Holozäne Vegetationsentwicklung im hinteren Klostertal (Vorarlberg, Österreich) und Hinweise zur prähistorischen Landwirtschaft auf Grund palynologischer Untersuchungen

Conradin A. Burga

In memoriam Prof. Dr. Heinrich Zoller (1923–2009)

Holocene vegetation development in the Hinteren Klostertal (Vorarlberg, Austria) and evidence for prehistoric agriculture based on palynological investigations. The subalpine peat bog located above the village of Stuben at the Arlberg pass road (Vorarlberg, Austria, 1630 m a.s.l.) consists of Late-glacial and Holocene peat beds of the last 12 300 years. Samples of a cross-section of the peat bog were analysed palynologically. They give information to the local and regional flora and vegetation history of the western Arlberg pass and the adjacent Klostertal area, including first human impact on the natural environment. The palynological diagram shows the Holocene immigration and spread of the actual dominant forest tree species Scots/mountain pine *(Pinus sylvestris/P. mugo)*, Norway spruce *(Picea abies)*, European larch *(Larix decidua)*, silver fir *(Abies alba)*, of some deciduous trees of the oak *(Quercus* spec.) and beech *(Fagus sylvatica)* mixed forest, and green alder *(Alnus viridis)*. The actual dominant Norway spruce migrated from the Tyrolian Alps westwards along the Inn valley, crossed the Arlberg pass and reached the inner Klostertal area during the Older Atlantic around 7800 cal yr BP (= calibrated years before present, i.e. before AD 1950). The green alder immigrated together with Norway spruce from East to West in the subalpine belt. During the Subboreal (ca. 5700–2650 cal yr BP) and Older Subatlantic (ca. 2650–1000 cal yr BP), Norway spruce and common/grey alder *(Alnus glutinosa/incana)* showed signs of recession due to first human clearings, whereas green alder shows a mass spread at the tree limit from the Eastern Alps to the Northwestern Prealps. In addition, first pollen of cereals *(Triticum*-type), hemp *(Cannabis*-type) and of indicators of meadows and alpine pastures (Poaceae, *Plantago lanceolata*, and other herbs) are recorded at the transition from the Neolithic to the Bronze Age (ca. 2200 BC). During Roman Times the sweet chestnut *(Castanea sativa)* was introduced, and a lowering of the tree limit with an increasing spread of green alder due to alpine clearings were recorded, whereas pollen indicators of pastures and ruderal plants *(Plantago lanceolata, P. media, Urtica, Artemisia)* show higher frequencies.

Keywords
Archaeology, Flora and vegetation history, Palynology, Peat bog history, Sedimentology

Adresse des Autors
Prof. em. Dr. Conradin A. Burga
Gäuggelistrasse 52
7000 Chur / Schweiz

Kontakt
conradin.burga@bluewin.ch

Angenommen
10. 9. 2024

DOI
https://doi.org/10.12685/bauhinia.1572

Im Zusammenhang mit einer sedimentpetrografischen Diplomarbeit in den Partnach-Schichten des Arlberg-Gebiets (Triller 1980) besuchte ich im Sommer 1976 meinen Geologie-Kollegen Ewald Triller (Geologisches Institut der Universität Frankfurt a. M.) in Stuben am Arlberg. Hauptanlass meines Aufenthalts war die Mitwirkung bei der Kartierung der quartären Ablagerungen und Geländeformen des Untersuchungsgebietes. Im Zusammenhang mit dem Bau des Arlberg-Strassentunnels wurde damals von der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg eine Werkstrasse nach Albona erstellt. Dabei wurde das Hangmoor an der neu gebauten Strassenabzweigung bei der Arlbergstrasse bis zur Felsbasis durchschnitten. Die dadurch sichtbar gewordene und mit verschiedenen Sedimenten aufgefüllte Felswanne wurde zunächst stratigrafisch erfasst. Am 24. August 1977 entnahm der Autor vom Aufschluss Wandproben für eine Pollenanalyse. Dieser Mooraufschluss in der subalpinen Stufe am Arlbergpass erschien als vielversprechenden Standort zwischen Nord-Tirol und Vorarlberg zur Erforschung

online publiziert am 11. März 2025

der spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsgeschichte und des Beginns der prähistorischen Landnutzung. Insbesondere von Interesse war, ob die Fichte *(Picea abies)* auf ihrem inneralpinen Einwanderungsweg aus den Ostalpen nach Westen den relativ niederen Arlbergpass (1793 m ü. M.) überqueren konnte, was der Autor schon früh als wahrscheinlich vermutete. Die pollenanalytischen Untersuchungen des schon lange vorliegenden Probenmaterials gelangt hier erst nach vielen Jahren in ausführlicher Weise zur Veröffentlichung.

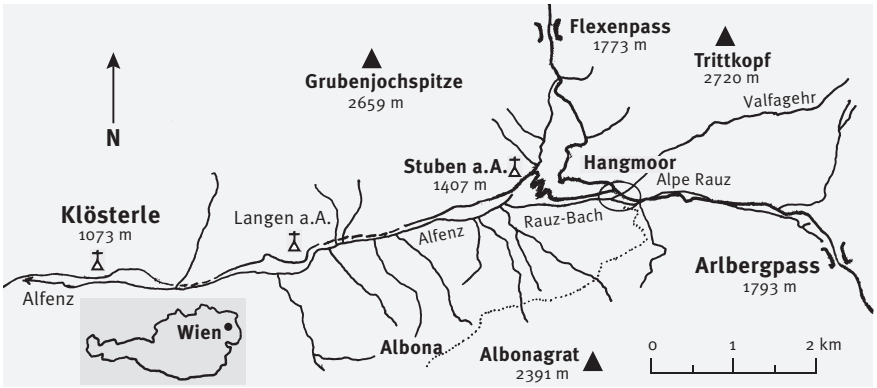

Abb. 1: Geografische Übersicht zur Lage des Hangmoores gegenüber der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg (ca. 1630 m ü. M.), Vorarlberg (Österreich). Der Verlauf der Werkstrasse von der Alpe Rauz nach Albona ist durch Punktierung gekennzeichnet. Grafik Steinmann visuelle Gestaltung, Schaffhausen

Material und Methoden

Geologie und aktuelle Vegetation

Das Hangmoor oberhalb Stuben am Arlberg südlich der Alpe Rauz (Vorarlberg, Österreich; Abb. 1) an der Arlbergstrasse befindet sich zwischen dem Nordrand der oberostalpinen Silvretta-Decke, wo Gneise und Glimmerschiefer anstehen, die sogenannte Phyllitgneiszone mit dem Landecker Quarzphyllit östlich des Arlberg-Passes, und dem Südrand der Nördlichen Kalkalpen (Richter 1969, Bögel & Schmidt 1976, Brandner 1980).

