

Spätglaziale und holozäne Floren- und Vegetationsgeschichte des südlichen Mendelkamms, Südtirol (Provinz Bozen, Italien)

Pollenanalytische Untersuchungen des Flachmoors Oberfennberg 1157 m ü. M.

Abstract

Late-glacial and Holocene flora and vegetation history of the southern Mendel ridge, South Tyrol (Province of Bolzano, Italy).

Palynological investigations of the peat bog Oberfennberg 1157 m a.s.l.

A peat bog section of 400–620 cm depth has been pollen analytically investigated. It comprises a period from ca. 15.600–ca. 5.480 cal yr BP, i. e., the end of the Oldest Dryas chronozone to the onset of the Subboreal chronozone. During the Late-glacial warm periods of the Bölling and Alleröd chronozones, the reforestation started with pine (*Pinus sylvestris*/*P. mugo*) forest steppe with common birch (*Betula pendula*, possibly partly with *B. nana*), *Artemisia*, *Juniperus*, and *Hippophaë*. At the forest limit, Swiss stone pine (*Pinus cembra*) and European larch (*Larix decidua*) were probably present. *Ephedra*, Chenopodiaceae and Poaceae formed a rock steppe vegetation. During the Younger Dryas cold phase, a short recession of pine forest and a revival of steppe vegetation has been recognized. During the onset of the Holocene (Preboreal chronozone), pine forest reached its maximal range. At the transition Preboreal/Boreal, the coniferous forest vegetation changed basically after immigration of Norway spruce (*Picea abies*) in the montane belt and because of the spread of mixed oak forest (with *Ostrya*) in the colline belt. During the Boreal chronozone the maximum range of hazel (*Corylus avellana*), Scots pine/mountain pine (*Pinus sylvestris*/*P. mugo*) forest and mixed oak forests (with *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia*, *Acer*, *Fraxinus excelsior*) recessed in advantage of the newly immigrated Norway spruce forests which reached its maximal range in the montane belt.

At the transition from the Boreal/Older Atlantic chronozone silver fir (*Abies alba*) and beech (*Fagus sylvatica*) immigrated. During the Older Atlantic, silver fir and Norway spruce forest dominated in the montane belt, whereas mixed oak forest declined, probably due to shade concurrence of silver fir and beech. Later, during Younger Atlantic, Scots pine/mountain pine, Swiss stone pine and European larch were again more abundant compared to Norway spruce, silver fir, beech and mixed oak forest, presumably because of a cooler Holocene climate oscillation. The youngest peat bog section, probably the onset of the Subboreal period, gives evidence of a montane silver fir-Norway spruce forest close to the peat bog zone (more stomata of needles). At the forest limit Scots pine/mountain pine were growing with Swiss stone pine and European larch. The present montane beech-silver fir forest of Oberfennberg established later, during the younger Holocene.

Keywords: Peat bog, pollen analysis, Late-glacial and Holocene flora and vegetation history, South Tyrol, Italy

Adresse des Autors:

Prof.em. Dr. C. A. Burga
Geographisches Institut
der Universität Zürich
Abteilung Biogeographie
und Bodenkunde
Gäuggelistrasse 52
CH-7000 Chur
conradin.burga@bluewin.ch

eingereicht: 15.10.2024
angenommen: 06.12.2024

DOI: 10.5281/
zenodo.14287495
Online veröffentlicht
am 30.12.2024

1. Einleitung

Die limnischen Sedimente und Torfbildungen des Flachmoors bei der Ulmburg auf dem Oberfennberg (1157 m ü. M.) (Abb. 1-2) wurden bereits im August 1988 mit Handbohrungen gewonnen, deren pollenanalytische Auswertung erfolgte jedoch erst viel später. Dieses schöne und nun geschützte Biotop ist Teil einer von 1988-1994 erfolgten Untersuchungs-Serie von 15 Mooren in ganz Südtirol und Teilen des Trentino und der Ampezzaner Dolomiten. Die Moor-Bohrstellen betreffen die Regionen Reschen-Pass bis Bozner Unterland, Ritten/Bozen, Sarntaler Alpen, Seiser Alm, Würzjoch, Pustertal, Pfitsch, sowie Val di Cembra im Trentino und den Lago Valparola im Veneto. Ziel dieses mehrjährigen Bohrprojektes war, mit pollenanalytischen Untersuchungen von Torfen und limnischen Ablagerungen, die z. T. bis gegen Ende der letzten Eiszeit zurück gehen, neue Erkenntnisse zur Floren-, Vegetations- und Klimageschichte Südtirols und des Trentino zu gewinnen. Eine wichtige Zeitmarke war die Radiokarbondatierung des Beginns der organischen Sedimentation, um damit auch einen Anhaltspunkt zur Eisfreiheit des Untersuchungsgebiets während oder nach der Späteiszeit zu erhalten. Die meisten Moorprofile lieferten Informationen zur holozänen Waldentwicklung und den seit der Jungsteinzeit oder Bronzezeit als Folge des Beginns der menschlichen Landnutzung einsetzenden Einflüsse auf die natürliche Vegetation, insbesondere bezüglich der Waldgrenze (Rodungen, Ackerbau, Vieh- und Almwirtschaft). Bereits durch andere Bearbeiter pollenanalytisch untersuchte Moore wurden zum Teil nochmals erbohrt, jedoch nicht weiter analysiert. Es sind dies vor allem Untersuchungen von DALLA FIOR (1935), KRAL (1979, 1989 und die dort zitierten Arbeiten von F. Kral), SCHMIDT (1975), SEIWALD (1980), WAHLMÜLLER (1990), STUMBÖCK (1999) und zusammenfassend von KOMPATSCHER & OEGGL (2000). Das diesbezügliche Forschungskonzept wurde als Übersicht publiziert (BURGA et al. 1996). Dieses siebenjährige Projekt am Geographischen Institut (Abt. Biogeographie und Bodenkunde) der Universität Zürich wurde von der Stiftung für wissenschaftliche Forschung dieser Hochschule unterstützt. Bisher wurden die wichtigsten vegetationsgeschichtlichen Resultate zu den Mooren auf der Astalm oberhalb Lüssen (Lüsener Tal), am Penser Joch und von Lagabrun oberhalb Salurn (Provinz Trento) publiziert (BURGA & EGLOFF 2001; BURGA & PERRET 2013).

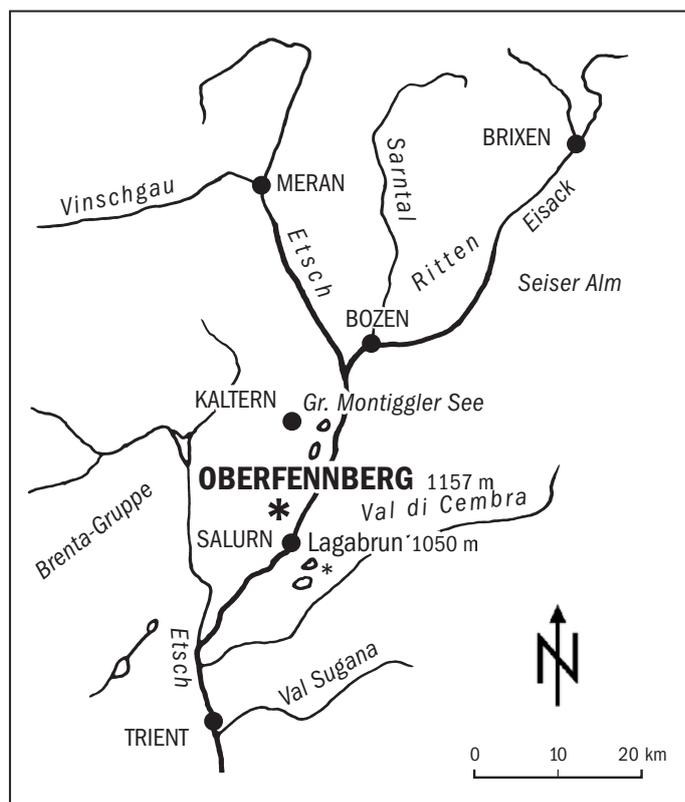


Abb. 1: Übersichtskarte zur Lage des Moors auf dem Oberfennberg (1157 m ü. M.; Südtiroler Unterland, Südtirol, Provinz Bozen, Italien).



Abb. 2: Das Jagdschloss „Ulmburg“ auf dem Oberfennberg. Aquarell von Conradin A. Burga vom 6. Oktober 1986.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Geologie und letzte Eiszeit (LGM)

Der Fennberg als Teil des südlichen Mendelzuges mit dem Corno di Tres (1812 m) als höchste Erhebung befindet sich geologisch nahe der Grenze zwischen der permo-mesozoischen Sedimentabfolge der Südalpen (Kalke und Dolomite) und der permischen Bozner Quarzporphyr-Tafel (Vulkanite) (BÖGEL & SCHMIDT 1976). Die Terrasse des Oberfennbergs wird gegen Westen und Süden von der Hauptüberschiebung des Hauptdolomits (gelblich-graubraune gebankte Dolomite) der Obertrias (Oberkarnium bis Rhaetium p.p.) begrenzt. Östlich und südlich des Oberfennner Moors ist Rosso Ammonitico Veronese aus dem Jura aufgeschlossen. Weiter im Osten und Süden folgt wiederum Hauptdolomit der Obertrias, der als Fortsetzung der Hauptüberschiebung die Terrassenkante zum Unterfennberg bildet. Die nach Süden tiefer gelegene Terrasse des Unterfennbergs wird gegen Osten und Süden ebenfalls von der Hauptüberschiebung aus Hauptdolomit und der Schlern-Formation der Mitteltrias (hellgraue bis weiße gebankte Dolomite) abgegrenzt (AVANZINI et al. 2012).

Die Schotter-Ablagerungen des Südtiroler Unterlandes, wahrscheinlich aus dem letzten Interglazial, wurden in der letzten Eiszeit (LGM [Letzteiszeitliches Maximum oder Last Glacial Maximum] bzw. Würm-Eiszeit) von Moränen des vereinigten Tauferer-Eisack-Etsch-Gletschers überlagert (CASTIGLIONI & TREVISAN 1973), wobei das Gebiet von einer rund 900 bis 1000 m mächtigen Eisschicht überdeckt war (gemäß der Gletscherkarte von VAN HUSEN 1987). In der Späteiszeit entstanden durch den Etsch-Gletscher mit Zungenende bei Auer verschiedene Eisstauseen, so u. a. im Gebiet des Kalterer Sees (HANTKE 1983). Das Oberfennner Moor selbst liegt auf glazialen Sedimenten (Grund- und

Abschmelzmoräne), die von einem Arm des letzteiszeitlichen Etsch-Gletschers abgelagert wurden (Garda-Synthem SGD). Es handelt sich dabei um einen massigen, matrixgestützten Diamikt, z. T. Sande, Kiese und Eisrandsedimente und glaziolakustre Ablagerungen (laminierte Silte und Tone) aus dem Oberpleistozän p.p. (AVANZINI et al. 2012). An zwölf durch den Autor untersuchten Moränenaufschlüssen des Fennbergs erfolgten mehrere Geschiebeanalysen. Die allgemein dicht gepackten Diamikte bestehen aus teilweise gut gerundetem Geschiebe mit Gletscherschrammen mit sehr unterschiedlichen Korngrößen. Ein typisches Geschiebespektrum setzt sich zusammen aus: Kantige Kalke/Dolomite ca. 98 %, gerundeter Bozner Quarzporphyr ca. 1 %, gerundeter Granat-Amphibolit 0.2 %, gerundeter heller Granit 0.1 %, kantiger Quarzit 0.05 %, Glimmerschiefer 0.05 % und schwarzer Kalk mit Gletscherschrammen 0.05 %. Der Anteil an kristallinen Klasten entspricht den unterlagernden Kalterer Schottern, die während des letzten Interglazials oder später durch die Eisströme nach Süden verfrachtet wurden. Die Terrassen von Graun und des Fennbergs weisen noch Spuren der ehemaligen Morphologie nach der eiszeitlichen Gletscherschmelze auf: Typische subglaziale Erosion, Rundhöcker mit Gletscherschrammen und -schliffen, ferner lokal nur eine geringmächtige Moränendecke. Der Zerfall des letzteiszeitlichen Eisstromnetzes von Überetsch und des Südtiroler Unterlandes, der für die Untersuchungsstelle relevant ist, wurde von SCHOLZ et al. (2005) untersucht. Der im Spätglazial auf zwei Eiszungen aufgespaltene Etsch-Gletscher bildete auf der Höhe von Söll bzw. Tramin zwei Gletscherenden. Südlich davon war das Etschtal wahrscheinlich von rasch verlandenden Schmelzwasserseen mit einem Seespiegel um 400 m ü. M. bedeckt. Die Oberfenner Terrasse in 1163 m ü. M. war von diesem Entwässerungssystem sicher entkoppelt, und damit ist dort von einer unabhängigen, frühen spätglazialen See-Entwicklung und Sedimentation auszugehen.

2.2 Aktuelle Vegetation und Klima

Die kolline Höhenstufe (bis ca. 800-950 m ü. M.) des Südtiroler Unterlandes ist vom Talboden bis nach Penon/Graun hinauf durch den Obst- und Weinbau geprägt. Darüber folgen auf den kalkreichen Böden Hopfenbuchen-Mannaeschenwald (Orno-Ostryetum) und Flaumeichenbuschwald (Quercetum pubescentis; Vegetation und Pflanzensoziologie nach PEER 1981, 1991, 1995). Als thermophile bzw. basiphile Gehölze sind vertreten: *Ostrya carpinifolia*, *Fraxinus ornus*, *Quercus pubescens*, *Celtis australis*, *Sorbus torminalis*, *Laburnum alpinum*, *Colutea arborescens*, *Cotinus coggygria*, *Coronilla coronata*, *Prunus mahaleb*, *Amelanchier ovalis*, *Cornus mas*, *Acer campestre*, *Ligustrum vulgare*. Auf trocken-warmen Kalkfeshängen wachsen *Genista radiata* und artenreiche Trockenrasen u. a. mit *Stipa pennata* agg. und *Dianthus sylvestris*.

In der montanen Höhenstufe (ab ca. 1000 m ü. M.) folgt Karbonat-Buchenwald (Carici-Fagetum), an schattigen und feuchteren Standorten Buchen-Tannen- und Tannenwald (Fagetum, Abietetum) sowie auf Trockenstandorten Karbonat-Kiefernwald (Erico-Pinetum sylvestris) mit Latsche (*Pinus mugo*), darüber bis zum Kamm Zwergstrauchgesellschaften auf kalkreichen Böden (Mugeto-Ericetum, Mugeto-Rhododendretum hirsuti). In der subalpinen Höhenstufe (ab ca. 1700 m ü. M.) folgt Tannen-Fichtenwald (*Abies alba* – *Picea abies*) bis zum Bergkamm mit vereinzelt Latsche auf Karbonat-Schutthalden (Fenner Joch). Während die Fichte ab 1500–1600 m (1300–1400 m in Nordexposition) vorkommt und das Fenner Joch erreicht, ist die Tanne vorwiegend von 800–1400 m, vereinzelt bis 1800 m verbreitet. Am Fennberg ist infolge der geringen Höhe der Bergspitzen (Corno di Tres 1812 m) die obere Waldgrenze nicht ausgebildet; in südlichen Bereichen Südtirols ist es meist die Fichte, die in 2100–2300 m die Waldgrenze bildet (z. B. subalpiner Karbonat-Fichtenwald des Latemar). Am Fennberg dürfte die potenziell-natürliche Waldgrenze bei ca. 1900–2000 m liegen. In der Umgebung der Ulmburg auf dem Oberfennberg dominiert Buchen-Tannenwald (Adenostylo glabrae-Abieti-Fagetum) mit einzelnen *Pinus sylvestris*-Beständen an Trockenstandorten (Erico-Pinetum sylvestris).

