*. *Pinus* (Abb. 6 E und Abb. 7 A) ist mit einer Länge von 60 bis 100 µm kleiner als die beiden anderen. *Abies* und *Picea* sind in der Regel über 100 µm lang. Die Luftsäcke von *Abies* (Abb. 6 A-C) sind mehr als halbkugelig und deutlich gegen den Pollenmittelteil abgesetzt. Die Exine des Pollenmittelteils ist dorsal und lateral verdickt. Dies zeigt sich als eine Art dunkler Kamm. Die Luftsäcke von *Picea* (Abb. 6 D) sind dagegen halbkugelig. Während die Luftsäcke bei *Pinus* und *Abies* zur Ventralseite hin verschoben sein können, hat *Picea* eher eine gestreckte Gestalt (Beug, 2004).

Die Pollenkörner von *Fagus* (Abb. 6 F und Abb. 7 D-F) sind kugelig und tricolporat. In Polaransicht sind sie kreisförmig oder leicht dreieckig, wobei die Aperturen dann an den Spitzen des Dreiecks sitzen (Beug, 2004).

Die Form der Pollenkörner der mitteleuropäischen Vertreter von *Quercus* (Abb. 6 G-H und Abb. 7 G-J) sind in ihrer Form variabel. Typisch sind abgeplattete Pole, was dem Pollenkorn ein tonnenförmiges bis rechteckiges Aussehen gibt. *Quercus* ist tricolpat. Die Colpen klaffen normalerweise (Beug, 2004).

Tilia-Pollenkörner (Abb. 6 I und Abb. 7 K-L) sind oblat und in Polaransicht ungefähr kreisförmig. Die Colpen der tricolporaten Pollenkörner sind kurz. An den Aperturen ist die Endexine verdickt und nach innen vorgewölbt (Beug, 2004).

Die Pollenkörner von *Acer* (Abb. 6 J-K und Abb. 8 A-B) sind tricolpat, prolat bis sphäroidisch und striat (Beug, 2004).

Betula (Abb. 6 L) ist triporat und unterscheidet sich von *Corylus* durch das Vestibulum, die deutliche Vorwölbung der Exine in der Umgebung der Poren (Beug, 2004).

Die Pollenkörner von *Corylus* (Abb. 6 M und Abb. 8 C-D) sind ebenso triporat wie jene von *Betula*. Sie sind aber abgeflacht und in der Polaransicht dreieckig. Es gibt kein Vestibulum. Die Poren sitzen an den Spitzen des Dreiecks (Beug, 2004).

Das Pollenkorn von *Alnus* (Abb. 6 N-O und Abb. 8 E-G) ist abgeflacht. *Alnus* hat meist 4 bis 5 Poren, selten 3 oder 6. Die Poren sitzen in Polaransicht an den

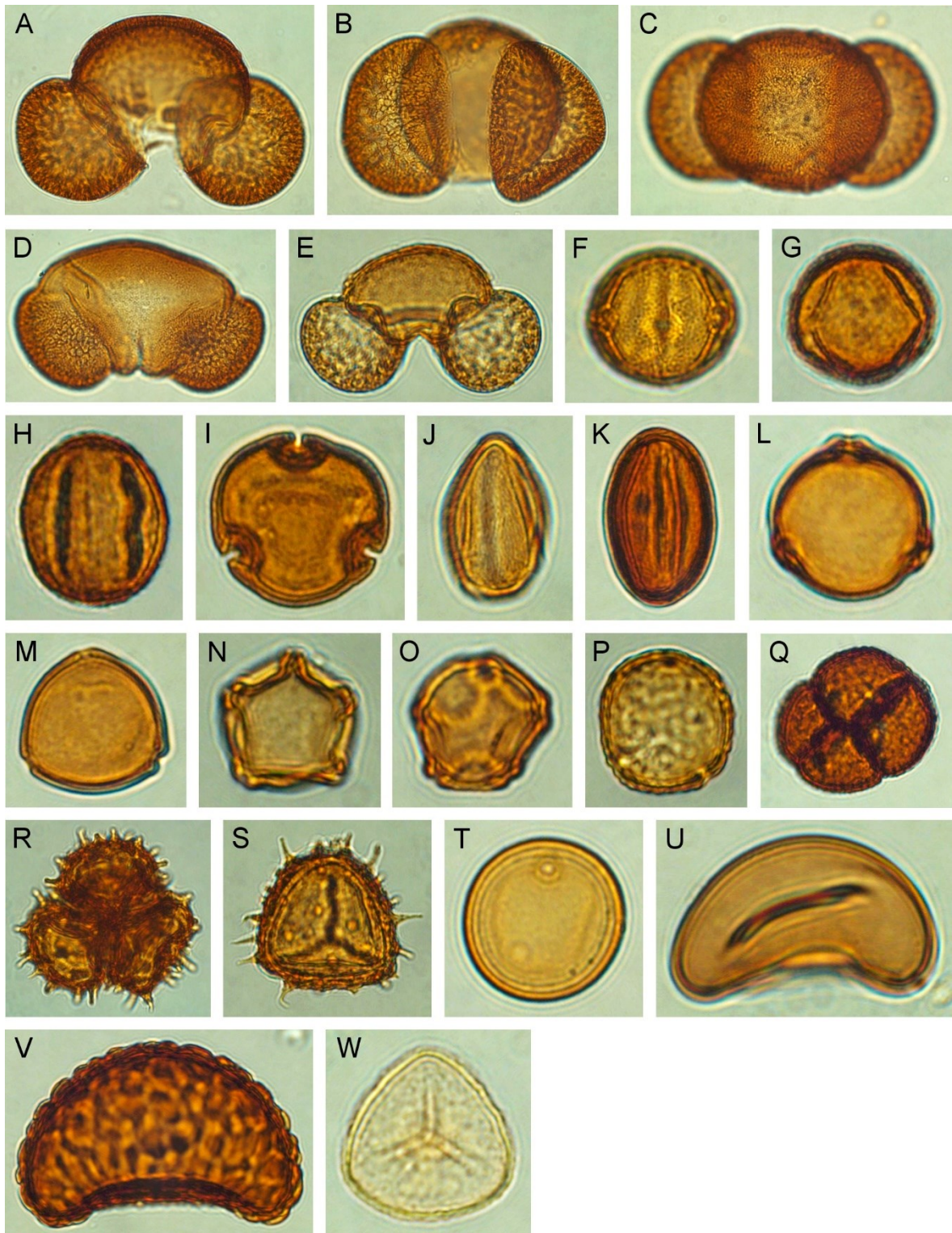


Abb. 6: Lichtmikroskopische Aufnahmen ausgewählter Pollenkörner. A-C: *Abies*, D: *Picea*, E: *Pinus*, F: *Fagus*, G-H: *Quercus*, I: *Tilia*, J-K: *Acer*, L: *Betula*, M: *Corylus*, N-O: *Alnus*, P: *Ulmus*, Q: *Ericaceae*, R-S: *Drosera*, T: *Poaceae*, U-V: Farne, W: *Sphagnum*.