Bei der Abzweigung zum Flexen-Pass beginnen die Nördlichen Kalkalpen (sogenanntes Permomesozoikum) mit der Lechtal-Decke (das Hochbajuvarikum), die östlich des Flexen-Passes von der Inntal-Decke überlagert wird. Die Lechtal-Decke besteht aus Gesteinen der Hauptdolomitfazies, die sogenannte Vorarlberger Fazies, mit tonig-mergeligen Partnachschichten und dunklen gebankten Kalken und Dolomiten der Arlbergschichten (Mitteltrias bis unterste Obertrias) sowie den nordalpinen Raiblerschichten, bestehend aus Rauhwacken und Gips (Karn, Obertrias). An der Flexenpassstrasse und im Kar von Valfagehr sind Rauhwacken der sogenannten Reichenhaller Schichten aufgeschlossen, die stratigrafisch unter den Partnach- und Arlbergschichten liegen (Bögel & Schmidt 1976, Oberhauser et al. 1980, Triller 1980).

Abb. 2: Der Hangmoor-Aufschluss gegenüber der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg (ca. 1630 m ü. M.), Vorarlberg (Österreich) im Herbst 1976. Stratigraphie von unten nach oben: Anstehender Gneis und Glimmerschiefer der Silvretta-Decke, lokales Moränenmaterial, überdeckt von einer dünnmächtigen grauen Tonschicht, darüber folgt der 178 cm mächtige Torfkörper mit nach oben abnehmendem Zersetzungsgrad. Foto Ewald Triller, September 1976

Abb. 3: Verstürzter und nahezu ganz überwachsener Hangmoor-Aufschluss gegenüber der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg (ca. 1630 m ü. M.), Vorarlberg (Österreich) im Herbst 1983. Foto Conradin A. Burga, Oktober 1983

Das untersuchte Hangmoor in rund 1630 m ü. M. (Abb. 2, Abb. 3) befindet sich in der subalpinen Höhenstufe, wo Legföhren-Bestände *(Pinus mugo* auf Karbonatgestein), Zwergstrauchheide (auf Silikat- und Karbonatgestein), Grünerlen-Bestände *(Alnus viridis)* mit Hochstaudenfluren längs dem Rauz-Bach und auf Lawinenbahnen, Weideflächen und Mähwiesen ein buntes Vegetationsmosaik bilden. Westlich davon folgen im hintersten Klostertal an den nordexponierten Bergflanken subalpiner und montaner Fichtenwald mit Waldföhre *(Pinus sylvestris)* und Lärche *(Larix decidua)*, an den Südhängen Buchen-Laubmischwald *(Fagus sylvatica)*, der stellenweise stark von Fichte, Lärche und z.T. mit Waldföhre durchsetzt ist. Der Talboden ist von Äckern und Mähwiesen besetzt. Ostwärts vom Arlbergpass dominieren dichte Fichtenwälder, teilweise mit Lärche und Waldföhre (Pitschmann et al. 1973, Schiechtl 1987). Bezüglich der aktuellen Fichtendominanz östlich des Arlbergpasses bot der hier untersuchte Mooraufschluss die Möglichkeit, die postglaziale Fichteneinwanderung zu erfassen. Denn im Rahmen der holozänen Ost-West-Ausbreitung entlang den Längstälern der Ostalpen war es plausibel, eine Fichtenein-

wanderung durch Nord-Tirol über den relativ niederen Arlbergpass (1793 m) nach Vorarlberg anzunehmen, was der Autor bereits 1988 postuliert hatte (Burga 1988). Zudem gab es dazu bereits bei der pollenanalytischen Untersuchung am Moor von Mariagrün bei Feldkirch deutliche Hinweise (Burga & Chédel 2016; vgl. auch Burga & Perret 1998).

Moorstandort

Der Aufschluss des untersuchten Hangmoors in der subalpinen Stufe befand sich gegenüber der Alpe Rauz, wo früher die mittlerweile verlegte Flexenpassstrasse von der Arlbergpassstrasse abging, und zwar genau am Anfang der Fahrstrasse, die zur Erschliessung des Lüftungsschachtes Albona für den Arlberg-Strassentunnel gebaut wurde (Koordinaten 807.635 / 224.247 der Schweizer Landeskarte 1:50 000, Blatt 239 Arlberg, bzw. 2 807 635 / 1 224 247 bzw. 47°08‘12‘‘N 10°10‘35‘‘E). Der 189 cm mächtige Aufschluss war ein nahezu idealer Querschnitt durch die gesamte ursprüngliche Gelände-Hohlform aus Silvretta-Kristallin, die durch Moränenmaterial, groben granitischen Gesteinsblöcken, einer 11 cm dicken grauen Tonschicht einer kleinen kurzzeitigen Seebildung, die seit ca. 12 300 cal yr BP langsam zu einem Hangmoor verlandete, und schliesslich mit einer 178 cm mächtigen Torfabfolge aufgefüllt wurde (Abb. 2). Im Oktober 1983 war der Hochmoor-Aufschluss verstürzt und mehrheitlich überwachsen (Abb. 3).

Am 24. August 1977 wurde die Vegetation dieses nordexponierten, ca. 80 m² grossen und ca. 5 Grad geneigten Hangmoors notiert. Die Deckungsanteile (in %) der verschiedenen Vegetationsschichten lauten: Baumschicht 5 %, Strauchschicht 30 %, Krautschicht 50–60 % und Moosschicht 15 %.

Bei den einzelnen Arten bezeichnet das erste Zeichen den flächenbezogenen Deckungsgrad (Artmächtigkeit) einer Pflanzenart in Prozenten gemäss der Schätzskala von Braun-Blanquet (1964), das zweite Zeichen bezieht sich auf die Pflanzen-Vitalität nach H. Zoller (Feldkurs 1977). Die Skala der Deckungsgrade lautet: r = selten (rarus), + = <1 %, 1 = 1–5 %, 2 = >5–25 %, 3 = >25–50 %, 4 = >50–75 %, 5 = >75–100 %. Die Zahlen zur Pflanzenvitalität bedeuten: 1 = vegetativ bzw. kümmerliches Wachstum, 2 = blühend, 3 = blühend und teilweise fruchtend. Die Werte zum Deckungsgrad und zur Vitalität beziehen sich auf die gehölzfreie Moorzone, also auf Bereiche ohne Zwergsträucher, Sträucher und Bäume; Werte in Klammern beziehen sich auf die gesamte untersuchte Mooroberfläche, also inklusive Gehölze.