Die jährliche Niederschlagsmenge des Fennberges ist sehr variabel. Im Abschnitt Bozen–Salurn erreichen die Niederschläge auf dem Unterfennberg im Sommer ihr

Maximum mit rund 1040 mm (Maxima im Mai und August bis Oktober) mit einem deutlichen Winterminimum. Die Jahresmitteltemperatur liegt bei 7.5 °C, mit Maximum im Juli und Minimum im Januar. Von September bis Mai können Spät- und Frühfröste auftreten (WALTER & LIETH 1967). Durch die Nähe zum Alpensüdrand und infolge des meridionalen Verlaufs des Etsch-Tals reicht der nordmediterrane Klimaeinfluss bis ins südliche Bozner Unterland. Darauf weisen der submediterrane Hopfenbuchen-Mannaeschenwald, der Flaumeichenbuschwald, *Celtis australis* sowie mehrere Sträucher-Arten hin (z. B. *Colutea arborescens*, *Cotinus coggygia*, *Genista radiata*).

2.3 Zur Vegetation des Oberfenner Moores bei der Ulmburg und an der Bohrstelle

Im Kataster der Moore und Feuchtgebiete Südtirols (GÖTTLICH 1991) wurde das Oberfenner Moor als „Biotop“ oberhalb Kurtatsch mit Feucht-Nr. 1.5.10 inventarisiert. Gemäß KIEM (1985) dominierte ein Pfeifengras-Rasen (*Molinietum caeruleae*) die Moorvegetation; an Stellen mit hohem Grundwasserspiegel wuchsen *Carex elata* und *Phragmites australis*. Ferner traten u. a. *Carex rostrata*, *C. hostiana*, *C. panicea*, *Trichophorum alpinum*, *Eriophorum vaginatum*, *Galium palustre*, *Tofieldia calyculata* und *Menyanthes trifoliata* auf. In einer neueren Arbeit von KIEM (2002) wird die Flora und Vegetation des Oberfenner Verlandungs-Moors (Gemeinde Kurtatsch, 7 ha) erneut beschrieben. Dabei wurden folgende Gesellschaften untersucht: *Caricetum elatae*, *Carex panicea*-Gesellschaft und *Molinia caerulea*-Bestände (Tabellen zu den Vegetationsaufnahmen).

Während der Moorbohrung vom 10. August 1988 wurde nur pauschal die Vegetation an der Bohrstelle im Bereich des Pfeifengras-Rasens notiert. Damals befand sich in der Nähe der Bohrstelle noch ein Wassergraben mit *Carex rostrata*, *Peucedanum palustre* und *Lemna minor*. Am 11. Juli 2024 erfolgte nun nahe der ehemaligen Bohrstelle eine detaillierte Vegetationsaufnahme nach der modifizierten Schätzsкала zur Bestimmung des Deckungsgrades und der Soziabilität nach BRAUN-BLANQUET (1964) (Abb. 3).

Die Eckwerte zur Bohrstelle lauten: Oberfennberg, 1157 m ü. M., Koordinaten 46° 16' 39.2" Nord / 11° 10' 31.4" Ost, südlich der Ulmburg an der Südostecke des Flachmoors, Flächengröße: 16 m². Höhe der Krautschicht: 30 cm (Mittel), 80 cm (Maximum).



Abb. 3: Vegetationsaufnahme des Moores auf dem Oberfennberg vom 11. Juli 2024 in der Umgebung des Bohrstellen-Bereichs vom 10. August 1988 mit dem Autor. (Foto: Thomas Wilhelm, 11. Juli 2024)

Deckungsgrad: Krautschicht: 100%, Moosschicht: 60–70%. Strauchschicht: fehlt. Geologie: Grund-/Abschmelz-Moräne des letzteiszeitlichen Etsch-Gletschers; Garda-Synthem (SGD): Oberpleistozän. In der Nähe anstehend: Rosso Ammonitico Veronese, Oberjura (ARV) und Hauptdolomit, Obertrias (DPR).

Vegetationsaufnahme: **Poaceae:** 2b.4 *Molinia caerulea*, 2a.3 *Phragmites australis*, +.1 *Deschampsia cespitosa*, +.1 *Briza media*, +.1 *Koeleria pyramidata*. **Cyperaceae,** **Juncaceae:** 3.5 *Carex hostiana*, +.1 *Carex flacca*, +.1 *Luzula sudetica*. **Dicotyledonae:** 2a.3 *Potentilla erecta*, 2a.3 *Galium boreale*, 2a.2 *Succisa pratensis*, +.2 *Galium verum*, +.2 *Inula salicina*, +.2 *Lotus corniculatus*, +.2 *Lathyrus pratensis*, +.1 *Parnassia palustris*, +.1 *Valeriana dioica*, +.1 *Ranunculus acris*, +.1 *Scorzonera humilis*, +.1 *Betula pubescens*. **Monocotyledonae:** +.2 *Epipactis palustris*, +.1 *Tofieldia calyculata*, +.1 *Colchicum autumnale*. **Pteridophyta:** +.1 *Equisetum arvense*. **Laubmoose:** 3.4 *Thuidium recognitum*, 2b.3 *Rhytidium rugosum*, 2a.2 *Plagomnium affine*.

Dominante Arten: *Carex hostiana* 30%, *Molinia caerulea* 20%, *Phragmites australis* 10%, *Potentilla erecta* 10%, *Succisa pratensis* 5%, *Galium boreale* 5%. Taxonomie und Nomenklatur nach FISCHER et al. (2008). Pflanzensoziologisch ist dieser Bestand einer Pfeifengras-Wiese (*Molinietum caeruleae*) zuzuordnen.

3. Material, Problemstellung, Methoden, Gestaltung der Pollendiagramme

Bei der am 10. August 1988 durchgeführten Moorbohrung südöstlich des Schlosses Ulmburg (19. Jh., Details bei TIEFENBRUNNER 1994) wurden die Handbohrgeräte Dachnowsky-Sonde und Russischer Torfbohrer verwendet (Abb. 4). Die Bohrung reichte bis in 630 cm Tiefe mit nachfolgender Stratigraphie: 0–300 cm mäßig zersetzter, sehr nasser Cyperaceae-Torf; 300–400 cm mäßig zersetzter, nasser Torf; 400–435 cm stark zersetzter Torf, z. T. Moos-/Bruchwald-Torf; 435–475 cm wechsellagernd stark zersetzter Torf und Tongyttja mit Schnecken-Schalen; 475–525 cm stark zersetzter Torf; 525–600 cm graue, z. T. gebänderte Tongyttja; 600–630 cm Feinsand. Gemäß den von ca. 435 cm bis zur Basis reichenden limnischen Sedimenten lag früher ein See vor, der ab 435 cm über ein Bruchwaldstadium langsam zum heutigen Flachmoor zu verlanden begann. Darauf



Abb. 4: Lage der Bohrstelle im Flachmoor auf dem Oberfennberg südöstlich der Ulmburg (1157 m ü. M.) mit dem Bohr-Team, den beiden Geographen André Stapfer (links) und Ernst Wynistorf (rechts). (Foto: Conradin A. Burga, 10. August 1988)



Abb. 5: Bohrkern aus dem Oberfenner Moor aus 500–550 cm Tiefe (Bohrgerät: Russischer Torfbohrer) mit der Grenze Tongyttja (graue Tone und Silte, rechts) / stark zersetzter Torf (braune Torf-Abfolge, links). Diese Sedimentgrenze in 525 cm Tiefe markiert die Grenze Späteiszeit / Beginn Holozän (Jüngere Dryas / Präboreal bzw. LPAZ 5/6) und entspricht etwa der Zeitmarke von 11.600 kalibrierte Kalenderjahre vor heute. (Foto: Conradin A. Burga, 10. August 1988)

weisen Feinsand, Gyttja, Schneckenschalen und vor allem die pollenanalytisch nachgewiesenen Hydrophyta hin (vgl. Kap. 4.2 und 4.5).

Der meist sehr nasse Torfabschnitt bis 400 cm Tiefe konnte nur teilweise mit den Kammerbohrgeräten geborgen werden, sodass von einer weiteren Untersuchung der Proben leider abgesehen werden musste. Der Fokus der pollenanalytischen Bearbeitung lag ohnehin auf den basalen Sedimentabschnitten (Abb. 5), indem die Frage des Eisfreiwerdens des Seebeckens bzw. der Oberfenner Terrasse während des Spätglazials und vor allem die Vegetationsentwicklung, insbesondere die spätglaziale und holozäne Einwanderung und Ausbreitung der waldbildenden Baumarten, untersucht werden sollten. Der Profilabschnitt von 400–620 cm Tiefe wurde in sehr engen Probenabständen von jeweils 4–5 cm analysiert. Eine Ausnahme bildet der Abschnitt 520–580 cm mit größeren Abständen von jeweils 20 cm, was auf einen bedauerlichen Probenverlust zurückzuführen ist. Die Bohrproben wurden im Pollenlabor des Geographischen Instituts der Universität Zürich (Abteilung Biogeographie und Bodenkunde) für die Analyse nach dem üblichen chemischen Verfahren aufbereitet: Entkalkung, Auswaschung der Humusstoffe, Acetolyse, Schwereretrennung, Äthanol-Behandlung und Einbettung in flüssigem Glycerin.

Die Analyse der Pollenproben mit dem Lichtmikroskop erfolgte bei einer routinemäßigen Vergrößerung von 400x bzw. 600–1000x für Detail-Bestimmungen. Zur Ermittlung der Pollenfrequenz wurde jeweils das Präparat flächendeckend abgesucht. Die Bestimmung der Sporomorphen erfolgte mit den Schlüsseln von SORSA (1964), ERDTMAN (1972), MOORE et al. (1991), FAEGRI & IVERSEN (1993) und BEUG (2004) sowie mit Hilfe der eigenen Referenzsammlung und der Fotosammlung von Pollen der Blütenpflanzen der Schweiz (BURGA 1987–1989). Der organische Gehalt der Tongyttja in 575 cm Tiefe wurde im Radiokarbon-Labor des Geographischen Instituts der Universität Zürich und im Laboratorium für Ionenstrahl-Physik der ETH-Zürich/Hönggerberg auf 12.220 ± 150 Jahre BP (unkalibriert vor heute (BP) datiert (Labornummer: UZ-2418/ETH-4122). Gemäß der Umrechnung mit dem Programm OxCal 4.4.4 ergeben sich folgende kalibrierte Alter in Jahren vor heute (1950), abgekürzt als cal yr BP (calibrated [cal] years [yr] before present [BP]):

- (a) in Kalenderjahre vor 1950 (cal yr BP): 14.888–13.795 cal yr BP (Wahrscheinlichkeit 95.4%)
- (b) in Kalenderjahre vor Christus (cal yr BC): 12.938–11.845 cal yr BC (Wahrscheinlichkeit 95.4%).

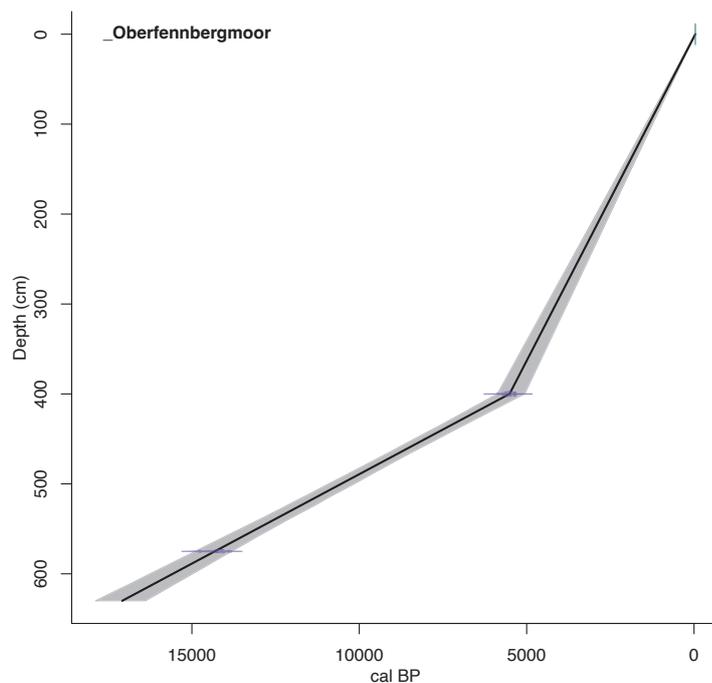


Abb. 6: Zeit-Tiefen-Modell für die Stratigraphie des Moors auf dem Oberfennberg. Darstellung durch M.-L. Ortler 2024 mit der Software *clam* (BLAAUW 2010) und unter Nutzung der vorhandenen Radiokarbondatierung (UZ-2418/ETH-4122: 12.220 ± 150 Jahre BP (unkalibriert vor heute (BP) in 575 cm Tiefe), der relativen Datierung von 4800 BP (unkalibriert) in 400 cm Tiefe (= 5480 ± 426 cal yr BP) und der Datierung von 1988 n. Chr. für die Mooroberfläche (Beprobungs-Jahr).

Nachfolgend wird mit dem Durchschnittswert von 14.341 ± 546 cal yr BP (Wahrscheinlichkeit 95.4%) in Kalenderjahre vor heute gerechnet. Dies entspricht dem Altersbereich zwischen der Untergrenze des Alleröd-Interstadials (Pollenzone II) und dem Stadial der Älteren Dryas (Pollenzone Ic) bzw. dem späten Bölling-Interstadial (Pollenzone Ib) (vgl. die Pollenzonen bzw. Zeitabschnitte in den Pollendiagrammen; Chronozonen nach MANGERUD et al. 1974; LANG et al. 2023; vgl. die Erläuterungen zu Abb. 7). Abb. 6 zeigt das Alters-Tiefenmodell für den Profilabschnitt zwischen 620 und 400 cm Tiefe, wobei dafür einerseits die vorhandene Radiokarbondatierung und andererseits auf Grund der erarbeiteten palynologischen Ergebnisse von einem relativen Alter von 4800 BP (unkalibriert) in 400 cm Tiefe ausgegangen wurde.