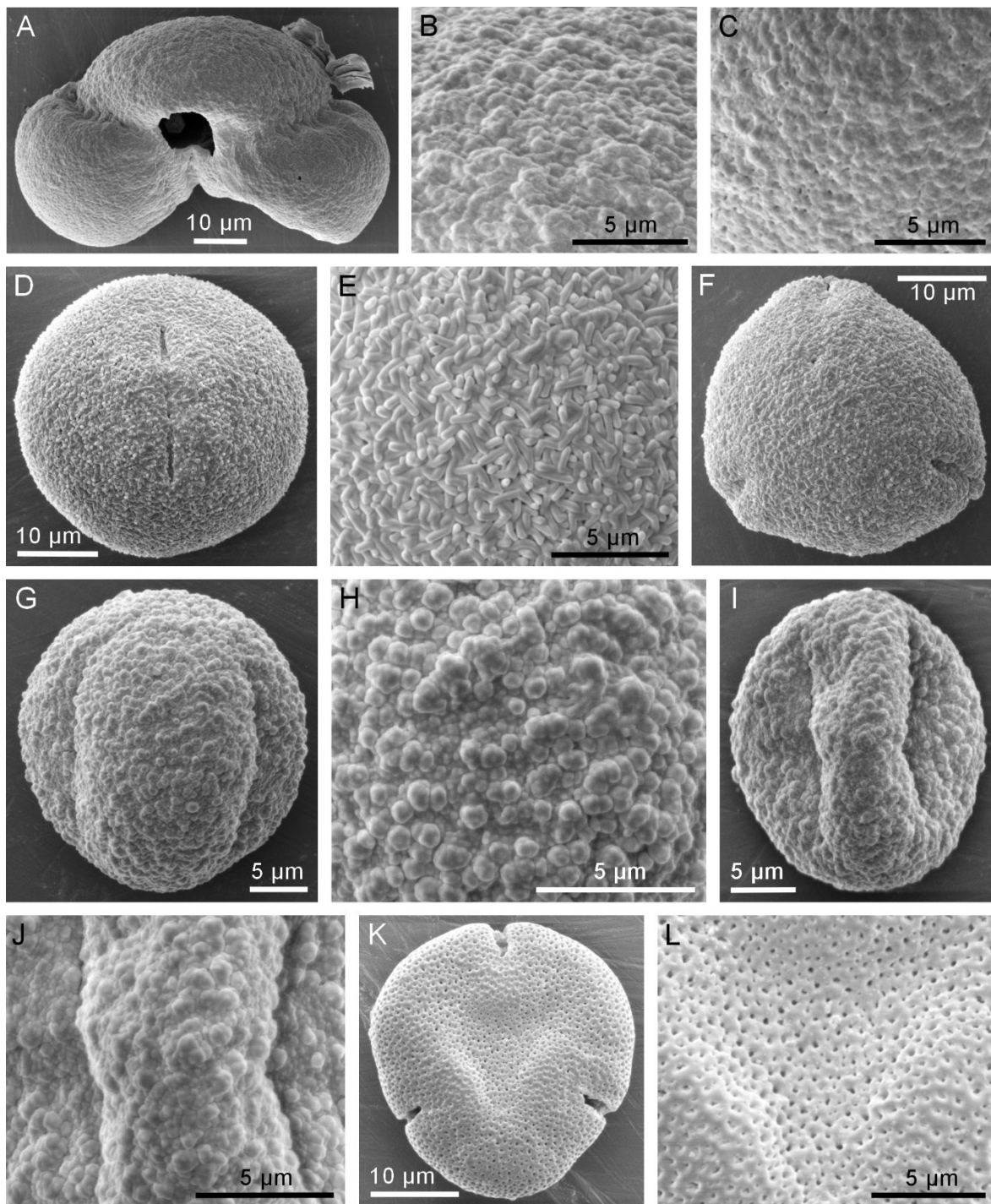


Abb. 7: SEM-Aufnahmen ausgewählter Pollenkörner. A-C: *Pinus* (B Detail Pollenmittelteil, C Detail Luftsack), D-F: *Fagus*, G-J *Quercus*, K-L: *Tilia*. Detailbilder zeigen jeweils dasselbe Pollenkorn wie das vorangehende Übersichtsbild.

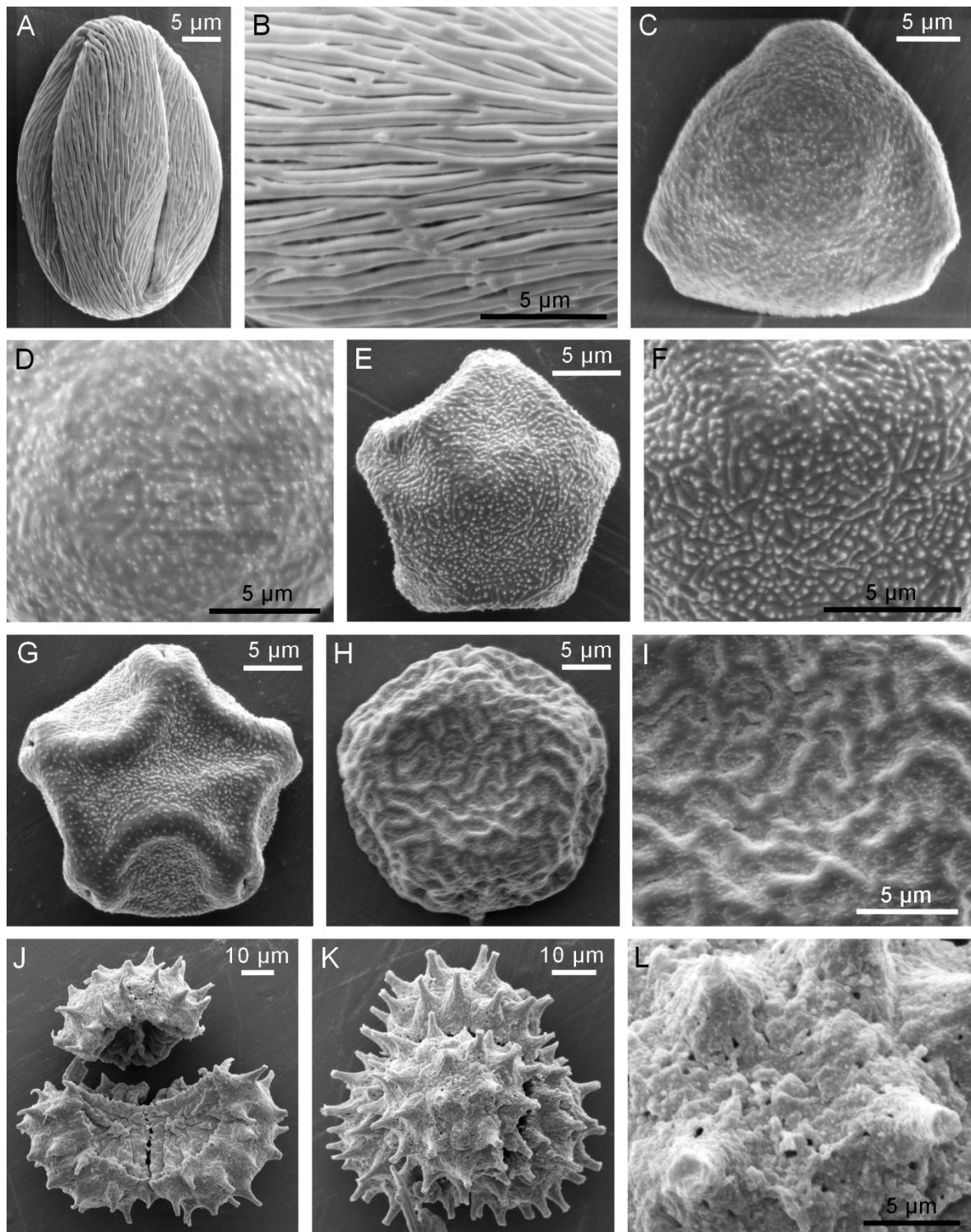


Abb. 8: SEM-Aufnahmen ausgewählter Pollenkörner. A-B: *Acer*, C-D: *Corylus*, E-G: *Alnus*, H-I: *Ulmus*, J-L: *Drosera* (Tetrad). Detailbilder zeigen jeweils dasselbe Pollenkorn wie das vorangehende Übersichtsbild.