Die jeweilige Schicht setzt sich aus den folgenden Pflanzenarten zusammen (Nomenklatur nach Fischer et al. 2005, Ausnahme Grünerle: *Alnus viridis*):

- Baumschicht: (r/3) Fichte *(Picea abies)*, (1/3) Legföhre *(Pinus mugo)*, (+/2) Vogelbeere *(Sorbus aucuparia)*, (1/3) Grünerle *(Alnus viridis)*.
- Strauchschicht: (2/3) Rostblättrige Alpenrose *(Rhododendron ferrugineum)*, (2/3) Heidelbeere *(Vaccinium myrtillus)*, (2/3) Moor-Rauschbeere *(Vaccinium uliginosum)*, (r/2) Zwerg-Wacholder

(Juniperus communis subsp. *nana)*, (+/2) Vogelbeere-Aufwuchs *(Sorbus aucuparia)*, (+/2) Grünerlen-Aufwuchs *(Alnus viridis)*.

› Krautschicht: 2/3 Igel-Segge *(Carex echinata)*, 2/3 Braun-Segge *(Carex nigra)*, 3/3 Faden-Simse *(Juncus filiformis)*, +/3 Scheiden-Wollgras *(Eriophorum vaginatum)*, +/3 Rasen-Haarbinse *(Trichophorum cespitosum)*, 1/3 Horst-Rasenschmiele *(Deschampsia cespitosa)*, +/3 Drahtschmiele *(Deschampsia flexuosa)*, +/3 Vielblüten-Hainsimse *(Luzula multiflora* s.str.), +/3 Gross-Hainsimse *(Luzula sylvatica)*, +/3 Borstgras *(Nardus stricta)*, +/3 Kriech-Straussgras *(Agrostis stolonifera)*, +/3 Wiesen-Ruchgras *(Anthoxanthum odoratum)*, 1/3 Tormentill *(Potentilla erecta)*, 1/3 Alpen-Lattich *(Homogyne alpina)*, (+/3) Wiesen-Wachtelweizen *(Melampyrum pratense)*, r/2 Sumpf-Weidenröschen *(Epilobium palustre)*, +/2 Sumpf-Dotterblume *(Caltha palustris)*, +/3 Sumpf-Veilchen *(Viola palustris)*, 1/3 Stern-Steinbrech *(Saxifraga stellaris)*, +/2 Echte Goldrute *(Solidago virgaurea)*, (+/2) Grüner Weiss-Germer *(Veratrum album* subsp. *lobelianum)*, (r/3) Alpen-Milchlattich *(Cicerbita alpina)*, (+/3) Grau-Alpendost *(Adenostyles alliariae)*, (+/3) Purpur-Enzian *(Gentiana purpurea)*, (+/3) Wurmfarn *(Dryopteris filix-mas)*, (+/3) Gebirgs-Frauenfarn *(Athyrium distentifolium)*, (+/3) Tannenbärlapp *(Huperzia selago)*, (+/2) Wald-Bärlapp *(Lycopodium annotinum)*.

Moose kommen v.a. längs des kleinen Bächleins vor, welches das Moor durchfliesst: 1/1 Widertonmoos *(Polytrichum commune)*, (+/1) Etagenmoos *(Hylocomium splendens)*, +/1 Gekrümmtes Sichelmoos *(Drepanocladus aduncus)*, mehrere Torfmoos-Arten *(Sphagnum* spec.), u.a. 2/1 *Sphagnum acutifolium* und 2/1 *S.* cf. *rubellum*. Wenige Flechtenthalli von r/1 *Cladonia* spec.

Datierung der Moorstratigrafie von der Alpe Rauz

Die chronologische Gliederung des Pollenprofils beruht auf den klassischen Pollenzonen (III=Jüngere Dryas, IV=Präboreal, V=Boreal, VI=Älteres Atlantikum, VII=Jüngeres Atlantikum, VIII=Subboreal, IX=Älteres Subatlantikum). Zudem wurde in 163 cm Tiefe mit der AMS-Radiokarbon-Datierungsmethode fossiles Föhrenholz *(Pinus* spec.) auf 9405 Jahre BP (uncal.; UZ-6448/ETH-75854) datiert, was einem kalibrierten Alter von 10 726–10 518 cal yr BP entspricht ($\delta^{13}C$: -25.3 ± 1.0 ‰; cal yr BP = Alter vor 1950 n. Chr.), mit einem Kalibrations-Medianwert (2-sigma-Bereich) von 10 622 cal yr BP. Eine zusätzliche, relative Datierung für die Römerzeit um Christi Geburt (Auftreten von Kastanienpollen in 50 cm Tiefe) erlaubt es für die gesamte Moorstratigrafie ein Tiefen-Altersmodell zu erstellen (Abb. 4).

Gestaltung der palynologischen Diagramme

Die Resultate der palynologischen Analyse der Moorablagerungen wurden mit dem Zeichenprogramm «Tilia» (Version 2.0.41, Grimm 2015) in zwei Teildiagrammen gezeichnet (Abb. 5, Abb. 6). Die Häufigkeiten der analysierten Pollentypen sind als Prozentkurven dargestellt, wobei der Nullpunkt der Prozentskala sich jeweils links befindet. Die Pollensummen zu den Baum- und

Strauchpollen, den Zwergsträuchern, Nichtbaumpollen (NBP), Kulturzeigern und Moorpflanzen auf den Abb. 5 und 6 beziehen sich auf die Pollensumme I (PS I), jedoch ohne Cyperaceae, Hydrophyta und Pteridophyta; die Pollensumme II (PS II) umfasst alle bestimmten Sporomorphen, also auch die Cyperaceae, Hydrophyta und Pteridophyta. Um geringe Prozentwerte besser kenntlich zu machen, wurde den schwarzen Prozentkurven in 10-fach überhöhtem Massstab eine zweite Kurve als schwarze Linie überlagert. Die vertikale Skala der Profiltiefe (in cm) mit den Moor- und Seeablagerungen (Stratigrafie) sowie deren zeitliche Gliederung (Pollen- und Biozonen, PZ bzw. LPAZ = local pollen assemblage zones) stehen in beiden Teildiagrammen jeweils links. Die wissenschaftlichen Pflanzennamen (Arten, Gattungen, Familien) in den Pollendiagrammen werden im Text auch mit den deutschen Namen aufgeführt. Im ersten palynologischen Diagramm (Abb. 5) werden vor allem Baum- und Strauchpollen aufgeführt, wohingegen auf dem zweiten Diagramm (Abb. 6) die Zwergsträucher, Kräuterpollen (NBP = Nichtbaumpollen), Kulturzeiger, Moor- und Wasserpflanzen sowie die ausgezählten Pollensummen (PS I ohne und PS II mit Sauergräsern, Wasser- und Farnpflanzen) und die Pollen-/Sporenfrequenz (PF) bzw. -dichte pro cm^2 mikroskopiertem Objektträger jeder untersuchten Moorprobe als statistische Absicherung zur Repräsentativität der Interpretation gezeigt werden. Die palynologischen Resultate lassen sich durch Diagrammabschnitte bzw. lokale Biozonen (LPAZ) in sechs Etappen der Vegetationsentwicklung gliedern, die nachfolgend beschrieben werden.