Die pollenanalytischen Ergebnisse wurden mit dem Programm „Tilia“ (Version 2.0.41, GRIMM 2015) aus Platzgründen in zwei Teil-Diagramme erstellt (Abb. 7 und 8). Die Häufigkeiten der gefundenen Pollentypen sind als Prozentkurven dargestellt (Definition der Pollensummen I und II, vgl. Legende zu Abb. 8), mit Nullpunkt links an der Prozentskala. Geringe Prozentwerte werden durch eine zweite 10fach überhöhte und grau hinterlegte Kurve kenntlich gemacht. Die vertikalen Skalen mit Profiltiefe (in cm), Sediment-Typ (Stratigraphie) und zeitliche Gliederung (Diagrammabschnitte bzw. LPAZ = local pollen assemblage zones) der lokalen (und nicht chronostratigraphischen) Vegetationsentwicklung und Chronozonen (PZ = Pollenzonen) stehen in beiden Teildiagrammen jeweils links (zur Chronostratigraphie vgl. die Erläuterungen zu Abb. 7 zur Zeitskala in kalibrierten Kalenderjahren vor heute).

Die wissenschaftlichen Pflanzennamen (Arten, Gattungen, Familien) in den Diagrammen kommen im Text auch mit den deutschen Namen vor. In Abbildung 7 werden Baum- und Strauchpollen dargestellt, im Hauptdiagramm die Prozentkurven zu Wald-/Bergföhre (*Pinus sylvestris*/*P. mugo*), Fichte (*Picea abies*), EMW (Eichenmischwald bestehend aus *Ulmus*, *Quercus*, *Tilia*, *Acer* und *Fraxinus excelsior*-Typ), Erlen (*Alnus glutinosa*/*A. incana*) und Beifuß (*Artemisia*). In Abbildung 8 stehen Nichtbaumpollen (NBP)/Kräuter, Moor- und Wasserpflanzen (z. T. mit Stückzahl St.), Farnpflanzen (Stückzahl), Nadel-Spaltöffnungen (Stomata, Stückzahl), Klauen bzw. Haare von Spinnentieren und Tausendfüßern (Stückzahl), die Pollensummen I und II sowie die Pollenfrequenz (PF) pro cm² Präparat (Anzahl ausgezählter Pollen und Sporen). Die Vegetationsentwicklung gliedert sich in 12 Diagrammabschnitte bzw. LPAZ der lokalen Vegetationsentwicklung, die chronostratigraphisch vom Ende der Ältesten Dryas (PZ Ia) bis zum Beginn des Subboreals (PZ VIII) reichen, d. h. einen Zeitabschnitt von ca. 15.600–ca. 5.480 cal yr BP umfassen.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Lokale Vegetationsentwicklung (Diagrammabschnitte bzw. LPAZ) und deren chronostratigraphische Zuordnung zu Pollenzonen (PZ) bzw. Chronozonen

Diagrammabschnitt (LPAZ = local pollen assemblage zone) 1: 620–612 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Artemisia* – *Pinus cembra* – *Betula* – *Juniperus* – *Ephedra* – *Hippophaë* – Poaceae – Chenopodiaceae – LPAZ:

Ansätze zum Beginn der späteiszeitlichen Wiederbewaldung mit Wald-/Bergföhre (Polenanteil 50%), wenig Birke (*Betula* 4%), Beifuß (35%), Arve (*Pinus cembra* 11%), Wacholder (*Juniperus* 3.5%), Meerträubel (*Ephedra* 2.8%), Sanddorn (*Hippophaë rhamnoides* 1%), Süßgräser (Poaceae 4%), Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae 2.8%) und artenreiches Spektrum an weiteren Nichtbaumpollen (NBP) bzw. Kräuterpollen (7%). Zum sehr hohen Anteil an Beifuß kommen Sträucher und Kräuter auf Fels-, Trocken- und Rohboden-Standorten (Meerträubel, Wacholder, Sanddorn, Gänsefußgewächse; weitere NBP), wie dies zusammen mit Wald-/Bergföhre und Birke über weite Gebiete der Alpen typisch für das Spätglazial der letzten Eiszeit (LGM) ist. Im Vergleich zu den nächstjüngeren lokalen Biozonen und mit Hilfe des Radiokarbon-Alters in 575 cm Tiefe (14.341cal yr BP, Grenzbereich Bölling-/Alleröd-Interstadial) lässt sich diese LPAZ der Endphase der **Ältesten Dryas** (PZ=Pollenzone Ia) zuordnen, einem späteiszeitlichen Zeitabschnitt, der durch das Abschmelzen der Alpengletscher und der Wiederbesiedlung eisfreier Areale durch Vegetation dank zunehmend wärmerem Klima gekennzeichnet ist (zur Chronostratigraphie vgl. die Erläuterungen zu Abb. 7 zur Zeitskala in kalibrierten Kalenderjahren vor heute).

Diagrammabschnitt (LPAZ) 2: 612–594 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Artemisia* – *Pinus cembra* – *Betula* – *Juniperus* – *Ephedra* – *Hippophaë* – Chenopodiaceae – Poaceae – LPAZ:

Etablierung einer kontinentalen Wald-/Niedriggras-Steppe aus Wald-/Bergföhre (50%), Beifuß (22%), Arve (6%), wenig Lärche (*Larix decidua*, 0.3%), Birke (*Betula* 3.5%), Wacholder (2%), Meerträubel (3%), Sanddorn (1.5%), Gänsefußgewächse (3%), Süßgräser (4%) und artenreichem Spektrum weiterer NBP (10%), wie diese heute in der zentralasiatischen Steppenregion verbreitet ist. Föhren-Holzgewebe-Funde in 605 cm belegen die Nadelhölzer-Präsenz nahe der Untersuchungsstelle. Der typische Anstieg von Wacholder und Sanddorn als Pionier- und Vorwaldgehölze zusammen mit höheren Anteilen an Wald-/Bergföhre, Arve mit wenig Lärche und Birke lassen sich mit der spätglazialen Warmphase des **Bölling-Interstadials** (PZ Ib) korrelieren.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 3: 594–577 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Artemisia* – *Betula* – *Juniperus* – *Pinus cembra* – *Larix* – *Ephedra-Hippophaë* – Chenopodiaceae – Poaceae – LPAZ:

Die Entwicklung der Wald-/Niedriggras-Steppe aus Wald-/Bergföhre (60%), Beifuß (15%), Birke (4%), Wacholder (1%), Arve (2%), Lärche (0.8%), Meerträubel (0.5%), Sanddorn (0.2%), Gänsefußgewächse (1.2%), Süßgräser (7%) und weiteren NBP (10%) weist bei einigen Gehölzen und Kräutern eine rückläufige Tendenz auf, was durch die schwache Kaltphase der **Älteren Dryas** (PZ Ic) bedingt sein könnte. Der deutliche Rückgang der Maximalwerte von Wacholder, Sanddorn, Meerträubel und den Gänsefußgewächsen weist zudem auf die sukzessionale Ablösung der Vorwaldphase (Sanddorn, Wacholder) durch die definitive Etablierung des Föhrenwaldes mit zunehmender Bestockungsdichte und geringerem Anteil an Rohboden-Arten (z. B. Gänsefußgewächse) hin.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 4: 577–554 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Betula* – *Larix* – *Pinus cembra* – *Artemisia* – *Juniperus* – *Ephedra* – *EMW* – Poaceae – LPAZ:

In der bisherigen Wald-/Niedriggras-Steppe gelangt die Wald-/Bergföhre (74%) als nahezu geschlossener Nadelwald zur Dominanz, zusammen mit vermehrt Birke (10%),

Lärche (1.5 %) und etwas Arve (1 %), während die Steppenindikatoren Beifuß (10 %), Süßgräser (5 %), Wacholder (0.4 %), Gänsefußgewächse (0.3 %), Meerträubel (0.1 %) und der Anteil übriger Kräuter (5 %) deutlich zurückgehen. Nachdem die ersten *Pinus*-Spaltöffnungen (Nadel-Stomata) bereits in LAPZ 3 auftreten, steigt hier nun deren Anzahl sehr rasch auf 94 *Pinus*- und 32 *Larix*-Stomata, zusammen mit Föhren-Holzgewebefunden in 580 und 560 cm, ein klarer Hinweis, dass der Oberfennberg von Föhrenwald mit etwas Arve und Lärche in der subalpinen Stufe bzw. an der damaligen Waldobergrenze bestockt war. Zudem treten die ersten Vertreter des Eichenmischwaldes (EMW, 2%) als Pollenfernflug auf: Eiche (*Quercus*), Ulme (*Ulmus*), Linde (*Tilia*) und Ahorn (*Acer*). Der Vergleich von LPAZ 4 mit der Vegetationsentwicklung in LPAZ 2 und LPAZ 3 ergibt dank dem Radiokarbon-Alter von 14.341cal yr BP in 575 cm Tiefe die zeitliche Zuordnung zum Grenzbereich Bölling-/Alleröd-Interstadial, im Wesentlichen zum Beginn der Warmphase des **Alleröd-Interstadials** (PZ II), ein Zeitabschnitt der ersten ausgeprägten späteiszeitlichen Wiederbewaldung durch Nadelwälder vieler Regionen der Zentral- und Ostalpen (vgl. z. B. KRAL 1979, 1989; BURGA & PERRET 1998; LANG et al. 2023).

Diagrammabschnitt (LPAZ) 5: 554–527 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Betula* – *Pinus cembra* – *Larix* – *Juniperus* – *Artemisia* – Poaceae – Chenopodiaceae – LPAZ mit wenig EMW:

Die Pollenprozentage weisen auf einen markanten Rückgang des allerödzeitlichen Nadelwaldes hin: Wald-/Bergföhre (43%), Arve (2%), Lärche (1%), Birke (10%) bei gleichzeitiger teilweise starker Zunahme der Steppenelemente Beifuß (19%), Wacholder (2.2%), Süßgräser (7%), Gänsefußgewächse (2%) und der Anteil weiterer Kräuter (10%). Dieser Nadelwaldrückgang mit Rückkehr zur Wald-/Niedriggras-Steppe mit reichlich Beifuß (*Artemisia*) wird mit der **Jüngeren Dryas** (PZ III) korreliert, die letzte, rund 1100 Jahre dauernde Kaltphase als Abschluss des Spätglazials, ein allgemein in den Alpen beobachtetes und weitgehend auch global nachweisbares, einschneidendes, abruptes Klimaereignis bei 3–4 °C tieferer Jahresmitteltemperatur, Waldgrenzsenkungen in den Alpen bis zu 200 Höhenmeter und mit größeren Gletschervorstößen im Zeitbereich von ca. 12.800 bis ca. 11.700 cal yr BP (vgl. BURGA 2020 und die dort zitierte Literatur sowie LANG et al. 2023). Die zahlreichen Stomata- und Nadel-Funde von Wald-/Bergföhre (115) und Lärche (26) in 540 cm weisen aber darauf hin, dass ein borealer Nadelwald in der montanen Höhenstufe des Fennbergs auch bei kühlerem Klima weiterhin überdauern konnte.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 6: 527–507 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Betula* – *Pinus cembra* – *Larix* – EMW – *Corylus* – *Alnus glutinosa/incana* – LPAZ:

An der Wende von LPAZ 5 zu LPAZ 6 findet zu Beginn des Holozäns (um ca. 11.700 cal yr BP) im Verlauf des **Präboreals** (PZ IV) ein markanter Floren- und Vegetationswechsel statt. Der Nadelwald aus Wald-/Bergföhre (70%) mit wenig Birke (10%), Arve (2.7%) und Lärche (0.6%) erreicht seinen letzten Höhepunkt. Der holozäne Temperaturanstieg fördert die Einwanderung der Laubhölzer des Eichenmischwaldes (EMW 6.8%) mit ersten Pollen der Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*), der Hasel (*Corylus avellana*, 7%) und der Schwarz-/Grau-Erle (*Alnus glutinosa/A. incana*, 2%). Zudem treten als Fernflug bereits erste Pollen von Fichte und Tanne auf (Kurvenbeginn der beiden Taxa).

Diagrammabschnitt (LPAZ) 7: 507–488 cm

EMW (*Ostrya*) – *Pinus sylvestris/P. mugo* – *Betula* – *Picea* – *Pinus cembra* – *Larix* – *Corylus* – Poaceae – LPAZ:

Zu Beginn dieser LPAZ findet ein Dominanzwechsel zwischen Wald-/Bergföhre (22%) und den Laubhölzern des EMW (24.2%; Eiche 9.7%, Linde 9.3%, Ulme 5.2%) mit Ausbreitung der Hopfenbuche (Maximum 6%) in der kollinen Höhenstufe statt. Unter den Linden-Pollen dominiert von 510–490 cm die Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*, zur Bestimmbarkeit vgl. BEUG 2004). Gleichzeitig erfolgt in rascher Weise die Fichten-Einwanderung (6%), während die ab LPAZ 6 geschlossene Tannen-Kurve weiterhin tiefe

Werte aufweist (1%, Pollen-Fernflug) und damit nur zögerlich vorankommt. Weiter sind Birke (12% in 500 cm; ev. letztmals noch mit wenig Zwerg-Birke), etwas Arve (6.3%), Lärche (1.4%) und Süßgräser (4%) vertreten. An der Grenze zu LPAZ 8 zeichnet sich der für das **Boreal** (PZ V) vielerorts in Mitteleuropa typische Hasel-Anstieg zu max. 13.6% ab, und gleichzeitig erfolgt die definitive Fichten-Einwanderung (Anstieg von 8% auf 24%). Zudem macht sich als Fernflug die Buche (*Fagus sylvatica*) mit geringen Pollenwerten unter 1% bemerkbar. Die chronologische Zuordnung der Grenze LPAZ 6/7 zur Wende Präboreal/Boreal ergibt sich auch durch den Vergleich der Vegetationsentwicklung mit dem nahe gelegenen auf 9.295 Jahre BP (entspricht ca. 10.200 cal yr BP) datierten Pollendiagramm von Lagabrun oberhalb Salurn (BURGA & PERRET 2013).