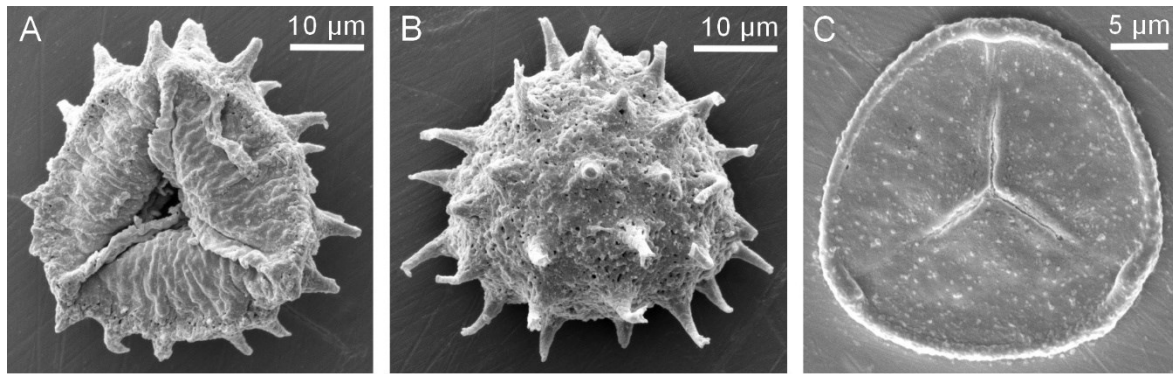


Abb. 9: SEM-Aufnahmen ausgewählter Pollenkörner. A-B: *Drosera* (einzelne PK), C: *Sphagnum*.

Ecken des Polygons. Die Poren haben Vestibula. Typisch für *Alnus* sind verdickte Bögen, die die Poren miteinander verbinden (Beug, 2004).

Ulmus (Abb. 6 P und Abb. 8 H-I) hat oblate bis sphäroidische Pollenkörner. Die 4 bis 6 Poren sitzen an den Ecken eines Polygons. Besonders markant ist die rugulate Skulpturierung (Beug, 2004).

Ericaceen (Abb. 6 Q) produzieren Pollentetraden. Unter den untersuchten Pflanzengruppen produziert neben den Ericaceae nur *Drosera* Tetraden. Die Tetraden von *Drosera* (Abb. 6 R-S, Abb. 8 J-L und Abb. 9 A-B) sind allerdings echinat (Beug, 2004).

Die Poaceae (Abb. 6 T) haben relativ einheitliche Pollenkörner. Sie sind monoporat, sphäroidisch bis prolat und besitzen einen Anulus und auch eine Verdickung der Endexine um den Porus. Pollenkörner von Getreiden sind größer als jene von Wildgräsern (Beug, 2004).

Sporen von *Sphagnum* (Abb. 6 W und Abb. 9 C) sind heteropolar und trilet. In Polaransicht haben sie einen dreieckigen Umriss (Terasmae, 1955).

4.2 C-14-Datierung

Die Ergebnisse der C-14-Datierung sind in Tab. 8 angeführt. Der originale Ergebnisbericht befindet sich im Anhang. Die angegebenen Alter sind bereits kalibriert. Mehr zur Kalibration von C-14-Daten und zur verwendeten Kalibrationskurve kann in „The INTCAL20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0-55 CAL KBP)“ (Reimer et al., 2020) nachgelesen werden.

Probenbezeichnung	Tiefe (cm)	Kalibriertes Alter
VERA-7187	346 – 347	8601BC (0,6 %) 8596BC 8561BC (94,8 %) 8305BC
VERA-7188	303 – 304	6472BC (90,8 %) 6371BC 6299BC (4,7 %) 6268BC
VERA-7189	240 – 241	5294BC (5,6 %) 5263BC 5219BC (89,8 %) 5043BC
VERA-7190	163 – 164	3515BC (67,9 %) 3422BC 3413BC (3,8 %) 3393BC 3385BC (23,8 %) 3349BC
VERA-7191	127 – 128	3092BC (11,2 %) 3051BC 3041BC (84,3 %) 2900 BC
VERA-7192	66 – 67	2136BC (25,1 %) 2077BC 2068BC (70,4 %) 1935BC
VERA-7193	17,5 – 18,5	197BC (2,3 %) 183BC 180BC (93,2 %) 43BC
VERA-7194	0 – 1	1956AD (2,7 %) 1957AD 2001AD (92,7 %) 2005AD

Tab. 8: Ergebnisse der C-14-Datierung. Mehrere Zeitintervalle für eine Probe kommen durch die Kalibrierung zustande.

5. Diskussion

5.1 Qualität der Ergebnisse der Pollenanalyse

Die folgenden Informationen sollen dabei helfen, die Qualität der Ergebnisse der Pollenzählung einzuschätzen.

Die Pollenzählung wurde mit relativ wenig Erfahrung durchgeführt. Die Merkmale der unterschiedenen Gruppen waren gut bekannt. Über andere Gruppen war dagegen wenig bekannt. Das birgt die Gefahr, dass in die zu bestimmenden Gruppen auch Pollenkörner von anderen, ähnlichen Gruppen eingeordnet wurden.

Bei der Arbeit am Rasterelektronenmikroskop stellte sich heraus, dass ein Pollenkorn, das als *Quercus* gezählt worden war, tatsächlich zu *Acer* gehörte. Das kann ein Einzelfall sein. Möglicherweise wurden aber weitere Pollenkörner von *Acer* als *Quercus* gezählt.

Pollenkörner in bestimmbarem Zustand, die für nicht zu den unterschiedenen Gruppen gehörig befunden wurden, wurden mit der Betreuungsperson besprochen. Was danach immer noch nicht zu den unterschiedenen Gruppen gehörte, wurde unter *Varia* zusammengefasst. Pollenkörner in nicht bestimmbarem Zustand wurden nicht berücksichtigt. Aufgrund von Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Cyperaceen wurden diese ebenfalls nicht berücksichtigt.

5.2 C-14-Daten

Die C-14 Daten sind in Abb. 10 in Abhängigkeit von der Tiefe dargestellt. Je steiler die Kurve, desto schneller erfolgte die Akkumulation. Die geläufige Bezeichnung Akkumulationskurve ist allerdings irreführend. Nicht nur die Produktion spielt für die Anreicherung von Torf eine Rolle, sondern auch Zersetzung und Kompaktierung. Der Torfkörper gliedert sich in zwei Teile. In den oberen 10 – 50 cm herrschen aerobe Verhältnisse und die Zersetzungsrate ist vergleichsweise hoch. Das Material ist zunächst noch locker. Mit zunehmender Tiefe und Zersetzung verlieren die Stämmchen der Torfmoose ihre Stabilität und brechen zusammen. Der Torf wird kompakter und weniger wasserdurchlässig. Knapp unterhalb des Wasserspiegels herrschen dann anaerobe Verhältnisse. Die

Zersetzung schreitet hier wesentlich langsamer voran, hört aber nicht ganz auf (Clymo, 1984).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Dichte des Torfs nicht gemessen, weshalb keine Aussagen über die Kompaktierung gemacht werden können.

Älterer und damit tiefer liegender Torf ist in der Regel stärker zersetzt. Dadurch wird der Graph insgesamt flacher, bleibt aber eine Gerade. Eine Krümmung der Kurve kann allein damit noch nicht erklärt werden (Clymo, 1984).

Die Kurve in Abb. 10 weist eine leichte S-Form auf. Gekrümmte Kurven sind in Mooren vergleichsweise häufig. Verschiedene Ursachen kommen dafür in Frage. Die Primärproduktion kann sich mit der Zeit ändern. Die Zersetzung im oberen, aeroben Bereich kann schneller oder langsamer vor sich gehen. Das gleiche gilt für die Zersetzung im unteren, anaeroben Bereich. Auch kann sich durch eine Änderung der Niederschlagsmengen der Grundwasserspiegel ändern. Ein höherer Grundwasserspiegel verkleinert den über der Wasseroberfläche liegenden aeroben Bereich. Das pflanzliche Material verbringt folglich weniger Zeit in diesem Bereich und ist weniger lang der vergleichsweise starken Zersetzung unter aeroben Verhältnissen ausgesetzt (Clymo, 1984).