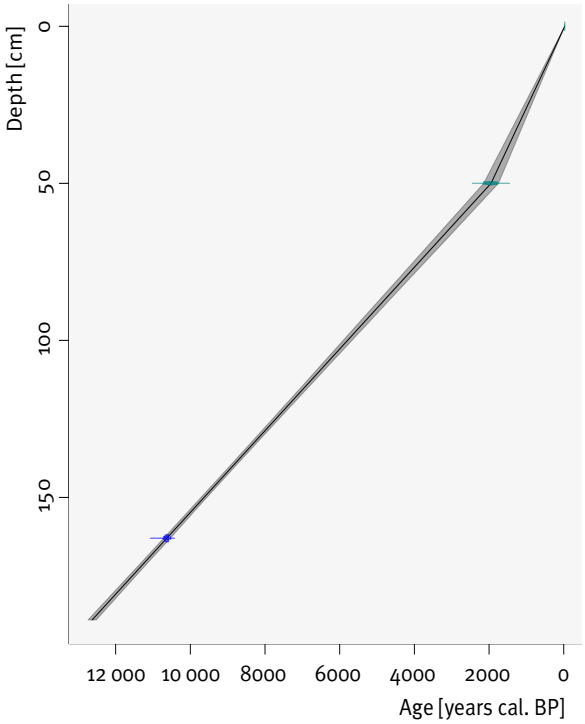

Abb. 4: Zeit-Tiefen-Modell für die Stratigrafie des Hangmoores gegenüber der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg (ca. 1630 m ü. M.), Vorarlberg (Österreich). Darstellung B. Dietre, 2024

Resultate

Vegetationsentwicklung seit ca. 12 000 cal yr BP

Diagrammabschnitt (LPAZ) 1
(180–176 cm, ca. 11940–11630 cal yr BP)

Pinus sylvestris / mugo-Pinus cembra-Betula-Poaceae-*Cichorioideae-Artemisia*-Biozone (Abb. 5–6): Subalpiner Nadelwald aus Wald-/Bergföhre (Pollenanteil 25 %), Arve (18 %) und Birke (6 %) mit reichlich Poaceae, etwas *Artemisia*, Asteraceae, einigen weiteren Kräutern (u.a. Apiaceae), Cyperaceae und Pteridophyta. Der relativ tiefe Baumpollen (BP)-Anteil von 45 % und ein Nichtbaumpollen (NBP)-Anteil von 55 % (bestehend aus 40 % Poaceae und ca. 5 % *Artemisia* sowie weiteren Kräutern) weisen noch auf die um 12 000 cal yr BP in dieser Höhenlage zu Ende gehende Späteiszeit hin. Dieser Zeitabschnitt der Kaltphase der ***Jüngeren Dryas*** (PZ III) war gekennzeichnet durch letzte markante Vorstösse der Alpengletscher, durch eine Senkung der späteiszeitlichen Nadelwaldgrenze im Mittel um ca. 200 Höhenmeter und durch eine grasreiche Steppenvegetation (Poaceae, *Artemisia, Rumex/Oxyria*-Typ).

Diagrammabschnitt (LPAZ) 2
(176–154 cm, ca. 11630–9940 cal yr BP)

Pinus sylvestris/mugo-Pinus cembra-Betula-Corylus-Alnus glutinosa/incana-Poaceae-Biozone (Abb. 5, Abb. 6): Subalpiner Nadelwald aus Wald-/Bergföhre (20 %), Arve (5 %) und Birke (8 %), mit Einwanderung und Ausbreitung der Hasel (15 %), Erlen (5 %), Weiden (1 %), wenig Eichenmischwald-Arten (EMW) sowie reichlich Süssgräsern (25 %) und einigen Kräutern (Apiaceae, v. a. *Heracleum*-Typ, Fabaceae). Dieser Diagrammabschnitt fällt ins frühe Holozän, dem ***Präboreal*** (PZ IV). Die Einwanderung und Ausbreitung der wärmeliebenden Gehölze wie Hasel, Ulme und Linde (Vertreter des EMW) zeugen vom wärmeren Klima. Gleichzeitig gehen die Föhren, die Arve und die Süssgräser (Poaceae) zurück, ein Hinweis zum vordringenden Laubwald.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 3
(154–126 cm, ca. 9940–7800 cal yr BP)

Corylus-Pinus sylvestris/mugo-Alnus glutinosa/incana-EMW-*Betula-Pinus cembra*-Biozone mit ersten *Picea*-Pollen (Abb. 5): Subalpiner Nadelwald aus Wald-/Bergföhre (15–20 %), mit reichlich Hasel (25 %), Birke (7 %), Erlen (5 %) und Weiden (1 %), mit starkem Arven-Rückgang (<5 %). In tieferen Lagen breiten sich die wärmeliebenden Laubhölzer des EMW (Eiche, Ulme, Linde) vermehrt aus (5–10 %). Die Hasel-Dominanz mit dem EMW ist in Mitteleuropa typisch für die Zeit des ***Boreals*** (PZ V) um ca. 9500 cal yr BP), dem Beginn des holozänen Wärmeoptimums. Mit den dichter werdenden Wäldern gehen die Poaceae von 20 % auf 10 % zurück (Abb. 6), wobei der NBP-Anteil etwas grösser und vielfältiger wird (Asteraceae, Fabaceae, Apiaceae). Am Ende

dieser Zone zeichnet sich bereits der Einwanderungsbeginn von *Picea abies* aus den Ostalpen und *Alnus viridis* ab.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 4 (126–66 cm, ca. 7800–3180 cal yr BP)

Alnus viridis-Alnus glutinosa/incana-Picea-Pinus sylvestris/mugo-EMW-*Abies*-Biozone mit ersten *Fagus sylvatica*-Pollen (Abb. 5): Lockerer subalpiner Nadelwald, vorwiegend aus Fichte *(Picea* 12 %) mit wenig Wald-/Bergföhre (5 %) und Weisstanne *(Abies* max. 2 %), durchmischt mit der rasch eingewanderten und sich ausbreitenden Grünerle *(Alnus viridis* 35 %) und Grauerle *(Alnus incana* 20 %), in tieferen Lagen des Klostertals erste Buchenbestände *(Fagus sylvatica* ca. 1 %). Während des ***Älteren Atlantikums*** (PZ VI) veränderte sich die Waldvegetation der Westseite des Arlbergpasses bzw. im hinteren Klostertal gemäss den palynologischen Analysen vollständig, indem sich die an der Wende Boreal/Älteres Atlantikum aus den Ostalpen (Nord-Tirol) eingewanderte Fichte seit ca. 7800 cal yr BP als dominierendes Nadelholz auf der subalpinen Alpe Rauz etablieren konnte (erste Nadel-Stomatafunde auch ab 100 cm Tiefe, d.h. ab 5800 cal yr BP), zusammen mit der Grünerle. Während letztere v.a. nordexponierte Lawinenhänge zwischen Stuben und St. Christoph am Arlberg besetzte, wuchsen Schwarz- bzw. Grauerlen *(Alnus glutinosa, A. incana)* bevorzugt an Bächen und in Auenwäldern des Klostertals.