Diagrammabschnitt (LPAZ) 8: 488–478 cm

Picea – EMW – *Pinus sylvestris*/*P. mugo* – *Betula* – *Corylus* – *Alnus glutinosa/incana* – LPAZ: Diese Biozone ist gekennzeichnet durch die ersten Maxima von Fichte (24%) in der Montanstufe und des EMW (27%) mit Hopfenbuche (4.6%) in der kollinen Stufe, während die Föhrenbewaldung (19%) vor Ort mit etwas Birke (8%), wenig Arve (3%) und Lärche (1.2%) nahezu unverändert bleibt. Weiter nähert sich die Tanne dem Gebiet, indem die Kurve von 0.7% auf 2.5% ansteigt. Die Hasel geht von ihrem Maximum (13.6%) in LPAZ 7 auf 7.2% zurück, ist aber weiterhin ein chronologischer Hinweis für das **Boreal** (PZ V). Die Erlen (*Alnus glutinosa* und *A. incana*) weisen erstmals einen schwachen Gipfel mit 3% auf, was aber noch nicht auf Präsenz im Gebiet schließen lässt.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 9: 478–458 cm

Picea – *Pinus sylvestris*/*P. mugo* – EMW – *Abies* – *Fagus* – *Betula* – *Corylus* – *Alnus glutinosa/incana* – LPAZ:

Nun erreicht die Fichte mit 50% ihr erstes und absolutes Maximum im Gebiet und dürfte für den starken, wohl konkurrenzbedingten Föhren-Rückgang (17%) verantwortlich sein, während in der Kollinstufe der EMW (30%) mit Hopfenbuche (2.3%) das absolute Maximum erreicht wird (Eiche 16.2%, Ulme 7.7%, Linde 3.9%, Ahorn 0.4%, Esche 1.7%). Zudem erfolgen die Kurvenanstiege der Tanne (von 2.5% auf 13%) und der Buche (von 0.7% auf 3.3%), indem die Tanne die Montanstufe erreicht haben dürfte, jedoch die Buche im Gebiet wahrscheinlich noch fehlte. Der stetige Hasel-Rückgang von 6.8% auf 3.3% liegt an der Wende **Boreal/Älteres Atlantikum** (PZ V/VI). Gleichzeitig weist die Birke (8%) eine leichte Zunahme auf. Das deutliche Arven-Maximum (6%) mit wenig Lärche (1.2%) in der subalpinen Stufe dürfte von lokaler Bedeutung sein (evtl. Nähe zur Val di Cembra im Trentino). Die Erlen-Ausbreitung von LPAZ 8 setzt sich mit 4% fort (möglicherweise aufkommender Erlen-Auenwald im Etschtal des Südtiroler Unterlandes). LPAZ 9 ist durch den markanten Dominanzwechsel zwischen den Laubhölzern des Eichenmischwaldes (12%) und den Nadelhölzern gekennzeichnet, wie die starke Fichten-Ausbreitung (absolutes Maximum 50%) mit wenig Föhre (15%) und Tanne (8%). Ab 475 cm treten in den Proben durchgehend bis zum oberen Profilende Holzgewebereste auf (PZ V–VIII). Die Grenze zu LPAZ 10 wird beim gemeinsamen Anstieg von Fichte, Tanne und Buche gezogen.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 10: 458–438 cm

Abies – *Picea* – *Pinus sylvestris*/*P. mugo* – EMW – *Fagus* – *Betula* – *Alnus glutinosa/incana* – LPAZ:

Zu Beginn des **Älteren Atlantikums** (PZ VI) erreicht neben der Fichte (18%) neu auch die Tanne (26%) das Gebiet. Die beiden schattentoleranten Nadelhölzer bilden nun in der Montanstufe eine Konkurrenz zur Föhre (Rückgang auf 12%). Gleichzeitig gehen auch die Laubhölzer des EMW mit Hopfenbuche auf 9% bzw. 1.2% stark zurück. Der in LPAZ 9 einsetzende Buchen-Anstieg setzt sich mit 9.6% fort, während sich bei der Birke (2.2%) ein deutlicher Rückgang abzeichnet. Die Erlen (5–7%) sind weiterhin mit ähnlichen Werten vertreten, während die Hasel (2.4%) nur noch geringe Werte aufweist. Die Grenze zu LPAZ 11 wird auf Grund des Dominanzwechsels von *Picea abies* und *Abies alba* zu *Pinus sylvestris*/*P. mugo* (24%) gezogen.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 11: 438–418 cm

Pinus sylvestris/P. mugo – *Picea* – *Abies* – EMW – *Fagus* – *Betula* – *Alnus glutinosa/incana* – LPAZ:

Nun erlangt erneut die Wald-/Bergföhre (25 %) die Dominanz über die anderen rückläufigen Waldbildner wie Fichte (16 %), Tanne (12 %), EMW (9 %), Buche (7 %), Birke (2 %) und Erlen (3.5 %), während sich bei Arve und Lärche der subalpinen Stufe eine leichte Zunahme von 4 % bzw. 2 % abzeichnet; zudem steigen die Kräuter- und Sträucher-Pollen bis auf 11 %. Gemäß dem Diagramm-Vergleich mit der um 6200 Jahre BP (entspricht ca. 6.900 cal yr BP) datierten Vegetationsentwicklung auf dem Signater Kopf 1260 m ü. M. am Ritten (SCHMIDT 1975) fällt dieses Ereignis in die Zeitgrenze **Älteres Atlantikum/Jüngerer Atlantikum** (PZ VI/PZ VII), weshalb ungefähr an der Untergrenze von LPAZ 11 diese Grenze gezogen wird. Möglicherweise zeichnen sich bei dieser Änderung der Waldzusammensetzung die mittelholozänen Kaltphasen Misox II/Larstig/Frosnitz der Zentral- und Ostalpen ab (vgl. BURGA 2020 und die dort zitierte Literatur). Die Grenze zu LPAZ 12 wird beim Dominanzwechsel von Wald-/Bergföhre zu Fichte und Tanne gezogen.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 12: 418–400 cm

Picea – *Pinus sylvestris/P. mugo* – *Abies* – *Fagus* – EMW – *Alnus glutinosa/incana* – *Betula* – LPAZ:

Nun erfolgt ein erneuter Dominanzwechsel von Wald-/Bergföhre (21 %) zu Fichte (30 %, zweites Maximum nach dem Boreal), begleitet vom zweiten Tannen-Maximum (15 %) nach dem Älteren Atlantikum. Zugleich weisen EMW (5–14 %) und Buche (7 %) zunehmende Werte auf, während die Erlen (3 %) und Birke (2.4 %) schwach vertreten sind. Die Laubholzarten des EMW der kollinen Stufe sind mit Eiche (11 %), Ulme (1.3 %), Linde (0.7 %), Ahorn (0.3 %), Esche (*Fraxinus excelsior*-Typ, 0.9 %) und Hopfenbuche (0.8 %) sehr gut vertreten. Fichte, Tanne und Wald-/Bergföhre bilden gemäß den reichlichen Nadel-Stomata-Funden montane Nadelwälder in der Umgebung des Oberfenner Moors. Dazu kommt noch der Regionalflug von Arve und Lärche (subalpine Stufe) mit leicht höheren Pollenprozenten von rund 1 %. LPAZ 12 könnte möglicherweise bereits mit dem Beginn des **Subboreals** (PZ VIII) zusammenfallen. Denn die für diesen Zeitbereich typische Fichten- und Tannenausbreitung (montaner Fichten-Tannenwald, tiefsubalpiner Fichtenwald) erfolgte manchenorts in den Südostalpen (z. B. Wölflmoor/Bozen, KRAL & CARMIGNOLA 1986; Rinderplatz/Brixen, KRAL 1989).

4.2 Spätglaziale und holozäne Vegetationsgeschichte (ca. 15.600–5.480 cal yr BP)

Die Basis des Moorprofiles beginnt mit einer 30 cm mächtigen Feinsandschicht (von 630 bis 600 cm Tiefe), die gemäß dem Polleninhalte einer protokratischen Flora und der Radiokarbondatierung in 575 cm Tiefe in die Zeit der späteiszeitlichen Wiederbewaldung mit Wald-/Bergföhre, z. T. Arve und Lärche sowie wenig Birke während der Endphase der **Ältesten Dryas** (ganze Periode älter als 15.600 cal yr BP, LITT et al. 2003; EHLERS 2011) und der darauffolgenden ersten spätglazialen Warmphase des **Bölling-Interstadials** (ca. 15.600–ca. 13.800 cal yr BP) mit lokalem Wiederbewaldungsbeginn fällt, wobei Sanddorn (*Hippophaë*) und Wacholder (*Juniperus*) eine wichtige Rolle als Pionier- und Vorwaldgehölze spielten. Waldfreie Standorte wurden v.a. von Beifuß (*Artemisia*), Süßgräsern (Poaceae) und Gänsefußgewächsen (Chenopodiaceae), Trocken- und Felsstandorte von Meerträubel (*Ephedra distachya*-Typ und *E. fragilis*-Typ) und Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia*-Typ) sowie Wiesenstandorte besiedelt, worauf das reiche Krüuterpollen-Spektrum hinweist. Als dominante Vegetation ist von der kollinen bis zur unteren montanen Höhenstufe eine kontinentale Wald-/Niedriggras-Steppe aus Wald-/Bergföhre anzunehmen, wie diese Vegetation heute in der ostasiatischen Steppenregion verbreitet ist (z. B. Ostsibirien, Mandchurei, WALTER et al. 1986). Hinweise zu Kräutern von Wiesen und Trockenrasen geben Pollenfunde von Asteraceae (v.a. zungenblütige Korbblütler, *Centaurea scabiosa*-Typ), Ranunculaceae (Hahnenfußge-

wächse, *Ranunculus acris*-Typ, *Thalictrum*), Apiaceae (Doldenblütler), Rosaceae (Rosengewächse, u. a. *Filipendula*, *Sanguisorba minor*), Fabaceae (Schmetterlingsblütler, *Lotus*-Typ, *Ononis*-Typ), Brassicaceae (Kreuzblütler), Lamiaceae (Lippenblütler, *Prunella*-Typ), Rubiaceae (Rötegewächse), *Plantago strictissima* oder *P. alpina* (Schlangen- oder Alpen-Wegerich), *Rumex/Oxyria*-Typ (Ampfer/Säuerling), *Persicaria bistorta* (Schlangen-Knöterich), *Dianthus*-Typ (Nelke), *Gypsophila*-Typ (Gipskraut) und *Helianthemum* (Sonnenröschen) (vgl. Abb. 8).

Das heutige Oberfennner Moor war im Spätglazial sicher noch ein See, wie dies aus den Sedimenten, Grünalgen-Nachweisen (v.a. *Pediastrum boryanum*) und Blütenpflanzen von Nass-Standorten hervorgeht. Pollennachweise von *Potamogeton* (Laichkraut), *Sarganium* (Igelkolben), *Myriophyllum verticillatum* (Tausendblatt), *Hippuris* (Tannenwedel) und *Alisma* (Froschlöffel) (vgl. weitere Hydrophyta, Abb. 8) weisen bereits auf eine reiche Schwimmblattvegetation hin (vgl. Kap. 5.3).

Zwischen dem Bölling- und dem Alleröd-Interstadial wird der gebietsweise nachweisbare schwache späteiszeitliche Kälterückschlag der **Älteren Dryaszeit** (PZ Ic) vermutet, der zu aufgelichteten Wäldern führte (EHLERS 2011). Im vorliegenden Pollenprofil schwanken die Föhren- und Birkenwerte, und die Werte von Arve, Sanddorn und Wacholder nehmen ab. Obwohl das Klimasignal schwach ist, wird die LPAZ 3 mit der PZ Ic von EHLERS (2011) korreliert, mit undeutlicher Grenze zum Bölling-Interstadial (PZ Ib von EHLERS 2011).

Das Radiokarbonalter von 14.341 cal yr BP (konventionell und unkalibriert 12.220 Jahre BP) in 575 cm Tiefe liegt im Grenzbereich zu der nachfolgenden ausgeprägten späteiszeitlichen Warmphase des **Alleröd-Interstadials** (PZ II, chronostratigraphische Untergrenze ca. 13.800 cal yr BP). Diese rund 900 Jahre dauernde Klimagunst erlaubte auch auf dem Oberfennberg eine ausgedehnte Nadelwaldentfaltung, dominiert von Föhre mit Arve und Lärche (zahlreiche *Pinus*- und *Larix*-Stomata-Funde). Unter den Birkenpollen dominieren kleine Pollentypen, die möglicherweise von der Zwerg-Birke (*Betula nana*) stammen könnten (zur größenstatistischen Birkenpollen-Bestimmung vgl. BEUG 2004). Möglicherweise bildete diese zusammen mit Wacholder und Weiden eine niedere Strauchschicht im lichten Föhrenwald, während die Meerträubel (*Ephedra distachya*- und *E. fragilis*-Typ) nach wie vor an offenen, trockenen Standorten vertreten waren. Die im Bölling-Interstadial nachweisbare reiche Kräuter-Flora ist nun, wohl infolge der dichteren Bewaldung, etwas weniger divers vertreten.

Obwohl nur mit einem Pollenspektrum vertreten, erfolgt in 540 cm Tiefe (LPAZ 5) ein markanter Unterbruch in der Föhrenwald-Entwicklung, indem die *Pinus*-Werte um ca. 30 % einbrechen, aber die *Betula*-Werte etwas zunehmen (12 %), während die Steppen-Indikatoren *Artemisia*, *Juniperus*, die Chenopodiaceae und Poaceae jeweils um 15 % bzw. 2 % bzw. 1.5 % bzw. 4 % ansteigen. Auch die Kräuter-Flora wird wieder artenreicher: Neu zu den im Bölling-Interstadial erwähnten Taxa kommen *Geranium* (Storchschnabel), *Scrophularia* (Braunwurz) und *Bartsia*-Typ (Alpenhelm) dazu. Besonders häufig sind *Rumex/Oxyria*, *Thalictrum*, die Apiaceae und Asteraceae. Demzufolge stockte auf dem Oberfennberg ein aufgelichteter Föhrenwald mit Wacholder und vermehrt Kräuter im Unterwuchs. Aus dem weiteren Profilverlauf ist dieser Einbruch der Waldentwicklung der letzten spätglazialen, nahezu 1100 Jahre dauernden ausgeprägten Kaltphase der **Jüngeren Dryas** (PZ III) mit einer Waldgrenz-Senkung in den Zentralalpen von bis zu 200 Höhenmetern zuzuordnen (vgl. EHLERS 2011, BURGA 2020, LANG et al. 2023).

Nach diesem klimatisch bedingten Rückschlag setzt sich zu Beginn des Holozäns ab LPAZ 6 die Waldentwicklung im **Präboreal** (PZ IV) fort, indem die *Pinus*-Werte um 25 % ansteigen (ab hier kontinuierliche Funde von Nadel-Stomata) und nun die wärme-liebenden Laubhölzer des Eichenmischwaldes (EMW, *Quercus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Acer*, Anstieg von 8 % auf 19 %) mit der Hasel (*Corylus avellana*, Anstieg von 2 % auf 7 %) in der kollinen Höhenstufe einwandern. Zudem treten hier erstmals Pollen der submediterranen Hopfenbuche (*Ostrya*-Typ) auf. Erste Pollenfunde von Fichte (*Picea abies*) und Tanne (*Abies alba*) weisen auf deren Einwanderungsbeginn in die weitere Region. Die Steppenelemente *Juniperus* und *Ephedra* gehen auf Werte von 0.1 % zurück und kommen in jüngeren Zeitabschnitten nur noch selten oder kaum mehr vor. Am auffälligsten ist

der drastische *Artemisia*-Rückgang von 19.4% auf 1.8% (vgl. die *Artemisia*-Kurven I und II, Abb. 7). Die lichten Föhrenwälder und Rasengesellschaften der Montanstufe weisen eine reiche Kräuterflora von max. 6% NBP auf (Poaceae, Rosaceae, Fabaceae, Apiaceae, Asteraceae, *Helianthemum*, *Plantago alpina*, *Scabiosa*, *Thalictrum*, Rubiaceae, Ranunculaceae), wobei nun erstmals *Anemone trifolia* oder *A. nemorosa* (Dreiblättrige Anemone oder Busch-Windröschen, pollenmorphologisch und größenstatistisch der *Ranunculus acris*-Typ) auftritt.