Interessant ist die geringe Steigung der Kurve im oberen Bereich. Hier wäre eine steile Kurve zu erwarten, denn das Material ist noch wenig zersetzt und kompaktiert.

Möglicherweise ist das Material primär erst gar nicht gebildet worden. Oder es wurde zwar gebildet, dann aber sekundär wieder zersetzt. Der Bohrkern wurde an einer Stelle genommen, an der das Moor gestört ist. Es ist also möglich, dass es durch einen sinkenden Wasserspiegel im oberen Bereich bereits zur Zersetzung gekommen ist.

Falls es noch nicht zur Zersetzung gekommen ist, müsste die Abnahme der Akkumulationsrate zwischen den Proben VERA-7192 (2068BC (70,4 %) 1935BC) und VERA-7193 (180BC (93,2 %) 43BC) eingesetzt haben. Das liegt deutlich vor den bekannten menschlichen Eingriffen im 20. Jahrhundert.

Die unterste Probe VERA-7187 ergab ein Alter von 8561BC bis 8305BC (94,8 %). Diese Probe enthält Sediment und markiert damit wahrscheinlich den Beginn des Moorwachstums.

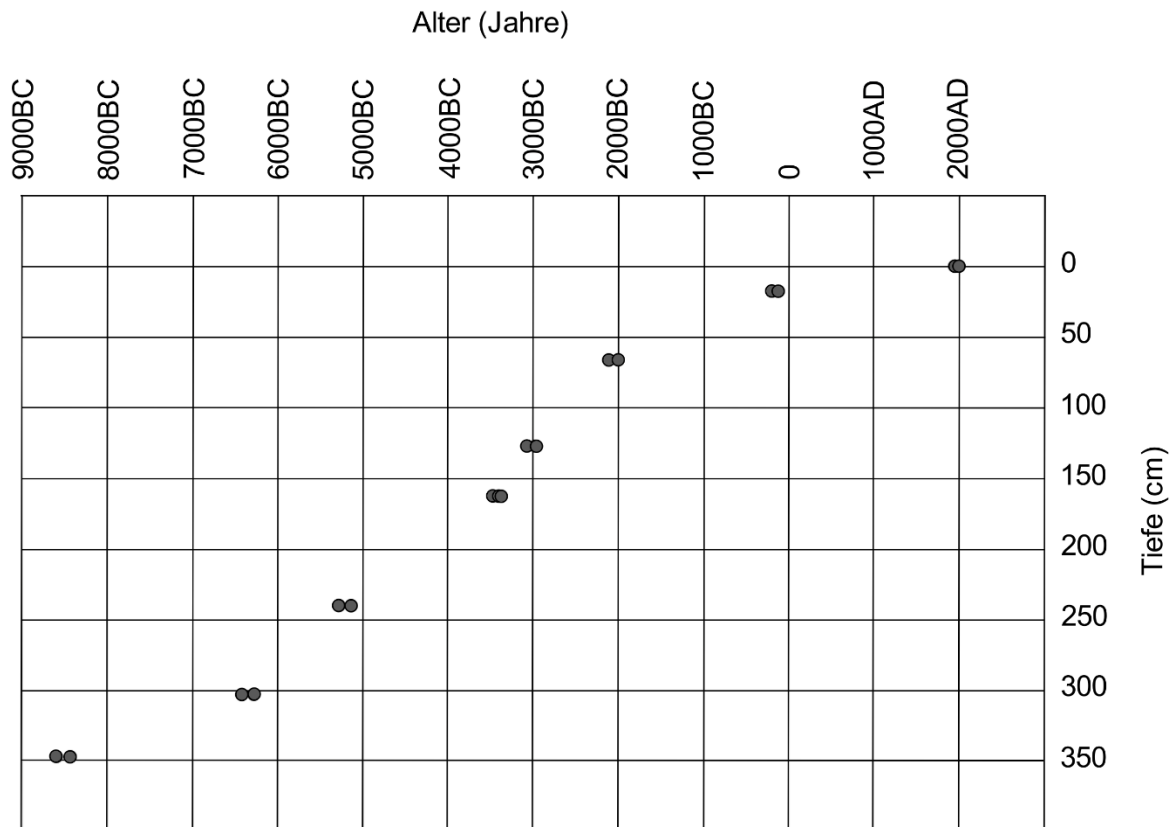


Abb. 10: Ergebnisse der C-14-Datierung in Abhängigkeit von der Tiefe. Für jede Probe sind alle Zeitbereiche angegeben. Auf die Angabe der Unsicherheiten wurde verzichtet, da die Fehlerbalken kaum über die eingezeichneten Punkte hinausragen.

5.3 Vergleich mit der bisherigen Forschung im Fohramoos

5.3.1 Profil von 1931

Abb. 11 zeigt das Profil aus dem Fohramoos, das 1931 von Helmut Gams publiziert wurde. In Abb. 12 sind die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit in einer Weise dargestellt, die den Vergleich mit der Pollenanalyse von 1931 erlaubt.

Bei Gams sind krautige Gewächse nicht berücksichtigt. Die Prozentangaben dürften sich auf die Gesamtzahl an Baumpollen beziehen. Daher wurden auch die Zahlen der vorliegenden Arbeit in Prozent Baumpollen umgerechnet. Das macht besonders im oberen Teil des Profils einen Unterschied. Bei der obersten Probe liegt der Anteil an Baumpollen bei nur 59 %.

Aus dem Diagramm von Gams kann herausgelesen werden, dass 19 Proben analysiert wurden. In der vorliegenden Arbeit sind es 12. Die in beiden Fällen eher großen Abstände zwischen den einzelnen Proben machen den Vergleich

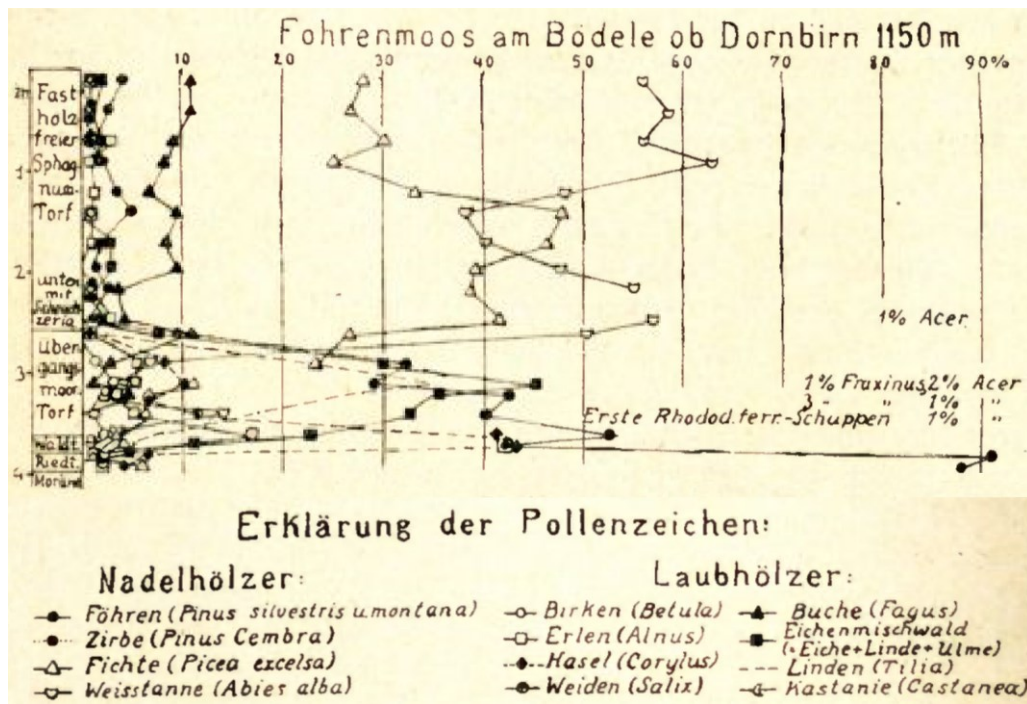


Abb. 11: Pollenprofil aus dem Fohramoos. Aus „Die Waldgeschichte Vorarlbergs“ (Gams, 1931).