Diese Entwicklung erreichte während des holozänen Wärmeoptimums im ***Jüngeren Atlantikum*** (PZ VII) ihren Höhepunkt. Während des Älteren und Jüngeren Atlantikums (LPAZ 4) nimmt der Poaceae-Anteil von 15 % auf <5 % markant ab. Dies als Folge des dichteren Bewuchses durch Wald und Gebüschen. Im Gegensatz dazu breiteten sich die schattentoleranten Farne (Pteridophyta) (Abb. 6) als Unterwuchs der Gehölze stark aus (Kurvenanstieg von <5 % auf 30 %). Zusammen mit dem Nadelwald stellte sich nun auch dessen Ericaceae-Zwergsträucher-Unterwuchs ein: *Vaccinium myrtillus* und *Calluna vulgaris*. Asteraceae und Cichorioideae, Apiaceae (v.a. *Heracleum*-Typ), Ranunculaceae (v.a. *Ranunculus*-Typ) und *Rumex acetosa* wurden in den alpinen Rasen zahlreicher. In diesem Diagrammabschnitt treten erstmals Indikatoren zur prähistorischen Landnahme auf: Pollenkörner von Getreide (Weizen, *Triticum*-Typ), *Plantago lanceolata* als Trittrasen- und Weidekraut (Abb. 6) sowie Faserhanf-Pollen *(Cannabis*-Typ). Dies entspricht zeitlich ca. 3200 v. Chr. (ca. 5150 cal yr BP), also dem Spätneolithikum (Jungsteinzeit).

In den Diagrammabschnitten 3 und 4 *(Boreal* und *Atlantikum)* erfolgte eine stärkere Torfbildung (mit Ablagerung von Cyperaceae-Torf) im untersuchten Feuchtbiotop bei der Alpe Rauz an der Arlbergstrasse. Jedoch bestanden noch weiterhin offene Wasserstellen, worauf die Hydrophyta, insbesondere der Wasserstern *(Callitriche* spec.) und Grünalgen *(Pediastrum* spec.) hinweisen (Abb. 6).

Diagrammabschnitt (LPAZ) 5 (66–38 cm, ca. 3180–1470 cal yr BP)

Alnus viridis-Alnus glutinosa/incana-Picea-Pinus sylvestris/mugo-EMW-*Abies-Fagus sylvatica*-Biozone mit ersten Hainbuchen-Pollen *(Carpinus betulus)* und vermehrt Wacholder *(Juniperus*, <1 %): Der Diagrammabschnitt 5 deckt gemäss dem Altersmodell (Abb. 4) somit den Zeitraum von der Spätbronzezeit bis zum Hochmittelalter ab. Die Pollenkurven von Fichte, Schwarz-/Grauerle und des EMW (Eiche, Ulme, Linde, Ahorn) weisen eine rückläufige Tendenz auf, während die Grünerlenkurve ansteigt (Abb. 5). Dies deutet auf erste Waldrodungen in der Region hin, insbesondere im Waldgrenzbereich. Die Grünerlenausbreitung als Rodungsindikator und die Zunahme der Kulturpollen *(Triticum*-Typ, *Plantago lanceolata, Humulus*- und *Cannabis*-Typ) weisen in dieselbe Richtung stärkerer landwirtschaftlicher Aktivitäten (Abb. 6). Die Anteile der Gräser (Poaceae 10 %) nehmen zu, und zu den bisherigen Wiesenkräutern kommen neu hinzu: Rosaceae, *Sanguisorba minor*, verschiedene *Plantago*-Arten, Caryophyllaceae und an Feuchtstellen *Saxifraga stellaris*-Typ. Die erste Herausbildung von Weiden und Kulturwiesen (Heumähder) ist hier während der Eisenzeit anzusetzen. Zunehmende Cyperaceae (20 %), letzte Hydrophyta (v.a. *Callitriche)* und Hochstauden-Arten des Moorrandes *(Mentha*-Typ und *Valeriana)* weisen auf die vollständige Moorverlandung mit Seggentorf hin.

Diagrammabschnitt (LPAZ) 6 (38–10 cm, ca. 1470–370 cal yr BP)

Alnus viridis-Pinus sylvestris/mugo-Picea-Larix-Alnus glutinosa/incana-Abies-Fagus sylvatica-EMW-Biozone mit wenig Hainbuche *(Carpinus* <1 %), Wacholder *(Juniperus* 2 %) und wenig Weiden *(Salix* <1 %): Die abnehmenden Baumpollen-Prozente von Fichte und Schwarz-/Grauerle und der Anstieg der Grünerlen-Kurve von Diagrammabschnitt 5 setzen sich fort, was als Folge der zunehmenden Alpweiderodungen interpretiert werden kann (Abb. 5). In dieselbe Richtung weisen steigende Anteile der Gräser- und Wiesen-Kräuterpollen *(Rumex/Oxyria*-Typ, Asteraceae, Rosaceae, *Plantago*-Arten, Apiaceae) sowie fallende Pteridophyta-Prozente als Folge von Waldauflichtungen bzw. -rodungen (Abb. 6). Der zunehmende menschliche Einfluss auf die Vegetation wird zudem durch die teilweise steigenden Prozentwerte der Kulturpollen angezeigt: Getreide (Weizen, *Triticum*-Typ 2 %), *Secale cereale* (Roggen <1 %), *Humulus-/Cannabis*-Typ (<1 %), *Castanea sativa* (Edelkastanie <1 %), *Plantago lanceolata* (Spitzwegerich 1 %) und durch viele Weide- und Ruderalarten *(Plantago media* <1 %, *Urtica* <1 % und *Artemisia* <1 %). Dieser oberste Diagrammabschnitt fällt gemäss dem Altersmodell (Abb. 4) zeitlich in die Periode vom Hochmittelalter bis in die frühe Neuzeit (Subatlantikum). Hier erreichen die Cyperaceae maximal 33 %, was durch den Seggentorf im Profil angezeigt wird. *Filipendula* als Hochstaudenart wuchs noch am Moorrand.