Im Verlauf der LPAZ 7 (Wende Präboreal/Boreal) ändert sich das Waldbild grundlegend, indem der Föhrenwald der montanen Höhenstufe endgültig die Dominanz verliert (Rückgang um rund 40%) zugunsten der sich ausbreitenden Laubhölzer des EMW (Maximum 24.7%) mit Hopfenbuche (Maximum 5.9%) und wenig Esche (0.5–0.8%). Zudem macht sich die einwandernde Fichte (Anstieg von 2.8% auf 8.4%) mit ersten Stomata bemerkbar, welche auf deren Anwesenheit in der Montanstufe hinweisen. In der subalpinen Stufe sind nach wie vor etwas Arve, Lärche und Bergföhre/Latsche vertreten. Die seit dem Spätglazial oft zusammen mit der Föhre auftretende Birke erreicht in LPAZ 7 mit 18.6% ihr Maximum (mit letzten kleinen Birkenpollen-Typen, die evtl. auf Zwerg-Birke hinweisen könnten). Die im Präboreal eingewanderte Hasel erlangt nun mit 10.4% ihr Maximum, zusammen mit der EMW-Ausbreitung ein Hinweis auf das **Boreal** (PZ V). Ein Diagramm-Vergleich mit der Pollenanalyse des Moores von Lagabrun oberhalb Salurn (BURGA & PERRET 2013), wo der erste Fichtenanstieg mit 9.295 Jahre BP (entspricht ca. 10.500 cal yr BP) datiert wurde, bestätigt den hier gezogenen Zeitbereich etwa Ende Präboreal. Die zu Beginn des Boreals erfolgte Fichteneinwanderung bis in die Montanstufe wurde auch am Großen Montiggler See und am Signater Kopf (Ritten) festgestellt (SCHMIDT 1975). Im Verlauf des Boreals rücken mit ersten Pollenfunden die Tanne und auch die Buche mit Werten <1% (Fernflug) näher in die Region, während in der Montanstufe die Fichte mit rund 24% ihr erstes Maximum und der Eichenmischwald in der kollinen Stufe seinen ersten Gipfel von 25% erreicht (LPAZ 7).

Gegen Ende des Boreals gelangt die Fichte mit 50% (absolutes Maximum) zu längerer Dominanz, während die Hasel einen kontinuierlichen Rückgang von 4% auf 2% aufweist. Auf Grund dessen wird die Zeitgrenze zum **Älteren Atlantikum** gezogen. Der Fennberg war damals vorwiegend mit Fichtenwald in der Montanstufe und mit Fichte, wenig Lärche und Arve in der subalpinen Stufe bestockt, im Gegensatz zum heutigen dominanten montanen Buchen-Tannenwald. An der Wende Boreal/Älteres Atlantikum erfolgte die Einwanderung der Tanne (Anstieg von 2.5% auf 13%) und etwas später der Buche (Anstieg von 0.5% auf 3.5%), wobei die Tanne sich rascher durchsetzte und im Älteren Atlantikum bereits mit der Fichte den montanen Tannen-Fichtenwald bildete. Der im Boreal und zu Beginn des Älteren Atlantikums mit max. 27–30% vertretene Eichenmischwald weist jedoch gleichzeitig einen kontinuierlichen Rückgang auf. Dies dürfte mit der zunehmenden Schattenholzkonzurrenz von Tanne und Buche sowie möglicherweise mit den Misox I- und Misox II/Larstig/Frosnitz-Kaltphasen zusammenhängen (vgl. BURGA 2020).

Zu Beginn des **Jüngeren Atlantikums** veränderte sich wahrscheinlich klimabedingt die Zusammensetzung der Oberfennner Bewaldung, indem der Tannen-Fichtenwald stellenweise durch Föhrenwald mit reicherem Kräuter- und Sträucher-Unterbuch ersetzt wurde (vgl. die Ausführungen zu LPAZ 11, Kap. 4.1).

Das Pollenprofil endet in 4 m Tiefe mit LPAZ 12, indem die Fichte wieder zur Dominanz gelangt und Tanne, Buche und der Eichenmischwald erneut zunehmen. Gleichzeitig tritt *Anemone* sp. (*Ranunculus acris*-Typ) in der Krautschicht des montanen Buchen-Tannen- bzw. Fichten-Tannenwaldes häufiger auf (Abb. 8). Diese Waldentwicklung könnte in den Beginn des **Subboreals** ab ca. 5700 cal yr BP fallen (vgl. die Angaben zu LPAZ 12, Kap. 4.1). Der aktuelle montane Buchen-Tannenwald mit einzelnen Waldföhren hatte sich damals auf dem Oberfennberg noch nicht herausgebildet, wohl aber der höher gelegene Karbonat-Kiefernwald mit Bergföhre/Latsche. Die in den Alpen oft als Rodungsindikator auftretende Grün-Erle (*Alnus alnobetula*) tritt ab dem Boreal mit geringen Prozentwerten auf, die bis zum jüngsten Profilabschnitt Werte von 4% nicht überschreiten (Abb. 7). Ferner erreicht der Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) als Wald-

Lichtungszeiger insgesamt nur geringe Prozentwerte. Kulturindikatoren (Pollen von Getreide, Acker- und Ruderalpflanzen, Edelkastanie) wurden pollenanalytisch nicht festgestellt, sodass im untersuchten Profilabschnitt noch kein erkennbarer menschlicher Einfluss auf die Vegetation vorliegt. Wahrscheinlich fallen die beiden obersten LPAZ 11 und 12 in den Zeitbereich des Neolithikums, also um ca. 3500 v. Chr. (5650 cal yr BP) (zur Chronostratigraphie vgl. die Erläuterungen zu Abb. 7 zur Zeitskala in kalibrierten Kalenderjahren vor heute).

4.3 Zur spätglazialen und holozänen Einwanderung und Ausbreitung von Wald-/Bergföhre, Fichte, Tanne und Buche, mit Hinweisen zur Zwerg-Birke und zum Meerträubel

Aufgrund der unsicheren pollenanalytischen Unterscheidung von Wald- und Bergföhre bzw. Latsche (*Pinus sylvestris*, *P. mugo*) wurden in dieser Arbeit (wie allgemein üblich) beide Baumarten als *Pinus sylvestris*/*P. mugo*-Typ zusammen erfasst. Die Waldföhre weist in ganz Europa eine hohe Anzahl von Varietäten und Ökotypen auf, was florensgeschichtliche Untersuchungen und deren Vergleiche erschwert. Letzteiszeitliche (LGM) Glazialrefugien der Waldföhre werden im Mittelmeergebiet Südeuropas mit Vorkommen um >20.000 cal yr BP angegeben (CHEDDADI et al. 2006; LANG et al. 2023). Entsprechende Nachweise von Pollen und Makrofossilien werden von der Iberischen Halbinsel über die Apenninen- bis zur Balkan-Halbinsel aufgeführt. Für Südtirol sind die Glazialrefugien der Apenninen-Halbinsel und des Nordwest-Balkan (v.a. Slowenien) relevant. In weiten Teilen der Alpen erfolgte die spätglaziale Föhren-Ausbreitung in breiter Front und nahezu gleichzeitig, so dass detaillierte Einwanderungswege schwer eruierbar sind. Am südlichen Alpenrand erscheinen sofort während der Wiederbewaldung auch die Arve und Lärche. Diese dürften an den waldgrenznahen Wäldern beteiligt gewesen sein (KRAL 1979), was gemäß den Profilen Lagabrun und Oberfennberg auch für den südlichen Mendelzug anzunehmen ist.

Die letzteiszeitlichen Fichten-Refugien Süd-Europas weisen eine komplexe Geschichte auf (RAVAZZI 2002). Die größte Fichtenausbreitung erfolgte nicht in der letzten Zwischeneiszeit, sondern während Warmphasen (Interstadialen) der mittleren Hauptvereisung (Pleniglazial) der letzten Eiszeit (Last Glacial bzw. Würm-Kaltzeit). Während den Interstadialen Bölling (PZ Ib) und Alleröd (PZ II) konnte in Süd-Europa eine starke Fichtenausbreitung nachgewiesen werden. Für die Ost-West-Einwanderung der Fichte in den Alpenraum waren die eiszeitlichen Refugien der östlichen Voralpen nördlich von Venedig (Prealpi Venete) und in Slowenien (Julische Alpen) entscheidend (RAVAZZI et al. 2006; LANG et al. 2023). Vom östlichen Alpenrand und/oder vom Dinarischen Gebirge wanderte die Fichte bereits zu Beginn des Boreals wahrscheinlich v.a. auf dem Alpensüdrandweg u. a. vom Nord-Friaul (Val Canale) (KRAL 1989) nach Westen, weiter in die Val Sugana (Forcellona) (KRAL 1980) und ins Etschtal (Trentino/Südtirol), wobei dann etwa Mitte Boreal um ca. 9500 cal yr BP auch Lagabrun oberhalb Salurn und Oberfennberg erreicht wurden. Gleichzeitig gelangte die Fichte auch in die Gegend des Großen Montiggler Sees und des Signater Kopfs (Ritten) (SCHMIDT 1975). Weiter nördlich im Raum Deutschnofen-Eggental (Wöflmoor 1290 m) und auf der Seiser Alm (Großes Moos 1880 m) wanderte die Fichte später an der Wende Boreal/Älteres Atlantikum ein (KRAL 1983; KRAL & CARMIGNOLA 1986). Im Boreal und Älteren Atlantikum gelangte die Fichte im Untersuchungsgebiet in der obermontanen und subalpinen Stufe zu großräumiger Dominanz. Die Fichte wanderte rasch weiter am südlichen Alpenrand gegen Westen bis zum Tonale- und Apricapass, erreichte um 8900 cal yr BP an der Wende Boreal/Älteres Atlantikum das obere Veltlin und wenig später das Puschlav (BURGA 1987). Auf der Inntal-Route (Nord-Tirol) migrierte die Fichte um 8400–7400 cal yr BP im Älteren Atlantikum ins Unterengadin und weiter über den Arlberg-Pass ins Klosterthal (Vorarlberg) und via St. Galler Rheintal nach Süden nach Graubünden in die Vorder- und Hinterrhein-Täler, ins Oberhalbstein und über den San Bernardino-Pass nach Süden bis ins Misox und Nord-Tessin (vgl. ZOLLER 1960; BURGA & CHÉDEL 2016; BURGA 2025 in Druck).

An der Wende Boreal/Älteres Atlantikum wanderten gemäß den Pollenanalysen Oberfennberg und Lagabrun kurz nach 8900 cal yr BP zunächst die Tanne und kurz danach die Buche in die Region Südtiroler Unterland ein. Dies wurde auch für den Großen Montiggler See und den Signater Kopf (Ritten) (SCHMIDT 1975) sowie für den südöstlichen Alpenrand bzw. den italienischen Südalpen festgestellt (KRAL 1979, 1989). Gemäß den Pollenprozentwerten von Oberfennberg und Lagabrun vermochte sich die Tanne rascher als die Buche im montanen Fichten-Tannenwald (Ostalpines Abietetum) zu etablieren. Ihre Hauptverbreitung erlangte die Tanne aber erst im Subboreal (Wölflmoor, Seiser Alm; KRAL & CARMIGNOLA 1986; KRAL 1983).

Auf der Apenninen-Halbinsel zeichnen sich bezüglich den ältesten Pollennachweisen zu den letztglazialen Tannen-Refugien vier Schwerpunktregionen ab: Kalabrien, Mittelitalien (Toskana), der NW-Apennin und das östliche südalpine Vorland Norditaliens (LANG et al. 2023). Die beiden letztgenannten Regionen liegen geographisch zum Untersuchungsgebiet am nächsten, sodass diese für die spät- und postglaziale Migration der Tanne nach Norden sehr wahrscheinlich die relevantesten Glazialrefugien waren (vgl. TERHÜRNE-BERSON et al. 2004; HOFSTETTER et al. 2006). Zudem dürften die Topographie und in tieferen Lagen mediterrane Holzarten wie Steineiche (*Quercus ilex*) und andere Eichenarten, Steinlinde (*Phillyrea spec.*) u. a. Immergrüne (vgl. LANG et al. 2023) die Migrationswege der Tanne wahrscheinlich beeinflusst haben.

Die letzteiszeitlichen Buchen-Refugien Europas sind vielfältig, indem u. a. Süd- und Zentral-Italien und die Balkan-Halbinsel angegeben werden (FOLLIERI et al. 1998; MAGRI 2008; MAGRI et al. 2015). Als für Südtirol bzw. das Südtiroler Unterland relevante Buchen-Herkunftsregionen kommen die Südostalpen, insbesondere die Julischen Alpen (Nord-Friaul, Slowenien) in Frage, wo die Tanne und Buche im Boreal einwanderten und sich während des Älteren Atlantikums ausbreiteten (KRAL 1979, 1989). Weitere mögliche letzteiszeitliche Buchen-Refugien wären in Slowenien, Istrien und in den Dinariden Kroatiens zu lokalisieren. Im Jüngeren Atlantikum begannen sich in den Ostalpen die heutigen Waldzonen herauszubilden, indem die Tanne und etwas später die Buche zusammentrafen (Abieti-Fagetum, Fagetum); im Subboreal kam dort die Einwanderung der Hauptbaumarten zum Abschluss (KRAL 1972).

Die größenstatistische und pollenmorphologische Unterscheidung zwischen den Baumbirken (*Betula pendula*, *B. pubescens*) und der Zwerg-Birke (*Betula nana*) ist ohne Makrorestfunden (u. a. die typischen Blätter) sehr unsicher (BEUG 2004). Im Spätglazial (Älteste Dryas, Bölling-Interstadial) war die Zwerg-Birke oft zusammen mit den Baumbirken verbreitet. In den südlichen Alpen soll *Betula nana* im Spätglazial an klimatisch günstigen Standorten mit genügend Niederschlägen zusammen mit den Baumbirken (*Betula pendula*, *B. pubescens*) vorgekommen sein (LANG et al. 2023). Im vorliegenden Pollendiagramm wurde die Zwerg-Birke wegen der unsicheren pollenmorphologischen Unterscheidung der deutlich kleineren Birkenpollen im Vergleich zu Baumbirken-Pollen (vgl. BEUG 2004 und die dort zitierte Spezialliteratur zur Zwerg-Birke) und aufgrund fehlender Makrofossilien nicht gesondert dargestellt. Die deutlich kleineren Birken-Pollenanteile betreffen die Diagrammabschnitte 2–6, d. h. das Spätglazial (Bölling-Alleröd-Jüngere Dryas) und das Frühholozän (Präboreal). Ob die Zwerg-Birke einmal im Untersuchungsgebiet vorgekommen ist, muss somit offengelassen werden, wäre aber im Spätglazial denkbar. Heutige Zwerg-Birken-Vorkommen in Mitteleuropa (ca. südlich 55 °N) sind Eiszeitrelikte (Arealkarte in JALAS & SUOMINEN 1988). Es ist ungewiss, ob *Betula nana* in Italien vorkommt bzw. vorgekommen ist. Im Veltlin wurde die Zwerg-Birke rezent nicht gefunden; für die Val Camonica sei ein Vorkommen auszuschließen. (PIGNATTI 2017–2019). Das nächstliegende rezente Vorkommen der Zwerg-Birke befindet sich im Nordtiroler Radurschltal bei Pfunds nahe der Grenze zu Südtirol (PAGITZ et al. 2023).

Im Bohrprofil treten von 620–515 cm Tiefe (Diagrammabschnitte 1–6) die beiden Meerträubel-Pollentypen *Ephedra distachya*-Typ und *Ephedra fragilis*-Typ auf, wobei der erste Typ häufiger vorkommt. Der *Ephedra distachya*-Typ wurde in Europa während der letzten Eiszeit, insbesondere im Spätglazial, am häufigsten gefunden und bildete zusammen mit *Artemisia* und Chenopodiaceae eine Gebirgs-Felsensteppe (*Stipa*-Steppe). Viele Autoren schließen bei Pollenwerten von 1–2% auf lokale Vorkommen (LANG et al. 2023).