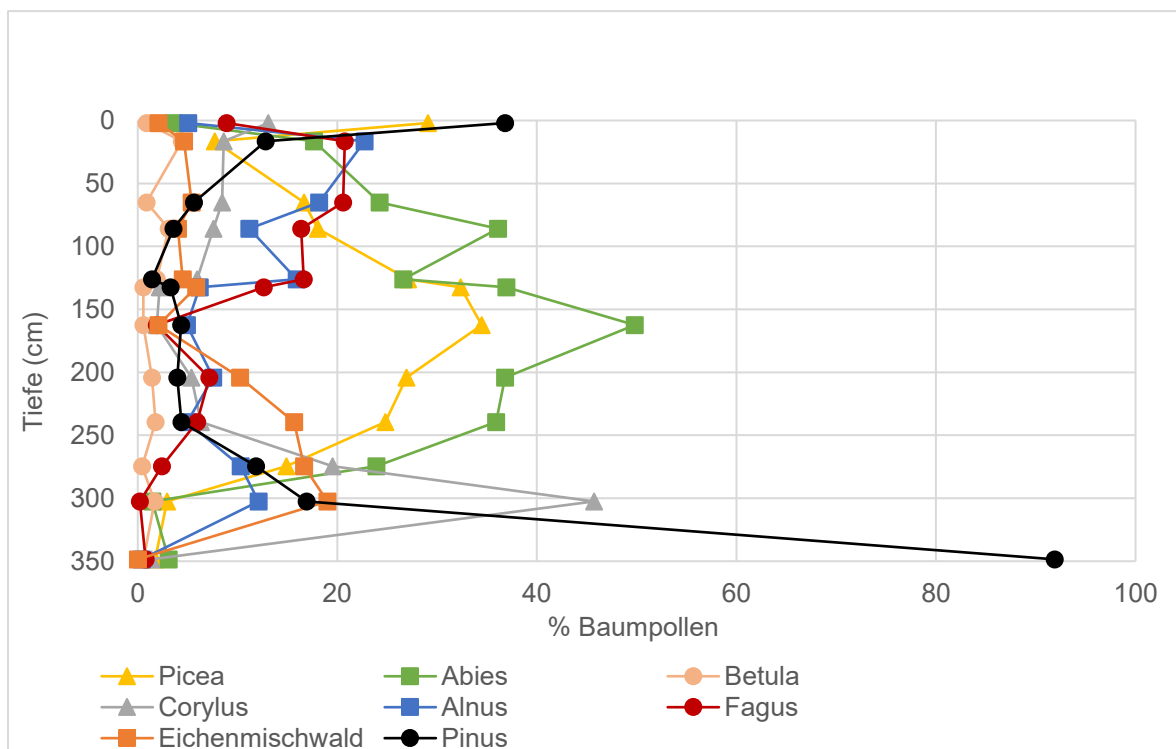


Abb. 12: Daten der vorliegenden Arbeit in einer Darstellung, die den Vergleich mit dem Pollenprofil von 1931 erlaubt.

schwierig. In der einen Untersuchung kann z.B. ein Maximum genau getroffen worden sein, in der anderen aber nicht. Je nachdem, an welchen Stellen eines Bohrkerns die Proben entnommen werden, können die Profile verschieden ausfallen.

Gams schreibt, dass sein Profil über Moränenmaterial beginnt. Das dürfte auch bei dem Profil der vorliegenden Arbeit der Fall sein, denn in 3,5 m Tiefe wurde Sediment angetroffen. Das Profil von Gams ist mit 4 m etwas länger.

Das extreme Maximum von *Pinus* an der Basis des Profils findet sich bei beiden, ebenso der darauffolgende Anstieg von *Corylus*. In der vorliegenden Arbeit nimmt die Häufigkeit von *Pinus* allerdings abrupt ab, bei Gams erst nach und nach.

Der Peak von *Quercus*, *Tilia* und *Ulmus* (bei Gams als Eichenmischwald zusammengefasst) ist bei Gams deutlicher ausgeprägt. Der darauffolgende Anstieg von *Picea* und *Abies* ist in beiden Diagrammen deutlich zu sehen. In beiden Fällen überwiegt *Abies*.

Im oberen Drittel der Profile gibt es einige Unterschiede. Bei Gams bleibt *Abies* bis zum Schluss dominant. In seiner obersten Probe stellt *Abies* über 55 % der Pollenkörner. *Picea* ist mit knapp 30 % vertreten. Die Pollenkörner von *Fagus* machen etwas über 10 % aus.

In der vorliegenden Arbeit nehmen *Picea* und *Abies* nach einem breiten Maximum wieder stark ab. Die Kurven von *Fagus* und *Alnus* steigen an und fallen wieder. Knapp unter der Oberfläche steigt dann die Häufigkeit von *Pinus* und *Picea*.

In diesem Bereich stimmen die beiden Profile nicht überein. Möglicherweise entspricht das erste *Abies*-Maximum bei 163 – 164 cm in der vorliegenden Arbeit dem lokalen *Abies*-Maximum von Gams bei etwa 2,5 m. In beiden Fällen hat auch *Picea* ein Maximum und *Fagus* beginnt nach einem kleinen Einbruch zu steigen.

Nachdem sich die Kurven von *Picea* und *Abies* schneiden, steigt die Häufigkeit von *Abies* wieder, während jene von *Picea* abnimmt. Das trifft für beide Untersuchungen zu.

Das lokale *Abies*-Maximum der vorliegenden Arbeit bei 85 – 87 cm könnte dann dem *Abies*-Maximum von Gams bei etwa 1 m entsprechen. Das legt den Verdacht nahe, dass das Profil von Gams nach oben hin nicht vollständig ist. Die knapp 100 Jahre, die zwischen der Aufnahme der beiden Profile liegen, können die Differenzen nicht erklären. Möglicherweise gibt es für die obersten 80 cm des Profils der vorliegenden Arbeit bei Gams keine Entsprechung. Dieser Zeitraum scheint zu fehlen.

1976 greift Walter Krieg das Pollendiagramm von Gams auf und stellt es einem schematisierten Pollendiagramm von Mitteleuropa sowie dem Pollendiagramm eines Moores aus dem Schwarzwald gegenüber. Für den Vergleich ordnet er das Pollenprofil von Gams zeitlich ein. Er lässt es um 1000AD herum enden. Offenbar war auch Krieg der Meinung, dass das Profil nicht bis in die heutige Zeit reicht (Krieg et al., 1976).

5.3.1 Profil von 1988

Das zweite unabhängige Profil wurde 1993 von Friedrich Kral publiziert. Die Pollenanalyse stammt aus dem Jahr 1988. Das Profil ist 140 cm tief. Kral ordnet es in die waldgeschichtlichen Abschnitte nach Firbas ein. Es beginnt im frühen älteren Subatlantikum zwischen 600BC und 200AD (Kral, 1993). In diesen Zeitraum fallen nur die obersten zwei Proben der vorliegenden Arbeit. Damit sind die beiden Profile kaum miteinander zu vergleichen.

Das Fohramoos ist ein Moorkomplex. Neben intakten und gestörten Hochmoorflächen setzt es sich hauptsächlich aus Bergkiefern-Moorwald, Fichten-Moorwald und bodensaurem Fichtenwald zusammen (Klarica & Glaser, 2015). Es ist nicht bekannt, wo die Probe für das Pollenprofil von Kral entnommen wurde. Die hohe Akkumulationsrate der jüngeren Zeit legt aber nahe, dass es sich um eine intakte Hochmoorfläche handelte.