Stuben am Arlberg
ca. 1630 m ü.M.
Wandproben am Aufschluss 1977

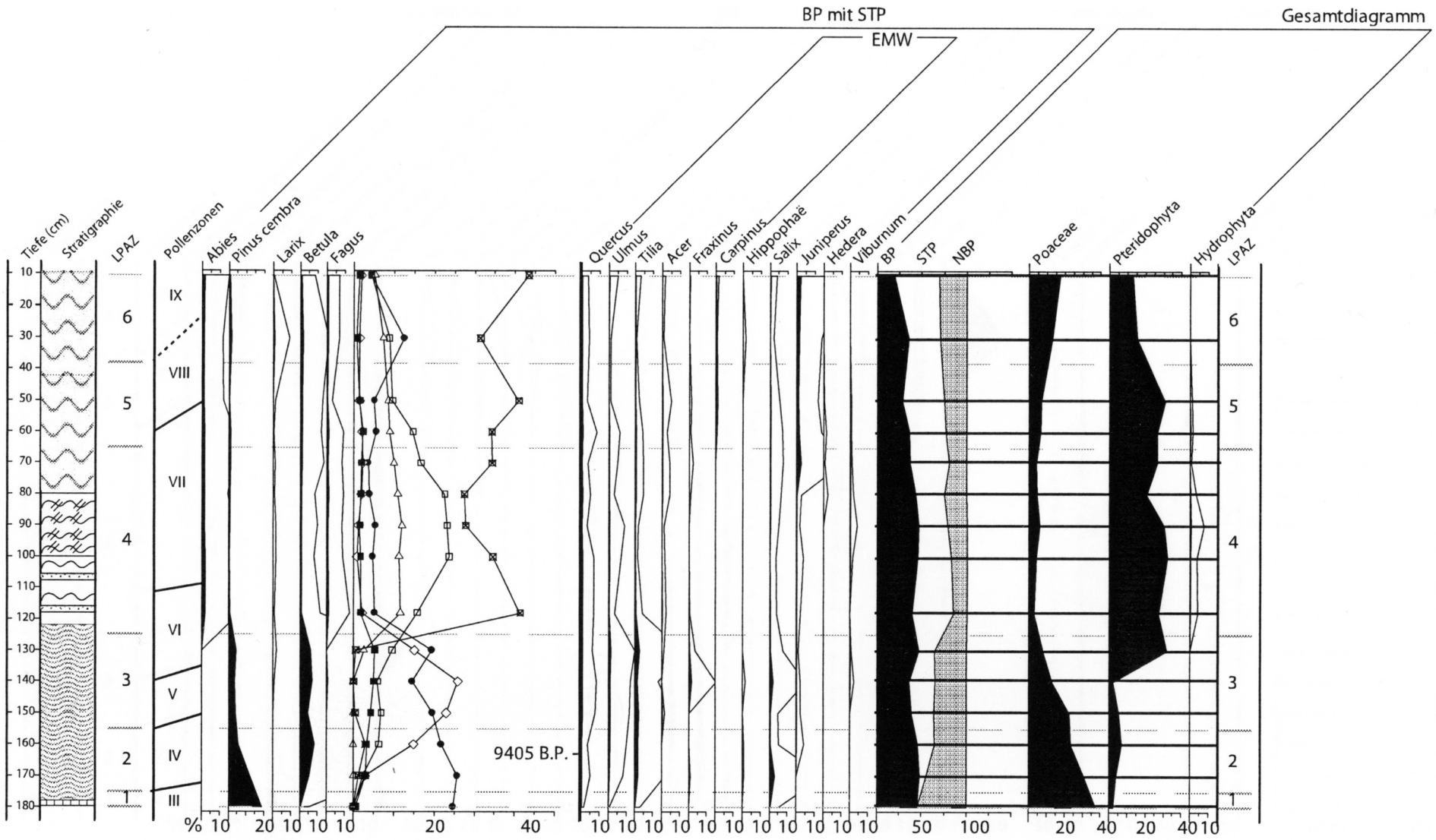

Abb. 5: Palynologisches Diagramm vom Hangmoor-Aufschluss gegenüber der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg (ca. 1630 m ü. M.), Vorarlberg (Österreich). Pollenanalyse: Conradin A. Burga, 2022–2023