Die rezente Art *Ephedra helvetica* ist als Relikt in Südosteuropa in der Felsensteppe (*Stipa*-Steppe) im Ephedro-Artemisietum verbreitet (BRAUN-BLANQUET 1961). Frühere *Ephedra*-Vorkommen während der letzten Eiszeit werden in Südeuropa als möglich bis sehr wahrscheinlich beurteilt. Während eine spätglaziale Verbreitung des *Ephedra distachya*-Typs in den Nordalpen als möglich gehalten wird, wird dort der *Ephedra fragilis*-Typ als ausgeschlossen beurteilt. In Südeuropa sollen beide Arten während der letzten Eiszeit weiter als heute verbreitet gewesen sein (LANG et al. 2023). Die Schwierigkeiten bei den *Ephedra*-Nachweisen bestehen darin, dass bisher keine Makroreste gefunden wurden und dass je nach Region ein Ferntransport der Pollen aus Nordafrika (Saharastaub) in Betracht zu ziehen ist (*Ephedra*-Funde im Gletscher-Eis bzw. in Seesedimenten, BORTENSCHLAGER 1967 bzw. DRESCHER-SCHNEIDER 1993).

Im Profil Oberfennberg treten von der Ältesten Dryas bis ca. Mitte Präboreal beide *Ephedra*-Pollentypen auf, wobei der *Ephedra distachya*-Typ meistens häufiger vertreten ist. In jüngeren Profilabschnitten wurden keine *Ephedra*-Pollen mehr gefunden, was dafür spricht, dass die älteren Funde eher nicht aus dem Ferntransport Afrikas stammen dürften. Der *Ephedra distachya*-Typ erreicht höchste Werte von 0.6–1.1 % im Zeitbereich Älteste Dryas bis Bölling-Interstadial (ca. 15.600–13.800 cal yr BP). Gleichzeitig weisen *Artemisia* und die Chenopodiaceae Werte von 15–35 % bzw. 2–3 % auf. Die *Ephedra*-Prozentwerte nehmen allgemein mit jüngerem Alter ab, was auf einen Arealverlust des Meerträubels infolge Schließung offener Standorte während der spätglazialen Wiederbewaldung durch Föhre, Arve und Lärche hindeuten könnte.

Im benachbarten Moor Lagabrun wurden auch beide *Ephedra*-Pollentypen für denselben Zeitraum nachgewiesen (BURGA & PERRET 2013). Im Großen Montiggler See treten in dessen spätglazialen Sedimenten ebenfalls beide *Ephedra*-Pollentypen auf, wobei der *Ephedra distachya*-Typ während der Ältesten Dryas gar mit max. 4 % vertreten ist (SCHMIDT 1975). Auch in den spätglazialen Ablagerungen des Signater Kopfs (Ritten) wurden beide Pollentypen durch denselben Autor nachgewiesen. Ob während des Spätglazials im Untersuchungsgebiet tatsächlich *Ephedra* vorgekommen ist, wäre denkbar, muss aber ohne Makrorest-Nachweise offengelassen werden.

Die pollenanalytischen Untersuchungen von STUMBÖCK (1999) an vier Mooren des Schnalstals und Passeiertals ergaben für das Spätglazial Nachweise des *Ephedra distachya*- und *E. fragilis*-Typs, wobei der erstere Pollen-Typ mit 0.5–5 % meistens häufiger ist. Durch die Nähe der Schnalstaler Moore zum Vinschger Sonnenberg, wo heute *Ephedra helvetica* vorkommt, könnten die *Ephedra*-Pollenfunde darauf hinweisen, dass dort wahrscheinlich schon im Spätglazial das Meerträubel verbreitet war. Auch vom Natzer Plateau, von der Villanderer Alm und vom Penser Joch gibt es *Ephedra*-Pollennachweise aus dem Spätglazial mit Werten von 0.2–2 % (SEIWALD 1980; BURGA & EGLOFF 2001).

Heute kommt *Ephedra helvetica* (bzw. *Ephedra distachya* subsp. *helvetica*, vgl. ZIPPEL & WILHALM 2007) in Südtirol an den folgenden Lokalitäten vor: Bei Schlanders, Naturns und an weiteren Stellen des Vinschger Sonnenbergs, bei Pfatten am Mitterberg südlich von Bozen und früher am Schloss Sigmundskron bei Bozen (WILHALM 2007; WILHALM et al. 2009; PIGNATTI 2017–2019; www.florafaua.it). In der Roten Liste der gefährdeten Gefäßpflanzen Südtirols wird *Ephedra helvetica* mit EN=stark gefährdet beurteilt (WILHALM & HILPOLD 2006). In der Provinz Trento soll *Ephedra helvetica* „äußerst selten“ auf dem Nordhang des Doss Trento oberhalb der Stadt Trento und bei Nomi nördlich Rovereto vorkommen (PROSSER et al. 2019).

4.4 Farnpflanzen und Moose als Indikatoren verschiedener Standorte

Im Moorprofil ist eine recht artenreiche Farnpflanzen-Flora verschiedener Standorte vertreten (Abb. 8). Die meisten Sporennachweise betreffen das Holozän seit dem Präboreal (PZ IV). Im engsten Zusammenhang mit dem Feuchtbioptop stehen *Equisetum* (Schachtelhalm), *Thelypteris palustris* (Sumpffarn) und *Sphagnum* (Torfmoos). *Athyrium filix-femina* (Wald-Frauenfarn) und *Polypodium* (Tüpfelfarn) sind häufige Waldfarne, während *Huperzia selago* (Tannen-Bärlapp) in Zwergstrauch-Heiden und Magerrasen verbreitet ist. Ein breites Lebensraumspektrum reflektiert die Gattung *Dryopteris*

(Wurmfarn). *Pteridium aquilinum* (Adlerfarn) besiedelt Wälder, aber auch offene Standorte und tritt in Pollenanalysen jüngerer Zeitabschnitte oft als Rodungszeiger auf, was aber im untersuchten Moorprofil nicht der Fall ist, da noch keine Kulturpollen, wie z. B. Getreide oder Edelkastanie, festgestellt wurden. Der oberste Profilabschnitt von 400–420 cm Tiefe dürfte wahrscheinlich ins Neolithikum fallen (vgl. Kap. 4.2).

4.5 Seeverlandung und artenreiche Wasser-Flora (Plankton, Hydrophyta) und Spinnentiere (Arachnida)

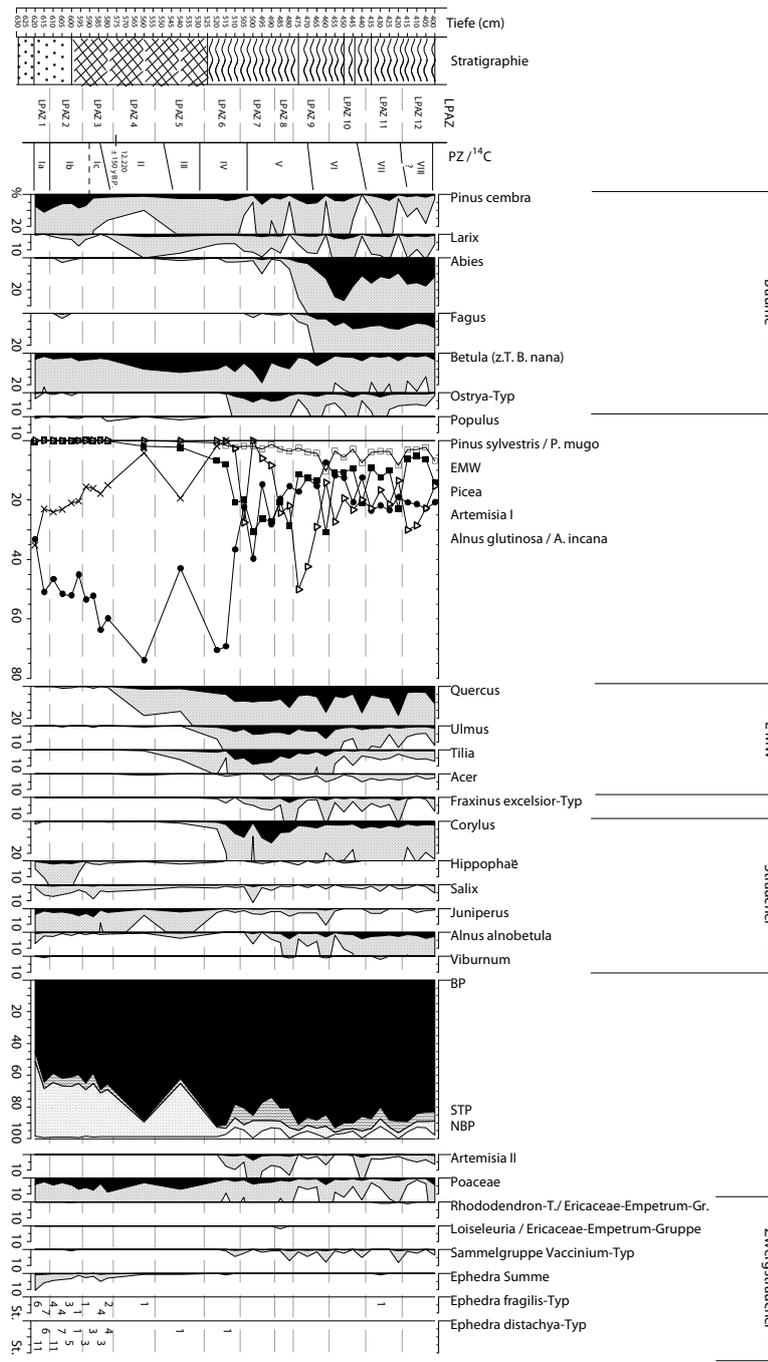
Während des untersuchten Zeitbereichs von ca. 15.600–5.480 cal yr BP zeichnet sich an der Bohrstelle in 435 cm Tiefe erst zu Beginn des Jüngeren Atlantikums (PZ VII, Mittlere Wärmezeit) vor ca. 6850 cal yr BP ein langsamer Verlandungsbeginn ab, indem mehrere Gyttja-Abfolgen (Halbfaulschlämme, z. T. mit Schneckenmuscheln) endgültig von Ablagerungen stark zersetzter Torfe abgelöst werden. Die Grünalge *Pediastrum boryanum* tritt bereits im Spätglazial mit den höchsten Werten auf, was auf einen ehemaligen See mit sauerstoffreichem und sehr artenreichem Plankton der Wassergüteklasse II (ß-mesosaprobe Zone) schließen lässt (Abb. 8). Im Verlauf des Holozäns nehmen die *Pediastrum*-Werte laufend ab und treten ab dem Älteren Atlantikum (PZ VI) nur noch vereinzelt auf, dies ebenfalls ein Hinweis auf den Verlandungsprozess. Ebenfalls seit dem Spätglazial wuchsen vermutlich bereits *Phragmites* (Schilf) und *Molinia* (Pfeifengras) am Seeufer (Pollenfunde in 580–610 cm Tiefe). Die für die Seeverlandung bzw. Moorbildung typischen Cyperaceae (Sauergräser) weisen jedoch durchgehend nur geringe Werte von 0.5–2.5 % auf, was allgemein auf einen schwachen Verlandungsvorgang mit Torfbildung schließen lässt. Umso mehr lassen sich vor allem seit dem Boreal (PZ V, Frühe Wärmezeit) Pollen einer artenreichen Wasser-Flora nachweisen: *Nymphaea alba* (Weiße Seerose), *Nuphar lutea* (Gelbe Teichrose), *Stratiotes aloides* (Krebschere), *Hydrocharis (morsus-ranae)* (Froschbiss) und *Alisma (plantago-aquatica)* (Froschlöffel). In früheren Zeitabschnitten wurden ferner gefunden: *Sparganium* (Igelkolben), *Potamogeton* (Laichkraut), *Myriophyllum verticillatum* (Quirlblättriges Tausendblatt), *Menyanthes trifoliata* (Fiebertee), *Callitriche palustris* (Sumpf-Wasserstern) und *C. stagnalis* (Teich-Wasserstern) (vgl. weitere Hydrophyta in Abb. 8). Im Oberfenner Moor-See hatte sich seit dem Boreal ein Schwimmblatt-Bestand mit *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* und sehr wahrscheinlich *Stratiotes aloides* (!) herausgebildet. Zur aktuellen Verbreitung dieser Wasserpflanzen geben u. a. WILHALM & HILPOLD (2006), FISCHER et al. (2008) und PIGNATTI (2017–2019) Auskunft. *Stratiotes aloides* wurde nur reliktsch und sehr selten an der südlichen Arealgrenze in der Poebene (1926 am Lago Superiore), ferner entlang der Donau und der March nachgewiesen. *Hydrocharis morsus-ranae* und *Alisma plantago-aquatica* kommen in Italien selten vor, desgleichen in Südtirol und sind im Bestand gefährdet bzw. vom Aussterben bedroht (FISCHER et al. 2005; PIGNATTI 2017–2019). Die Südtiroler-Vorkommen von *Nymphaea alba* und *Nuphar lutea* werden mit NT (drohende Gefährdung) bzw. EN (stark gefährdet) beurteilt (WILHALM & HILPOLD 2006).

In den Bohrproben treten seit dem Präboreal (PZ IV) und zunehmend in jüngeren Zeitabschnitten in großer Zahl Klauen (Cheliceren) und Haare von Spinnentieren (Arachnida) und evtl. auch von Tausendfüßern (Myriapoda) auf (Abb. 8). Leider sind Cheliceren von Spinnentieren nicht artspezifisch und lassen somit keine Rückschlüsse auf Arten oder Gattungen zu. Streng im Süßwasser lebt nur die Wasserspinne (*Argyroneta aquatica*) (NENTWIG et al. 2022). Jedoch kommen für das ganze Biotop zahlreiche weitere Spinnen in Frage, wie Arten der Lycosiden (Wolfspinnen) und ebenso viele Linyphiidae (Baldachine- und Zwergspinnenarten), aber auch netzbauende Arten wie speziell Tetragnathidae (Dickkieferspinnen), insgesamt also ca. 40 bis 60 mögliche Arten. Dies ist ein weiterer Hinweis auf ein ehemals artenreiches See- bzw. Moor-Biotop.