5.4 Einordnung in die Abschnitte des Postglazials nach Firbas

In der folgenden Tab. 9 werden die untersuchten Proben soweit möglich den Abschnitten des Postglazials nach Firbas (1949) zugeordnet.

Abschnitte nach Firbas (1949)	Zuordnung der Proben
IV. Präboreal: <i>Betula</i> und <i>Pinus</i> dominieren. Firbas zieht eine Linie vom Bodensee über den Südschwarzwald und weiter nach Sachsen. Nordwestlich dieser Linie	In der untersten Probe P1 stellt <i>Pinus</i> über 79 % der Pollenkörner. <i>Betula</i> ist dagegen mit 1 % untergeordnet. Das Fohramoos liegt knapp südöstlich der von Firbas gezogenen Linie. Die

wird die Wiederbewaldung durch <i>Betula</i> eingeleitet. Es kann dort von einer Birkenzeit gesprochen werden. Südöstlich dieser Linie fehlt eine solche Birkenzeit oftmals. Hier dominiert stattdessen <i>Pinus</i>.	Analyse unterstützt damit die Teilung in ein Birkenkieferengebiet und ein Kiefernggebiet.
V. Boreal: Ausgezeichnet durch einen ausgeprägten <i>Corylus</i>-Gipfel. <i>Pinus</i> und <i>Betula</i> sind häufig. Zum Ende des Abschnitts steigt der Anteil an <i>Alnus</i> und <i>Tilia</i> markant.	In P2 macht <i>Corylus</i> knapp 37 % der Pollenkörner aus und erreicht damit die größte Häufigkeit innerhalb des Profils. <i>Pinus</i> ist nur noch mit knapp 14 % vertreten. <i>Betula</i> spielt wie schon in P1 eine untergeordnete Rolle. <i>Tilia</i> steigt von 0 auf 6 %, <i>Alnus</i> auf 10 %. Die Eichenmischwaldelemente steigen auf 15 %.
VI. Älterer Teil des Atlantikums: In diesem Abschnitt dominieren Eichenmischwaldelemente, <i>Corylus</i> und <i>Alnus</i> das Bild. <i>Pinus</i> geht stark zurück.	In P15 sinkt die Häufigkeit von <i>Pinus</i> weiter auf 9 %. <i>Corylus</i> geht ebenfalls zurück, stellt aber immer noch 15 % der Pollenkörner. Die Eichenmischwaldelemente bleiben mit 13 % hoch. Auch <i>Alnus</i> ist mit 8 % vergleichsweise hoch. Der frühe und starke Anstieg von <i>Picea</i> und <i>Abies</i> dürfte eine Besonderheit des Fohramoos sein.
VII. Jüngerer Teil des Atlantikums: Je nach Landschaft Eichenmischwald, <i>Corylus</i> mit neuerlichem Gipfel, <i>Alnus</i>, <i>Pinus</i> oder <i>Picea</i>.	Mit P13 wird die Einordnung der Proben in die vegetationsgeschichtlichen Abschnitte schwieriger, weil <i>Abies</i> und <i>Picea</i> sehr stark vertreten sind. Ein zweiter <i>Corylus</i>-Gipfel ist nicht erkennbar. <i>Alnus</i> und <i>Pinus</i> sind nur schwach vertreten. Die Einordnung dieser Probe

	erfolgt vor allem aufgrund der mit 13 % nach wie vor häufigen Eichenmischwaldelemente. P17 ist P13 ähnlich. Die Kurven von <i>Abies</i> und <i>Picea</i> steigen. Die Eichenmischwaldelemente gehen auf 10 % zurück. <i>Alnus</i> ist mit 7 % vertreten.
VIII. Subboreal: Eichenmischwaldelemente und <i>Corylus</i> gehen zurück. <i>Fagus</i> und <i>Abies</i> breiten sich aus.	In P11 gipfeln die Kurven von <i>Abies</i> und <i>Picea</i>. Der Eichenmischwald fällt auf 2 %, ebenso <i>Corylus</i>. <i>Fagus</i> ist mit 2 % noch selten. In P7 dominieren weiter <i>Abies</i> und <i>Picea</i>. Daneben steigt die Häufigkeit von <i>Fagus</i> auf 12 %. In P8 gehen <i>Abies</i> und <i>Picea</i> stark zurück, dafür steigt <i>Sphagnum</i> sehr schnell auf 25 %. <i>Fagus</i> bleibt bei 12 %. Interessant ist der relativ starke Anstieg von <i>Alnus</i> auf 11 %. Möglicherweise handelt es sich dabei um eine weitere standortbedingte Besonderheit der jüngeren Zeit. In P9 dominiert <i>Abies</i> das Bild. <i>Sphagnum</i> ist mit 20 % noch stark vertreten. <i>Picea</i> nimmt ab, ist mit 13 % aber noch häufig. <i>Fagus</i> bleibt bei 12 %. In P21 steigt die Häufigkeit von <i>Fagus</i> nochmals auf 16 %. <i>Abies</i> ist mit 19 % noch immer stark vertreten. Die <i>Sphagnum</i> -Kurve fällt auf 9 %. <i>Alnus</i> steigt weiter auf 14 %.

	Die Aufteilung der Proben auf Subboreal und Subatlantikum erfolgte hauptsächlich aufgrund der C-14-Alter.
IX. Älterer Teil des Subatlantikums: <i>Fagus</i> , <i>Abies</i> und <i>Carpinus</i> sind häufig. <i>Corylus</i> und Eichenmischwaldelemente treten zurück.	In P10 beträgt die Häufigkeit von <i>Fagus</i> immer noch 16 %. <i>Abies</i> hat weiter auf 13 % abgenommen. <i>Alnus</i> gipfelt mit 17 %. <i>Carpinus</i> tritt in dieser Probe zum ersten Mal auf, ist mit unter 1 % aber schwach vertreten.
X. Jüngerer Teil des Subatlantikums: Nichtbaumpollen nehmen zu. Die Forstwirtschaft begünstigt <i>Quercus</i> und lichtliebende Gehölze wie <i>Corylus</i> , <i>Betula</i> und <i>Alnus</i> . <i>Pinus</i> und <i>Picea</i> steigen stark an.	In der Oberflächenprobe POF überwiegen mit 35 % die Poaceae. <i>Pinus</i> steigt rasch auf 21 %, <i>Picea</i> steigt auf 16 %. <i>Fagus</i> , <i>Alnus</i> und <i>Abies</i> fallen dagegen stark und spielen eine untergeordnete Rolle.

Tab. 9: Einordnung der Proben in die Pollenzonen nach Firbas (1949).

Das Profil weist im Vergleich zu schematisierten Kurven aus dem Rheingletschergebiet nach Firbas folgenden Besonderheiten auf:

Die Kurve von *Abies* beginnt früh, ist stark und langanhaltend. Das dürfte mit der Höhenlage und den am Bödele besonders starken Niederschlägen zusammenhängen (Krieg et al., 1976). Die Häufigkeit von *Picea* folgt im Wesentlichen der von *Abies*, bleibt jedoch etwas unterhalb von dieser. *Picea* dominiert im Gebirge die Moorränder (Krisai, 1998).

Der Eichenmischwald erreicht nur 15 %. Der hohe Nadelholzanteil ist auch heute noch typisch für Vorarlberg (Grabherr & Mucina, 1989).

Das größte Maximum von *Corylus* in P2 ist mit 37 % nicht einmal halb so groß wie jenes von *Pinus* in P1 mit 79 %. Das könnte daran liegen, dass mit P2 nicht die tatsächliche größte Häufigkeit von *Corylus* getroffen wurde. Die anderen Elemente der Probe lassen vermuten, dass P2 eher schon das Ende des Boreals markiert. *Tilia* und *Alnus* haben ihren starken Anstieg schon hinter sich, während *Pinus*

schon stark abgenommen hat. Es ist aber auch denkbar, dass *Corylus* in Vorarlberg nicht so dominant war wie andernorts (Grabherr & Mucina, 1989).