Stuben am Arlberg

ca. 1630 m ü.M.
Wandproben am Aufschluss 1977

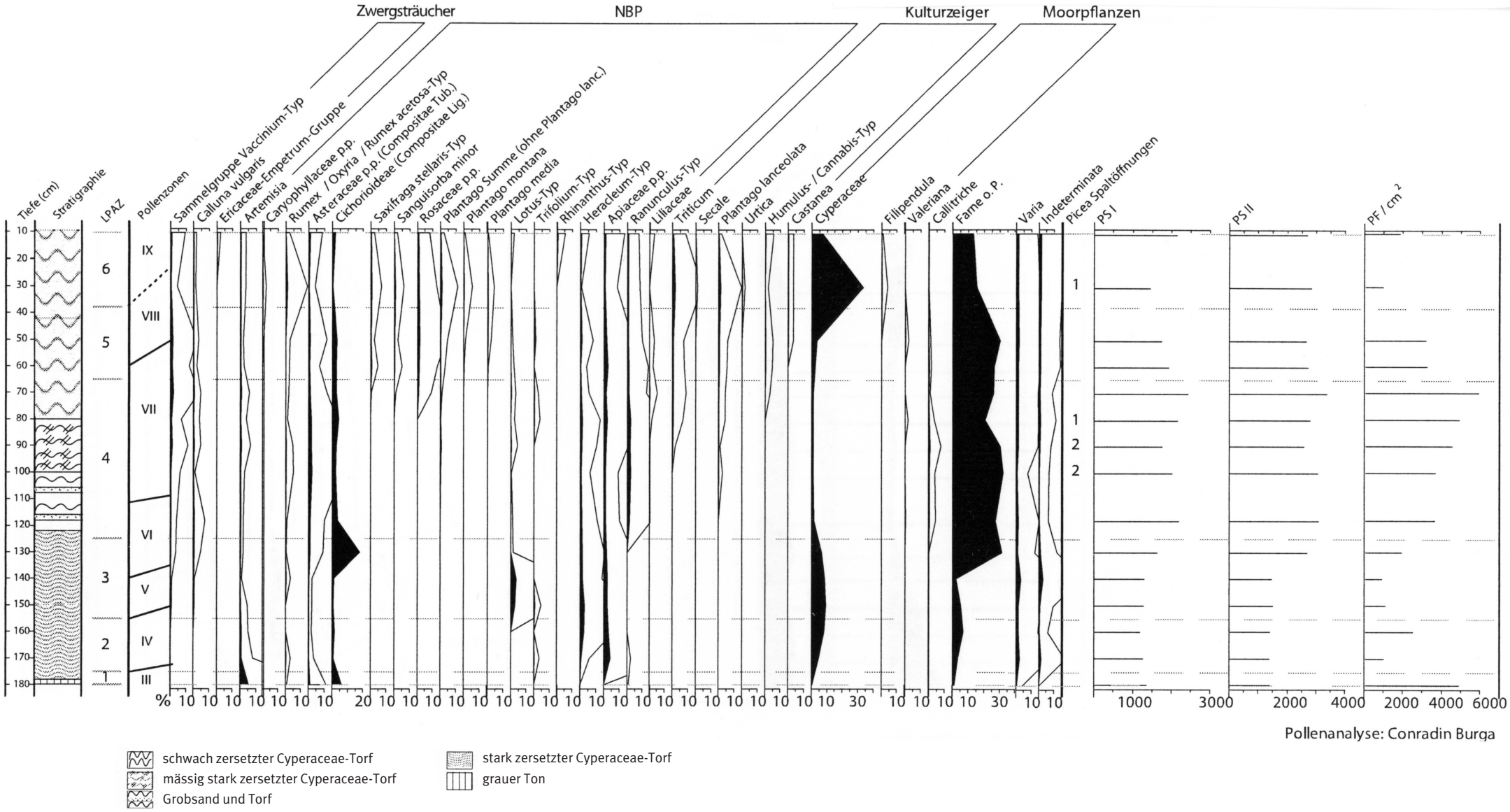

Abb. 6: Palynologisches Diagramm vom Hangmoor-Aufschluss gegenüber der Alpe Rauz oberhalb Stuben am Arlberg (ca. 1630 m ü. M.), Vorarlberg (Österreich). Pollenanalyse: Conradin A. Burga, 2022–2023

Diskussion

Zur holozänen Waldentwicklung und zum Beginn der Alpwirtschaft im hinteren Klostertal

Die grauen Glazialtone an der Profilbasis (189–178 cm) sind noch ins ausklingende Spätglazial einzuordnen (Jüngere Dryaszeit, datiert auf ca. 12 600–11 800 cal yr BP). Die Basispollenprobe in 180 cm Tiefe weist auf die späteiszeitliche Wiederbewaldung mit Wald-/Bergföhre, Arve und wenig Birke mit ausgedehnten Wermut-Grasheiden hin. Zu Beginn des Holozäns stockte Föhren-Arven-Wald mit Birke sicher bis zur Höhenlage des Moores oberhalb Stuben in 1630 m ü. M., worauf ein entsprechender Föhren-Holzfund aus dem Präboreal hinweist, der auf 10 600 cal yr BP datiert wurde. Im Verlauf des Präboreals erfolgte bei wärmerem Klima die Einwanderung der Hasel, die im darauffolgenden Boreal ihren Höhepunkt erreichte. Zu dieser Zeit begann sich die Bewaldung des hinteren Klostertals zu ändern, indem einerseits in der kollinen Stufe die thermophilen Laubhölzer des Eichenmischwaldes (zuerst Ulme und Linde, dann Eiche, Ahorn und Esche) einwanderten und sich die aus den Ostalpen (Tirol) vom Inntal her einwandernde Fichte mit der Grünerle durch erste Pollen (Fernflug) bemerkbar machten. Lokal begannen sich die hochwüchsigen Erlen (v.a. *Alnus incana)* und Weiden, wohl bevorzugt längs des Rauz- und Alfenz-Bachs, stärker in der Auenzone auszubreiten. Gleichzeitig gingen die Gräser stetig zurück, was durch die neue, dichtere Bewaldung erklärt werden kann. Um 9000 cal yr BP, an der Wende Boreal/Älteres Atlantikum, begann sich die Bewaldung grundlegend zu verändern, indem der Föhrenwald, insbesondere die Arve und die Hasel stark zurück gingen, und die ab 7800 cal yr BP neu eingewanderte Fichte das Waldbild zu dominieren begann, dies zusammen mit dichterem Grünerlen-Gebüsch. Im späteren Verlauf des Älteren Atlantikums wanderten in der kollinen und montanen Stufe des Klostertals zudem die Buche und die Weisstanne ein. Im Jüngeren Atlantikum dominierten im hintersten Klostertal Fichtenwälder mit wenig Lärche, während die Bergföhre vorwiegend als Legföhren-Bestände die kalkreichen Berghänge oberhalb Stuben, insbesondere im Kar von Valfagehr und die nordexponierten Hänge im Bereich des Arlberg-Passes besiedelte und die Arve im engeren Untersuchungsgebiet praktisch ganz verschwand.

Wie bereits oben erwähnt, zeichnet sich in Diagrammabschnitt 4 (ca. 7800–3180 cal yr BP) ein deutlicher Vegetationswandel mit Ausbreitung des Fichtenwaldes und Rückgang der Föhre ab. Gleichzeitig erfolgt die Massenausbreitung der Grünerle. Das zweite auffällige Merkmal dieses Diagrammabschnitts ist das erste Auftreten von Kulturpflanzenpollen wie von Getreide *(Triticum*-Typ, Hanf (*Cannabis*-Typ) und von Weideindikatoren *(Plantago lanceolata, P. media, Trifolium*-Typ, *Rhinanthus*-Typ, *Rumex acetosa*-Typ). In den jüngeren Diagrammabschnitten nimmt die Häufigkeit dieser Indikatoren noch zu, und es kommen später nebst Edelkastaine *(Castanea sativa)* noch Pollen von Ruderalpflanzen *(Urtica*, *Artemisia)* stickstoffreicher offener Standorte dazu.

Gemäss einem Überblick zum Beginn der Alpwirtschaft Mitteleuropas (Gilck & Poschlod 2019) liegen für das Neolithikum v. a. pollenanalytische und nur wenige archäologische Daten vor. Ab 4500 v. Chr. (ca. 6500 cal yr BP) nehmen die Pollen-Daten zur Alpweidewirtschaft zu, und es werden saisonale Bauten und Viehgehege vermutet. Hinweise auf alpine Viehzucht während der Bronzezeit geben genetische Analysen *(mtDNA d-loop*-Methode) von Fossilfunden des Hausrindes *(Bos taurus)* aus Graubünden (Savognin Padnal) und aus Südtirol (Eisacktal) (Granado et al. 2021). Zudem wird ab der Bronzezeit (2200 v. Chr.) eine alpwirtschaftliche Nutzung bis in die subalpine Stufe angenommen, worauf zahlreiche archäologische und pollenanalytische Daten hinweisen (z. B. Reitmaier 2012, Dietre et al. 2012, Burga 2022).