5. Schlussbemerkungen und Ausblick

Das Verlandungsmoor Oberfennberg wurde von Maria Luise Kiem im Rahmen ihrer vegetationskundlichen Diplomarbeit zum südlichen Mendelzug (Südtirol) an der Universität Innsbruck kurz beschrieben (KIEM 1985, 1987). Ein Großteil der Moorvegetation bestand damals aus einer artenreichen Streuwiese, mit dominantem Pfeifengras (*Molinietum caeruleae*), wobei keine Streu-Nutzung stattfand. Eine ausführlichere floristisch-pflanzensoziologische Beschreibung des Oberfennner Moors (Gemeinde Kurtatsch, Biotopfläche 7 ha, 1150 m ü. M., 9733/1) erfolgte durch Josef Kiem im Rahmen einer Untersuchung einiger Feuchtgebiete im Etschtal von Andrian bis Fennberg (KIEM 2002). Die Moorvegetation bestand aus den folgenden drei Pflanzengesellschaften: *Caricetum elatae*, *Carex panicea*-Gesellschaft und *Molinia caerulea*-Bestände. An Blüten- und Farnpflanzen wurden nur 10–12 Arten je Vegetationsaufnahme angegeben. Unsere Vegetationsaufnahme vom 11. Juli 2024 ergab bei einer Aufnahme­fläche von 16 m² 24 Blüten- und Farnpflanzen sowie 3 Laubmoosarten (vgl. Kap. 2.3). 2024 entdeckten Mitglieder des Arbeitskreises Flora von Südtirol einen neuen Bestand der seltenen Zwiebelorchis (*Liparis loeselii*) (WILHALM et al., 2024). Damit wäre dieses Biotop mit einem höheren Naturschutzwert zu bewerten. In derselben Arbeit von J. Kiem wurde die Moorvegetation des tiefer gelegenen Fennberger Sees (Gemeinde Margreid, 1035 m ü. M., Biotopfläche 7.6 ha, Wasserfläche 1.3 ha, 9733/1) beschrieben, wobei das Vegetationsmosaik nur aus *Molinia caerulea*-Beständen bestand und damit im Vergleich zum Oberfennner Moor artenärmer ist. Zu den Mooren und Feuchtgebieten Südtirols vgl. den Kataster von GÖTTLICH (1991). In der Verlandungszone des Fennberger Sees (Unterfennberg) wurde am 8. August 1990 eine Moorbohrung bis in eine Tiefe von 7.70 m durchgeführt. Die Radiokarbon-Datierung der Torfbasis in 3.00 m ergab ca. 6.300 cal yr BP. Darunter folgt eine 3.80 m mächtige Abfolge kalkreicher Gyttja mit reichlich Mollusken-Schalen. Der Vergleich zwischen beiden Fennberger Mooren zum Verlandungsbeginn der See-Zone ergibt folgende Unterschiede: Oberfennberg: Erste Hälfte Präboreal, ca. 11.000 cal yr BP, Fennberger See: ca. Mitte Jüngerer Atlantikum, ca. 6.300 cal yr BP. Diese eklatante Zeitdifferenz von rund 4.700 Jahren ist wahrscheinlich durch die Geomorphologie, größere Tiefe des Seebeckens, Lithologie, Hydrologie und evtl. mit dem Lokalklima der Umgebung des Fennberger Sees zu erklären. Die lange See-Phase der Verlandungszone an der Bohr­stelle des Fennberger Sees umfasst Sedimente von 4.70 m Kalk- und Tongyttja, während im Oberfennner See nur 1.50 m Kalk- und Tongyttja abgelagert wurden.

In Anbetracht der in dieser Arbeit dargelegten vielfältigen floren- und vegetationsgeschichtlichen Ergebnisse wäre eine neue Moorbohrung des Oberfennner Moors lohnend. Zumal nach rund 36 Jahren die Moorverlandung weiter fortgeschritten ist und auch von den ersten vier Metern Torf gute Bohrkerne einfacher zu gewinnen wären. Eine Pollenanalyse der obersten vier Meter würde neue Informationen liefern, indem sich in diesen jüngeren Torfabfolgen der Einfluss des ur- und frühgeschichtlichen Menschen auf die Vegetation abzeichnen dürfte (Beginn des Getreide-Anbaus, Einführung der Edelkastanie sowie weiterer Kultur- und Ruderalpflanzen, ferner Rodungen, Waldgrenzsensungen usw.). Zudem wären weitere Radiokarbon-Datierungen und Untersuchungen zu Pflanzenresten (Makrofossilien-Analysen) interessant, insbesondere zur Zwerg-Birke und zu den festgestellten Wasserpflanzen (Früchte und Samen). Als Ergänzung zur vorliegenden regionalen Studie zum südlichen Südtirol könnte unter Einbezug weiterer pollenanalytischen Arbeiten eine überregionale Synthese zur Floren- und Vegetationsgeschichte Südtirols erarbeitet werden.

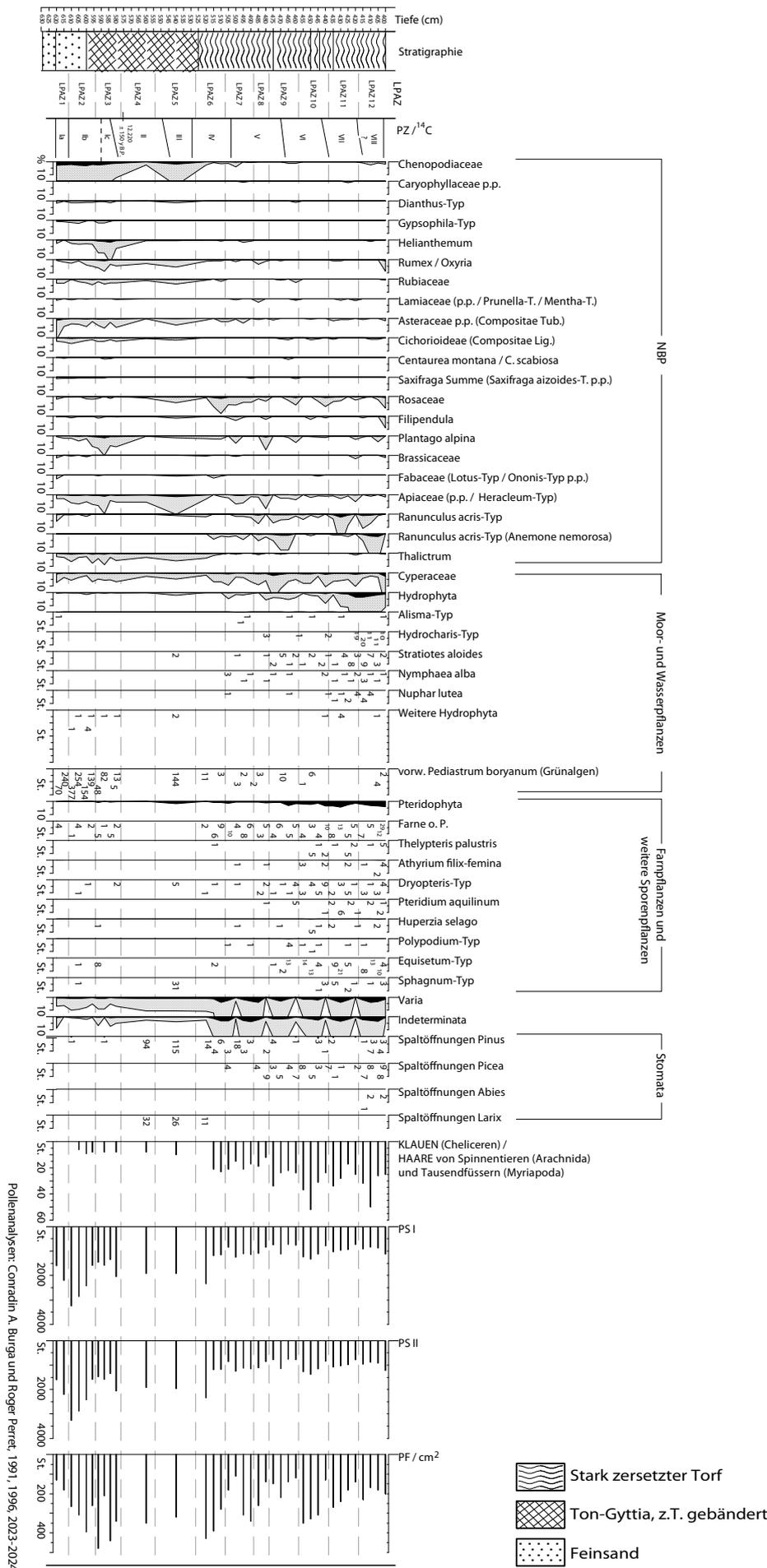


- *Pinus sylvestris* / *P. mugo*
- EMW
- ▲ *Picea*
- × *Artemisia* I
- *Alnus glutinosa* / *A. incana*

- Stark zersetzter Torf
- Ton-Gyttia, z.T. gebändert
- Feinsand

Erläuterungen zur Zeitskala (Chronostratigraphie) der Pollendiagramme Teil 1 und Teil 2. Zeitabschnitte von unten nach oben: Älteste Dryas (Ia): >15.600 cal yr BP, Bölling-Interstadial (Ib): 15.600–13.800 cal yr BP, Ältere Dryas (Ic): <13.800 cal yr BP, Alleröd-Interstadial (II): 13.800–12.900 cal yr BP, Jüngere Dryas (III): 12.900–11.600 cal yr BP, Präboreal (IV): 11.600–10.100 cal yr BP, Boreal (V): 10.100–8.900 cal yr BP, Älteres Atlantikum (VI): 8.900–6.850 cal yr BP, Jüngeres Atlantikum (VII): 6.850–5.480 cal yr BP, Subboreal (VIII): 5.480–2.600 cal yr BP. Nach MANGERUD et al. (1974) und LANG et al. (2023).

Abb. 7: Pollen-Diagramm zum Moor vom Oberfennberg (1157 m ü. M.; Südtiroler Unterland, Südtirol, Provinz Bozen, Italien). **Teil 1:** Hauptdiagramm, Baumpollen (BP) und Strauchpollen (STP), Zwergsträucher; Anteile von BP, STP und Nichtbaumpollen (NBP).



Pollenanalysen: Conradin A. Burga und Roger Perret, 1991, 1996, 2023-2024

Abb. 8: Pollen-Diagramm zum Moor vom Oberfennberg. **Teil 2:** Nebendiagramme Nichtbaumpollen/Kräuter (NBP), Moor-, Wasser- und Farnpflanzen; Nadel-Spaltöffnungen (Stomata), Klauen und Haare von Spinnentieren und Tausendfüßern. Pollensummen (PS I, II) und Pollenfrequenzen (PF/cm²). Pollensumme I: Alle gezählten Pollen, ohne Farnpflanzen, Moor- und Wasserpflanzen, jedoch mit Varia und Indeterminata. Pollensumme II: Alle gezählten Pollen und Sporen, jedoch ohne die Grünalgen (*Pediastrum*).

6. Zusammenfassung

Das von 400–620 cm Tiefe pollenanalytisch untersuchte Moorprofil Oberfennberg umfasst den späteiszeitlichen und holozänen Zeitabschnitt von ca. 15.600–ca. 5.480 cal yr BP (Endphase der Ältesten Dryas bis ca. Beginn des Subboreals). Während den Warmphasen des Bölling- und Alleröd-Interstadials erfolgte die spätglaziale Wiederbewaldung durch *Pinus sylvestris*/*P. mugo* mit wenig *Betula* (eventuell z. T. mit *Betula nana*) als Waldsteppe mit viel *Artemisia*, ferner *Juniperus* und *Hippophaë*. An der oberen Waldgrenze waren wahrscheinlich schon *Pinus cembra* und *Larix decidua* vertreten. *Ephedra*, Chenopodiaceae und Poaceae bildeten die Felsensteppe. Die Kaltphase der jüngeren Dryas bewirkte einen Rückgang des Föhren-Nadelwaldes mit erneuter Zunahme der Steppenelemente, so u. a. von *Artemisia*, der Chenopodiaceae und der Poaceae. Zu Beginn des Holozäns (Präboreal) erreichte der Föhrenwald die größte Verbreitung. An der Wende Präboreal/Boreal änderte sich grundlegend die Bewaldung mit der Einwanderung der Fichte (*Picea abies*) in der montanen und des Eichenmischwaldes (mit Hopfenbuche – *Ostrya carpinifolia*) in der kollinen Stufe. Während des Hasel-Maximums (*Corylus avellana*) im Boreal erfolgte ein Dominanzwechsel zwischen dem Föhren- (*Pinus sylvestris*/*P. mugo*) und Eichenmischwald (*Ulmus*, *Quercus*, *Tilia*, *Acer*, *Fraxinus excelsior*) und danach die erste und stärkste Phase der montanen Fichten-Ausbreitung. An der Wende Boreal/Älteres Atlantikum wanderten die Tanne (*Abies alba*) und Buche (*Fagus sylvatica*) ins Gebiet ein. Im Älteren Atlantikum gelangten in der Montanstufe die Tanne und Fichte zusammen zur Dominanz, während der Eichenmischwald wohl infolge der Schattenkonkurrenz durch die Buchen- und Tannenausbreitung einen deutlichen Rückgang aufwies. Im Jüngeren Atlantikum wurde die Föhre (mit Arve und Lärche) gegenüber von Fichte, Tanne und Eichenmischwald erneut häufiger, möglicherweise bedingt durch eine kühle holozäne Klimaschwankung um ca. 7.300 cal yr BP. Im jüngsten Profilabschnitt (evtl. Beginn Subboreal) etablierte sich bis nahe ans Moor (mehr Nadeln-Stomata) montaner Tannen-Fichtenwald während Waldföhre, Latsche, Arve (*Pinus cembra*) und Lärche (*Larix decidua*) den Waldgrenzbereich bildeten. Der aktuelle montane Buchen-Tannenwald des Oberfennbergs bildete sich erst später im jüngeren Holozän.

7. Dank

Meinen beiden Kollegen und ehemaligen Studenten Dipl. Geogr. André Stapfer und Dipl. Geogr. Ernst Wynistorf danke ich für die bewährte Hilfe bei der Bohrung des Oberfenners Flachmoors. Dipl. Geogr. Roger Perret erstellte im Rahmen seiner damaligen Anstellung am Geographischen Institut der Universität Zürich die Übersichts-Pollenanalyse in größeren Probenabständen, wofür ich ihm für die sorgfältige Arbeit bestens danke. Alle Pollenproben, mit den zusätzlichen Proben enger Probenabstände, wurden vom Autor nochmals gründlich analysiert, um auch seltenere Pollentypen zu erfassen. Die digitale Erstellung der Pollendiagramme (Abb. 7 und 8) auf Grund meiner Analysedaten erfolgte mit dem Programm „Tilia“ (Version 2.0.41, GRIMM 2015) in bewährter Weise durch Frau Dr. Sonja Adamczyk, Kirchheim unter Teck (Deutschland), wofür ich ihr herzlich danke (für detaillierte Angaben zur Gestaltung des zweiteiligen Pollendiagramms vgl. Kap. 3). Martin Steinmann, Designer, Schaffhausen, danke ich für die Gestaltung der Übersichtskarte zur Untersuchungsstelle Oberfennberg. Die für die ¹⁴C-Altersbestimmung erforderliche chemische Aufbereitung des Probenmaterials wurde im Radiokarbonlabor des Geographischen Instituts der Universität Zürich (Leitung: Prof. Dr. Markus Egli) durchgeführt; dafür danke ich bestens. Die physikalische Altersdatierung erfolgte mittels der AMS-Technik (accelerator mass spectrometry) auf dem Beschleuniger des LIP (Laboratorium für Ionenstrahl-Physik) der ETH-Zürich/Hönggerberg. Für die Erstellung des Alters-Tiefenmodells zum untersuchten Moorprofil danke ich Marcel-Luciano Ortler (Universität Innsbruck). Herr Dr. Thomas Wilhalm, Naturmuseum Südtirol in Bozen, war mir bei der Vegetationsaufnahme vom 11. Juli 2024 auf dem Oberfennberg behilflich und vermittelte Informationen zur Flora Südtirols,

wofür ich herzlich danke. Weiter danke ich Frau Petra Mair vom Naturmuseum Südtirol für die Bestimmung der Oberfenner Laubmoose. Für Informationen zu Spinnentieren (Arachnida) danke ich Herrn Dr. Ambros Hänggi vom Naturhistorischen Museum Basel. Prof. Dr. J. N. Haas, Institut für Botanik der Universität Innsbruck, danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für seine Ergänzungen. Schließlich danke ich der Redaktion der „Gredleriana“ (Naturmuseum Südtirol, Bozen) für die Aufnahme dieses Beitrags im vorliegenden Band.