Fagus erreicht höchstens 16 %, was mit der Höhenlage des Fohramoos zusammenhängen dürfte (Krieg et al., 1976). Firbas gibt für das Rheingletschergebiet ein *Fagus*-Maximum mit fast 60 % an. Die *Fagus*-Pollenkörner im Fohramoos dürften von weiter talwärts eingetragen worden sein.

Pollenkörner von *Drosera* wurden nur an der Basis des Profils gefunden.

In P8 und P9 ist *Sphagnum* mit 25 % und 20 % sehr häufig, während es sonst untergeordnet bleibt. Das könnte eine Zeit besonders intensiven Hochmoorwachstums bedeuten. Einen ähnlichen *Sphagnum*-Gipfel gibt es z.B. im Neugrundmoor, das etwa 100 km westsüdwestlich vom Fohramoos in der Zentralschweiz liegt. Das Neugrundmoor liegt auf einer Höhe von 830 m ü. M. Der *Sphagnum*-Gipfel von Neugrundmoor wurde auf ein Alter von 2100BC – 1200BC datiert (Wehrli et al., 2010). Der *Sphagnum*-Gipfel im Fohramoos beginnt um 3000BC und geht bis ungefähr 2000BC. Er liegt also zeitlich vor jenem von Neugrundmoor. In dieser Zeit waren die Bedingungen in den Alpen eher kühl und feucht (Issar, 2003).

Frühe Rodungstätigkeiten wie z.B. im Kleinwalsertal (von Scheffer et al., 2019) sind nicht zu erkennen. Die Abnahme von Baumpollen in P8 ist wohl eher auf die Zunahme von *Sphagnum* zurückzuführen.

6. Conclusio

Welche Pflanzengruppen sind nun also in den verschiedenen Tiefen wie stark vertreten?

Die genauen Zahlen können den Tabellen 4 bis 7 sowie dem Schattenrissdiagramm in Abb. 5 entnommen werden. Im Folgenden werden nur die besonderen Auffälligkeiten des Pollendiagramms zusammengefasst.

Insgesamt wurden 17 Gattungen und 3 weiter gefasste Gruppen unterschieden. Mit Abstand am häufigsten waren *Abies* (insgesamt 1451 Pollenkörner), *Picea* (insgesamt 1125 Pollenkörner) und *Pinus* (insgesamt 924 Pollenkörner). *Abies* ist am unteren Ende des Profils nur schwach vertreten. Dann nimmt die Häufigkeit zu und erreicht in 162 – 163 cm Tiefe ein Maximum, um dann wieder abzufallen. Die Verteilung von *Picea* verläuft ähnlich. Die Häufigkeiten von *Picea* liegen aber in den meisten Proben unter jenen von *Abies*. In der Oberflächenprobe ist wieder ein Anstieg zu beobachten. *Pinus* ist im Gegensatz zu diesen beiden in den untersten Proben extrem häufig und verliert dann schnell an Bedeutung. In den jüngeren Proben steigt die Häufigkeit von *Pinus* dann wieder an. Es wäre vor diesem Hintergrund interessant, die *Pinus*-Kurve in Hinblick auf die Spirken genauer aufzuschlüsseln. Vermutlich sind diese für das Fohramoos namensgebenden Kiefern eine neuere Erscheinung (Gams, 1931; Krisai, 1998).

Ebenfalls häufig sind die Gehölze *Corylus* (insgesamt 578 Pollenkörner), *Alnus* (insgesamt 552 Pollenkörner) und *Fagus* (insgesamt 523 Pollenkörner). *Corylus* weist bei 302 bis 303 cm ein markantes Maximum auf. Bei den Poaceae wurden mehr als die Hälfte der Pollenkörner allein in der Oberflächenprobe gezählt. Im restlichen Profil spielen sie eine untergeordnete Rolle. Die Farne haben ihr Maximum gemeinsam mit *Corylus*. *Sphagnum* hat ein Maximum in den Proben P8 (86 cm) und P9 (126 cm).

Inwiefern unterscheidet sich das Pollendiagramm aus dem Fohramoos nun von schematisierten Pollendiagrammen der Region?

In den Grundzügen folgt das Pollendiagramm dem schematischen Diagramm für das Rheingletschergebiet (Firbas, 1949). Aufgrund der Höhenlage und des Niederschlagsreichtums weist es allerdings einige Eigenarten auf. *Abies* dominiert in Begleitung von *Picea* fast das ganze Profil. *Betula* spielt nur eine

untergeordnete Rolle. *Fagus* und Eichenmischwaldelemente sind seltener als in tiefen Lagen. Ein starkes Maximum von *Sphagnum* zwischen 3000BC und 2000BC spricht für eine Phase intensiven Hochmoorwachstums im Fohramoos.

Wie gleichmäßig erfolgte die Torfbildung und wann setzte sie ein?

Der Zusammenhang zwischen dem C-14-Alter und der Tiefe der Proben zeigt, dass die Akkumulation am unteren und oberen Ende des Profils langsamer erfolgte und in der Mitte schneller.

Der Bohrkern wurde in einem gestörten Bereich des Moorkomplexes genommen. Es ist nicht klar, ob die geringe Torfmenge aus der jüngeren Vergangenheit auf eine primär nicht erfolgte Bildung oder auf eine sekundäre Zersetzung aufgrund der Störung zurückgeht. Sollte die Bildung primär gar nicht erfolgt sein, liegt das vermutlich nicht an den in jüngerer Zeit angelegten Entwässerungsgräben. Der Rückgang des Wachstums an dieser Stelle dürfte schon vor rund 3000 Jahren eingesetzt haben.

An anderen Stellen im Moorkomplex hat sich das Wachstum dagegen fortgesetzt. Forschungsergebnisse über die jüngere Vergangenheit des Fohramoos finden sich bei Kral (1993). In dieser Arbeit wurde ein 140 cm langer Bohrkern untersucht, der vollständig dem Subatlantikum zugeordnet wurde.

Die C-14-Datierung an der Basis des Bohrkerns legt nahe, dass das Fohramoos seinen Anfang um 8561BC bis 8305BC genommen hat.

Literaturverzeichnis

- Beug, H.-J. (2004). *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Dr. Friedrich Pfeil.
- Bösch, M. (2020). Das Biotop Bödele. In N. Langreiter & P. Zudrell (Hrsg.), *Wem gehört das Bödele? Eine Kulturlandschaft verstehen* (S. 84–103). Residenz Verlag.
- Bowman, S. (1990). *Radiocarbon dating*. British Museum Publications Ltd.
- Brock, F., Higham, T., Ditchfield, P., & Ramsey, C. B. (2010). Current Pretreatment Methods for AMS Radiocarbon Dating at the Oxford Radiocarbon Accelerator Unit (Orau). *Radiocarbon*, 52, 103–112.
- Clymo, R. S. (1984). The Limits to Peat Bog Growth. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, 303, 605–654.
- Farasin, K. (1993). *Naturschutzgebiete Österreichs: Band 3: Tirol, Vorarlberg* (M. Tiefenbach, Hrsg.). Umweltbundesamt.
- Firbas, F. (1949). *Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen: 1: Allgemeine Waldgeschichte*. Fischer.
- Friebe, J. G. (2012). *Naturraum Dornbirn*. Vorarlberger Verlagsanstalt.
- Gams, H. (1931). Die Waldgeschichte Vorarlbergs. *Heimat*, 12(4), 97–107.
- Göttlich, K. (Hrsg.). (1990). *Moor- und Torfkunde*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Grabherr, G., & Mucina, L. (1989). Übersicht der Wälder und Waldstandorte in Vorarlberg. In *Waldforschung in Vorarlberg* (S. 9–41). Amt der Vorarlberger Landesregierung.
- Grabherr, G., & Staudinger, M. (2008). *Aktualisierung des Biotopinventars Vorarlberg: Gemeinde Dornbirn—Tallagen* (S. 87). AVL Arge Vegetationsökologie und Landschaftsplanung.
- Halbritter, H., Ulrich, S., Grímsson, F., Weber, M., Zetter, R., Hesse, M., Buchner, R., Svojtka, M., & Frosch-Radivo, A. (2018). *Illustrated Pollen Terminology*. Springer.

- Issar, A. S. (2003). Climate changes during the Holocene Epoch in Europe. In *Climate Changes during the Holocene and their Impact on Hydrological Systems* (S. 31–60). Cambridge University Press.
- Jones, T. P., & Rowe, N. P. (Hrsg.). (1999). *Fossil Plants and Spores: Modern Techniques*. The Geological Society.
- Jungmeier, M., & Werner, K. (2004). *Moore in Österreich unter dem Schutz der Ramsar-Konvention*. Neuer Wiss. Verl.
- Klarica, J., & Glaser, F. (2015). Ameisen (Hymenoptera: Formicidae) im Fohramoos, Vorarlberg: Arten und Lebensräume in einem montanen Moorkomplex. *inatura - Forschung online*, 17, 1–17.
- Klaus, W. (1987). *Einführung in die Paläobotanik: Fossile Pflanzenwelt und Rohstoffbildung: Band 1: Grundlagen—Kohlebildung—Arbeitsmethoden einschließlich Palynologie*. Deuticke.
- Kral, F. (1993). Zum Aufbau von Fichten-Tannen-Buchenwäldern im jüngeren Postglazial. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich*, 130, 171–188.
- Krieg, W., Waldegger, H., & Müller, H. (1976). *Das Naturschutzgebiet Fohramoos*. Vorarlberger Landesmuseumsverein.
- Krisai, R. (1998). Moore im Ostalpenraum: Entstehung und Vegetation. *TELMA*, 28, 11–24.
- Reimer, P. J., Austin, W. E. N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P. G., Ramsey, C. B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R. L., Friedrich, M., Grootes, P. M., Guilderson, T. P., Hajdas, I., Heaton, T. J., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., Manning, S. W., Muscheler, R., ... Talamo, S. (2020). The INTCAL20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 CAL KBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725–757.
- Schreiber, H. (1910). *Die Moore Vorarlbergs und des Fürstentums Liechtenstein in naturwissenschaftlicher und technischer Beziehung*. Verl. des Deutschöstr. Moorvereines.

- Steier, P. (2000). *Exploring the limits of VERA: A universal facility for accelerator mass spectrometry*. Universität Wien.
- Terasmae, J. (1955). On the Spore Morphology of Some Sphagnum Species. *The Bryologist*, 58(4), 306–311.
- Tiefenthaler, H. (2015). Schwarzenberger Moorwege. *Bregenzerwald Heft*, 34, 28–38.
- von Scheffer, C., Lange, A., De Vleeschouwer, F., Schrautzer, J., & Unkel, I. (2019). 6200 years of human activities and environmental change in the northern central Alps. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 68, 13–28.
- Wacker, L., Němec, M., & Bourquin, J. (2010). A revolutionary graphitisation system: Fully automated, compact and simple. *Nuclear instruments & methods in physics research. Section B, Beam interactions with materials and atoms*, 268, 931–934.
- Wehrli, M., Mitchell, E. A. D., van der Knaap, W. O., Ammann, B., & Tinner, W. (2010). Effects of climatic change and bog development on Holocene tufa formation in the Lorze Valley (central Switzerland). *Holocene (Sevenoaks)*, 20(3), 325–336.
- Zöhrer, R., & Staudinger, M. (2009). *Aktualisierung des Biotopinventars Vorarlberg: Gemeinde Schwarzenberg* (S. 63). AVL Arge Vegetationsökologie und Landschaftsplanung.

Anhang

Fakultät für Physik der Universität Wien - Isotopenphysik
Vienna Environmental Research Accelerator
VERA-Laboratorium, Währinger Straße 17, Hoftrakt, A-1090 Wien, Österreich

Lisa Schmidinger

(Masterarbeit)

Margarethendamm 8c

6971 Hard

a00968111@unet.univie.ac.at

Wien, 23.02.2021

Sehr geehrte Frau Schmidinger,

die ^{14}C -Datierungen der Proben, die Sie zur Altersbestimmung eingereicht haben, lieferten folgende Ergebnisse:

Labor-Nr.	Proben-bezeichnung	$\delta^{13}\text{C}$ ^{1,2)} [‰]	^{14}C -Gehalt ^{1,3)} [F ^{14}C]	^{14}C -Alter ¹⁾ [BP]	kalibriertes Alter ⁴⁾
VERA-7187	K7, 347-348cm, Torf	-27.0 ± 0.6	0.316673 ± 0.00152	9237 ± 39	8601BC (0.6%) 8596BC 8561BC (94.8%) 8305BC
VERA-7188	K7, 303-304cm, Torf	-32.1 ± 0.6	0.39035 ± 0.00185	7557 ± 38	6472BC (90.8%) 6371BC 6299BC (4.7%) 6268BC
VERA-7189	K5, 240-241cm, Torf	-31.1 ± 0.6	0.462222 ± 0.00189	6199 ± 33	5294BC (5.6%) 5263BC 5219BC (89.8%) 5043BC
VERA-7190	K4, 163-164cm, Torf	-31.7 ± 0.7	0.562323 ± 0.00223	4624 ± 32	3515BC (67.9%) 3422BC 3413BC (3.8%) 3393BC 3385BC (23.8%) 3349BC
VERA-7191	K3, 127-128cm, Torf	-30.4 ± 0.6	0.580894 ± 0.00267	4363 ± 37	3092BC (11.2%) 3051BC 3041BC (84.3%) 2900BC
VERA-7192	K2, 66-67cm, Torf	-29.8 ± 0.6	0.634907 ± 0.00228	3649 ± 29	2136BC (25.1%) 2077BC 2068BC (70.4%) 1935BC
VERA-7193	K1, 17,5-18,5cm, Torf	-31.2 ± 0.6	0.769939 ± 0.00260	2100 ± 27	197BC (2.3%) 183BC 180BC (93.2%) 43BC

Ass.-Prof. Mag. Dr. Peter Steier, Tel.: +(43)-664-60277-51729, E-mail: peter.steier@univie.ac.at

Mgr inz. dr Monika Bolka, Tel.: +(43)-1-4277-51767, E-mail: monika.bolka@univie.ac.at

Sekretariat: Tel.: +(43)-1-4277-51701, eFax. +(43)-1-4277-851701

VERA-7194	K1, 0-1cm, Torf	-32.8 ± 0.7	1.07869 ± 0.00364	-----	1956AD (2.7%) 1957AD 2001AD (92.7%) 2005AD ⁵⁾
-----------	-----------------------	-----------------	-----------------------	-------	---

¹⁾ 1 σ Fehler.

²⁾ die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte wurden mit dem AMS-System bestimmt. Da diese sich während der Probenpräparation ändern können, eignen sie sich nur zur Qualitätskontrolle, aber nicht für weiterführende Isotopenstudien.

³⁾ F¹⁴C = Fraction modern (Reimer et al 2004).

⁴⁾ Erstellt mit der IntCal20 Kalibrationskurve (Reimer et al 2020) und dem Kalibrierprogramm OxCal v4.4.2 Bronk Ramsey (2020), Werte entsprechen einem 2 σ -Vertrauensbereich, Wahrscheinlichkeit für den jeweiligen Zeitbereich in Klammern.

⁵⁾ Erstellt mit der Bomb13 NH1 Kalibrationskurve (Hua et al 2013, Reimer et al 2020).

Wir bitten Sie bei einer Veröffentlichung die entsprechenden Labornummern (VERA-####) anzugeben.

Mit freundlichen Grüßen

Wien, am 23.02.2021

Peter Steier

Monika Bolka

Ass.-Prof. Mag. Dr. Peter Steier

Mgr inz. dr Monika Bolka