8. Literatur

- AVANZINI M., BARGOSI G. M., BORSATO A., CUCATO M., MORELLI C., PICOTTI V. & SELLI L., 2012: Geologische Karte von Italien im Maßstab 1:50.000. Blatt 043 Mezzolombardo. Autonome Provinz Bozen Südtirol und Provincia Autonoma di Trento. Land Technology & Services, Padova e Treviso.
- BEUG H. J., 2004: Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 542 pp.
- BLAAUW M., 2010: Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. *Quaternary Geochronology*, 5(5): 512–518.
- BÖGEL H. & SCHMIDT K., 1976: Kleine Geologie der Ostalpen. Ott, Thun, 231 pp.
- BRAUN-BLANQUET J., 1964: Pflanzensoziologie. Springer, Wien, 865 pp.
- BURGA C. A., 1987: Gletscher- und Vegetationsgeschichte der Südrätischen Alpen seit der Späteiszeit (Puschlav, Livigno, Bormiese). Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, 101. Birkhäuser, Basel, 162 pp.
- BURGA C. A., 1987–1989: Iconographia sporomorpharum florum Helveticorum. Fotoatlas zu den wichtigsten Blütenpflanzen der Schweiz. 8 Ordner. Unpubliziert. Forschungsbibliothek Universität Zürich-Irchel.
- BURGA C. A., 2020: Holozäne Klimaänderungen und Waldgrenzschwankungen in den Alpen. In: Lozan H. L., Breckle S.-W., Escher-Vetter H., Grassl H., Kasang D., Paul F. & Schickhoff U. (Hrsg.), Warnsignal Klima: Hochgebirge im Wandel. Wissenschaftliche Auswertungen, GEO, Hamburg: 103–108. www.warnsignal-klima.de. doi:10.25592/warnsignal-klima.hochgebirge-im-wandel.15
- BURGA C. A., 2025 (in Druck): Holozäne Vegetationsentwicklung im hinteren Klostertal (Vorarlberg, Österreich) und Hinweise zur prähistorischen Landwirtschaft auf Grund palynologischer Untersuchungen. *Bauhinia*, 30: 1–20.
- BURGA C. A. & CHÉDEL M., 2016: Spät- und nacheiszeitliche Floren- und Vegetationsgeschichte der Region Feldkirch – St. Galler Rheintal am Beispiel des Pollenprofils von Mariagrün (544 m ü. M., Vorarlberg, Österreich). *Bauhinia*, 26: 25–46.
- BURGA C. A. & EGLÖFF M., 2001: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Klimageschichte im Pustertal und Sarntal (Südtirol, Italien). *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins Innsbruck*, 88: 57–86.
- BURGA C. A. & PERRET R., 1998: Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun, 805 pp.
- BURGA C. A. & PERRET R., 2013: Spät- und nacheiszeitliche Floren- und Vegetationsgeschichte des Etschtales am Beispiel des Pollenprofils des Verlandungsmooses Lagabrun (1050 m ü. M.) bei Salurn, Provinz Trient (Italien). *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 158 (3/4): 55–63.
- BURGA C. A., STÄPFER A. & WYNISTORF E., 1996: Untersuchungen zur Floren-, Vegetations- und Klimageschichte des Südtirols (Provinz Bozen/Italien). *Der Schlern*, 70 (10): 609–612.
- CASTIGLIONI G. B. & TREVISAN L., 1973: La sella di Appiano-Caldaro presso Bolzano nel Quaternario. *Mem. I. G. Min. U.*, Padova, 29: 2–34.
- CHEDDADI R., VENDRAMIN G. G., LITT T., FRANÇOIS L., KAGEYAMA M., LORENTZ S., LAURENT J.-M., DE BEAULIEU J.-L., SADORI L., JOST A. & LUNT D., 2006: Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, 15: 271–282.
- DALLA FIOR G., 1935: Analisi polliniche di torbe e depositi lacustri della Venezia Tridentina. IV. Depositi torbosi dell'Alto Isarco e del Bacino idrografico della Rienza. *Memorie del Museo di Storia Naturale della Venezia Tridentina*, III: 3–23.
- EHLERS J., 2011: Das Eiszeitalter. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 363 pp.
- ERDTMAN G., 1972: Pollen and Spore Morphology/Plant Taxonomy. Gymnospermae, Pteridophyta, Bryophyta (Illustrations). Hafner Publishing Company, New York, 127 pp.
- FAEGRI K. & IVERSEN J., 1993: Bestimmungsschlüssel für die nordwesteuropäische Pollenflora. G. Fischer, Jena, Stuttgart, New York, 85 pp.
- FISCHER M. A., ADLER W. & OSWALD K., 2008: Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3. Aufl. der „Exkursionsflora von Österreich“. Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz.
- FOLLIERI M., GIARDINI M., MAGRI D. & SADORI L., 1998: Palynostratigraphy of the last glacial period in the volcanic region of Central Italy. *Quat. Int.*, 47/48: 3–20.
- GÖTTLICH K., 1991: Kataster der Moore und Feuchtgebiete Südtirols. Ergebnis der Inventarisierung. Biologisches Landeslabor Leifers. Tätigkeitsbericht des Biologischen Landeslabors 1991. Sonderausgabe Autonome Provinz Bozen-Südtirol. Landesamt für Umweltschutz, 214 pp.

- GRIMM E. C., 2015: „Tilia“, Version 2.0.41. Update nach E. C. Grimm, Tilia and Tilia-graph: Pollen spreadsheet and graphics programs. In: Programs and abstracts, 8th International Palynological Congress, Aix-en-Provence, September 6–12 (1992): 56.
- HANTKE R., 1983: Eiszeitalter. Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete, Band 3. Ott, Thun, 730 pp.
- HOFSTETTER S., TINNER W., VALSECCHI V., CARRARO G. & CONEDERA M., 2006: Lateglacial and Holocene vegetation history in the Insubrian Southern Alps. New indications from a small-scale site. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 15: 87–98.
- JALAS J. & SUOMINEN J., 1988: *Atlas Florae Europaeae II*, 3. Cambridge University Press, Cambridge, 122 pp.
- KIEM M. L., 1985: Die Vegetation des südlichen Mendelzuges (Südtirol). Nicht publizierte Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck. 90 pp.
- KIEM M. L., 1987: Die Vegetation des südlichen Mendelzuges zwischen Kurtatsch und Aichholz. *Der Schlern*, 61 (6): 349–363.
- KIEM J., 2002: Zur Flora und Vegetation einiger Feuchtgebiete im Etschtal von Andrian bis Fennberg. *Gredleriana*, 2: 253–262.
- KOMPATSCHER K. & OEGGL K., 2000: Late-glacial and Holocene vegetation development of the Überetsch (Südtirol), 124–129. In: L. Wick, Excursion guide XXIV. Moorexkursion 16.–24. September 2000. Institute of Plant Sciences, University of Bern. 137 pp., http://www.botany.unibe.ch/imoorex/guides/2000_salps.pdf
- KRAL F., 1972: Grundlagen zur Entstehung der Waldgesellschaften im Ostalpenraum. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, 85 (1–4): 173–186.
- KRAL F., 1979: Spät- und postglaziale Waldgeschichte der Alpen auf Grund der bisherigen Pollenanalysen. Veröffentlichung des Institutes für Waldbau an der Universität für Bodenkultur in Wien, 175 pp.
- KRAL F., 1980: Zur postglazialen Vegetationsgeschichte am Südrand der Ostalpen. Pollenanalytische Untersuchungen im Val Sugana-Umkreis. *Bot. Jahrb. Syst.*, 101: 575–593.
- KRAL F., 1983: Ein pollenanalytischer Beitrag zur Vegetationsgeschichte der Seiser Alm. *Der Schlern*, 57 (1): 31–36.
- KRAL F., 1989: Spät- und postglaziale Waldentwicklung in den italienischen Alpen. *Bot. Jahrb. Syst.*, 111 (2): 213–229.
- KRAL F. & CARMIGNOLA G., 1986: Ein Pollenprofil aus dem Wölflmoor bei Deutschnofen. *Der Schlern*, 60: 733–739.
- LANG G., AMMANN B., BEHRE K.-E. & TINNER W., 2023: *Quaternary Vegetation Dynamics of Europe*. Haupt, Bern, 688 pp.
- LITT T., SCHMINCKE H.-U. & KROMER B., 2003: Environmental response to climate and volcanic events in central Europe during the Weichselian Lateglacial. *Quat. Sci. Rev.*, 22: 7–32.
- MAGRI D., 2008: Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (*Fagus sylvatica*). *J. Biogeogr.*, 35: 450–463.
- MAGRI D., AGRILLO E., DI RITA F., FURLANETTO G., PINI R., RAVAZZI C. & SPADA F., 2015: Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 218: 267–284.
- MANGERUD J., ANDERSEN S. T., BERGLUND B. E. & DONNER J. J., 1974: Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 3: 109–128.
- MOORE P. D., WEBB J. A. & COLLINSON M. E., 1991: *Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications, London, 216 pp.
- NENTWIG W., ANSORG J., BOLZERN A., FRICK H., GANSKE A.-S., HÄNGGI A., KROPP C. & STÄUBLI A., 2022: *Spinnen – Alles, was man wissen muss*. Springer, Berlin, 265 pp.
- PEER T., 1981: Die Vegetation Südtirols. Mit einer Vegetationskarte 1:200.000. Habilitationsschrift Universität Salzburg, 374 pp.
- PEER T., 1991: Karte der aktuellen Vegetation Südtirols 1:200.000. Herausgeber: Autonome Provinz Bozen/Südtirol – Amt für Naturparke, Naturschutz und Landschaftspflege, Bozen/Bolzano.
- PEER T., 1995: Die natürliche Pflanzendecke Südtirols. Begleittext zur Karte der natürlichen Vegetation 1:200.000. Autonome Provinz Bozen/Südtirol, 32 pp.
- PIGNATTI S., 2017–2019: *Flora d’Italia*. 2. Aufl. 4 Bde. Edagricole, Bologna, Milano.
- RAVAZZI C., 2002: Late Quaternary history of spruce in southern Europe. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 120: 131–177.
- RAVAZZI C., DONEGANA M., VESCOVI E., ARPENTI E., CACCIANIGA M., KALTENRIEDER P., LONDEIX L., MARABINI S., MARIANI S., PINI R., VAI G. B. & WICK L., 2006: A new Late-glacial site with *Picea abies* in the northern Apennine foothills: an exception to the model of glacial refugia of trees. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 15: 357–371.
- SCHMIDT R., 1975: Pollenanalytische Untersuchungen zur spätglazialen bis mittelpostglazialen Vegetationsgeschichte im Raume Bozen. *Linzer biologische Beiträge*, 7 (2): 225–247.
- SCHMIDT R., 1976: Zur Entstehungsgeschichte der heutigen Vegetationsverhältnisse des Bozner Raumes. *Schlern*, 50 (6): 342–343.
- SCHOLZ H., BESTLE K.-H. & WILLERICH S., 2005: Quartärgeologische Untersuchungen im Überetsch. *Geo.Alp*, 2: 1–23.
- SEIWALD A., 1980: Beiträge zur Vegetationsgeschichte Tirols IV: Natzer Plateau-Villanderer Alm. *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins Innsbruck*, 67: 31–72.
- SORSA P., 1964: Studies on the spore morphology of Fennoscandian fern species. *Annales Botanici Fennici*, 1: 179–201.

- STUMBÖCK M., 1999: Die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des nordwestlichen Südtirols mit einem Beitrag zur Verknüpfung natürlicher Archive mit historischen Quellen. *Dissertationes Botanicae*, 299. J. Cramer, Berlin, Stuttgart, 129 pp.
- TERHÜRNE-BERSON R., LITT T. & CHEDDADI R., 2004: The spread of *Abies* throughout Europe since the last glacial period: combined macrofossil and pollen data. *Veget. Hist. Archaeobot.*, 13: 257–268.
- TIEFENBRUNNER H., 1994: Fennberg: Zur Geschichte des kleinen, hoch über der Salurner Klause liegenden Bergdorfes Unterfennberg. Athesia, Bozen, 144 pp.
- VAN HUSEN D., 1987: Die Ostalpen in den Eiszeiten. Veröffentlichungen der Geologischen Bundesanstalt Wien, 24 pp.
- WAHLMÜLLER N., 1990: Spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte des Tschöglberges (Südtirol). *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins Innsbruck*, 77: 7–16.
- WALTER H. & LIETH H., 1967: Klimadiagramm-Weltatlas. Fischer, Jena, 55 pp.
- WILHALM T., NIKLFELD H. & GUTERMANN W., 2006: Katalog der Gefäßpflanzen Südtirols. Veröffentlichungen des Naturmuseums Südtirol Nr. 3. Folio Verlag Wien/Bozen und Naturmuseum Südtirol, 215 pp.
- WILHALM T. & HILPOLD A., 2006: Rote Liste der gefährdeten Gefäßpflanzen Südtirols. *Gredleriana*, 6: 115–198.
- WILHALM T., BECK R., SCHNEIDER-FÜRCHAU E. & TRATTER W., 2009: Ergänzungen und Korrekturen zum Katalog der Gefäßpflanzen Südtirols (3). *Gredleriana*, 9: 105–118.
- WILHALM T., SPÖGLER E., ZEMMER F., SÖLVA E., STIFTER S., FALTNER F., LEITNER G., TRATTER W., WINKLER J., LORENZ R., AICHNER G., BACHMANN R. †, EBERT M., FINK M., FRENER G., GIBITZ L., HILPOLD A., HOLZER B., KIEBACHER T., LANTHALER A., LARCHER M., MAIR W., MAIR P., MERLI M., OBRIST E., RINNER A. & WIRTH H., 2024: Ergänzungen und Korrekturen zum Katalog der Gefäßpflanzen Südtirols (12). *Gredleriana*, 24 (in Druck).
- ZIPPEL E. & WILHALM T., 2007: Phylogeography of *Ephedra distachya* L. (Ephedraceae) in the European Alps. In: Fernández-Palacios J. M., Otto R., Delgado J. D., Socas O., de la Concepción T. & Fernández Lugo S. (eds.), Third International Biogeography Society Conference, Puerto de la Cruz, Tenerife, 9–13 January 2007. Program and Abstracts, S. 48. Puerto de la Cruz.
- ZOLLER H., 1960: Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. *Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft*, 83: 45–156. Fretz, Zürich.