Urgeschichtliche Streufunde in der Umgebung von Arlberg lassen vermuten, dass der Arlbergpass schon in prähistorischer Zeit begangen wurde. Allerdings ist der Verlauf der rätischen und römischen Wege noch unbekannt (Thöny 2007). Pollenanalytische Untersuchungen im Montafon (Kostenzer 1996), am Tannberg (Oeggl & Walde 2007) und nun auch im hintersten Klostertal am Anstieg zum Arlbergpass gemäss der vorliegenden pollenanalytischen Untersuchung legen eine Begehung des Klostertals seit prähistorischer Zeit nahe.

Im nachfolgenden Diagrammabschnitt 5 (ca. 3180–1470 cal yr BP) weisen die Fichte, die Schwarz-/Grauerlen und der EMW (Eiche, Ulme, Linde, Ahorn) eine rückläufige Tendenz auf, während der Grünerlenanteil weiter ansteigt. Dies deutet auf erste Waldrodungen hin, wohl hauptsächlich im Waldgrenzbereich. Die Zunahme von Kulturzeigerpollen (inkl. dem ersten Auftreten von Edelkastanie – *Castanea sativa)* weisen in dieselbe Richtung beginnender Siedlungsaktivitäten im Talbereich und möglicherweise auf einsetzende Landwirtschaft mit einer ersten Alpnutzung und Viehweiden bzw. Kulturwiesen (Heumähder) oberhalb der Waldgrenze hin.

Der letzte Diagrammabschnitt 6 (ca. 1470–370 cal yr BP) weist ebenfalls eine Siedlungstätigkeit im Tale nach, mit Getreideanbau (Weizen und Roggen) und Heumähder (mit vielen Weide- und Ruderalarten). Dies passt gut zu den schriftlichen Quellen, die das Klostertal erstmals mit einer Zollstelle im 14. Jahrhundert bezeugt. Danach folgen 1386 das Arlberg-Hospiz, 1785 die erste befahrbare Pass-Strasse und 1824 die Kunststrasse (Thöny 2007) (Abb. 7).

Zur Einwanderungs- und Ausbreitungsgeschichte der Fichte und Grünerle

Die letzteiszeitlichen Fichten-Refugien Südeuropas weisen eine komplexe Florengeschichte auf (Ravazzi 2002). Denn die maximale Fichtenausbreitung erfolgte nicht im letzten Interglazial, sondern während den Interstadialen des mittleren Pleniglazials der letzten Eiszeit. Eine starke Fichtenausbreitung konnte während den späteiszeitlichen Interstadialen (Bölling, Alleröd) nach der würmeiszeitlichen Maximalvergletscherung nachge-

Abb. 7: Alte Postkarte der Alpe Rauz (früher Rautz genannt) oberhalb Stuben am Arlberg. Photochromie-Karte von Purger & Co München, herausgegeben um 1910. Das hier untersuchte Hangmoor befindet sich oberhalb des dunkelgrün eingezeichneten Hanges (Bildmitte ganz links, oberhalb des Rauzbaches, d.h. oberhalb der Strassenkurve hinter der Gebäudegruppe links vorne). Bildmittig ist etwas weiter westwärts die ehemalige Abzweigung von der Arlbergstrasse zum Flexenpass zu sehen. Bildnachweis: Archiv des Museumsvereins Klostertal in Wald am Arlberg.

wiesen werden. Während die Fichtenrefugien des nördlichen Apennins für die spätere Fichtenausbreitung in den Alpen keine wichtige Rolle spielten, waren die Refugien der östlichen Voralpen nördlich von Venedig und in Slowenien d. h. die Karnischen und Julischen Alpen für die Ost-West-Einwanderung der Fichte von entscheidender Bedeutung (Ravazzi et al. 2006, Lang et al. 2023).

Ausgehend von den Eiszeit-Refugien am östlichen Alpenrand und/oder dem Dinarischen Gebirge wanderte die Fichte bereits vor ca. 9000 Jahren ins obere Etschtal (Südtirol/Trentino) ein. Danach breitete sie sich längs dem südlichen Alpenrand gegen Westen bis zum Tonale- und Apricapass aus, erreichte um 9000 cal yr BP die Linie Reschenpass und weiter das Veltlin, von wo sie ins Puschlav gelangte. Durch das Inntal migrierte die Fichte ins Unterengadin und um 9000–8400 cal yr BP weiter ins Oberengadin (Welten 1982, Burga 1987). Weiter im Westen konnte die Fichte um 8400–7400 cal yr BP von Nord-Tirol über Vorarlberg und durch das St. Galler Rheintal nach Süden in die Vorder- und Hinterrheintäler, ins Oberhalbstein sowie über den San Bernardino-Pass bis ins Misox und Nord-Tessin vordringen (Zoller 1960, Müller 1972, Heitz 1976, Burga 1980, Burga & Perret 1998).

Bereits aus den ersten pollenanalytischen Untersuchungen von Ablagerungen aus Mooren Vorarlbergs gehen Angaben zum ersten nacheiszeitlichen Auftreten der Fichte im Älteren Atlantikum hervor. So am Beispiel der Moore Riedboden bei Dalaas (1870 m ü. M.), Zeinisjoch (1820 m ü. M.), Bieler Höhe (2032 m ü. M.) und am Arlberg (1700 m ü. M.) (Firbas 1926). Im Moor bei der unteren Freschhütte (1550 m ü. M.) im Silbertal wurde für denselben Zeitpunkt die Fichteneinwanderung nachgewiesen (Lorenz 1933). Pollenanalysen am Grünsee (1836 m ü. M.), Schwarzsee (1721 m ü. M.) und bei Reschenscheideck/Nord-Tirol ergaben zur Fichtenausbreitung mit 8400 cal yr BP eine ähnliche Altersstellung (Welten 1982). Entsprechende Untersuchungen im Engadiner Moos (1720 m ü. M.) nahe letzterem Moor bei Nauders bestätigen die oben erwähnte Fichtenausbreitung (Kucher 1994). Pollenanalytische Untersuchungen in Garsella (1460 m ü. M.) oberhalb Schruns/Montafon und Komperdell (1930 m ü. M.)/Serfaus im Oberinntal ergaben für die Fichtenausbreitung eine ähnliche Altersstellung um 7900 cal yr BP (Schmidl et al. 2005, Wahlmüller 2005). Die Ausbreitungsalter der Fichte an den oben genannten Fundorten Vorarlbergs fügen sich zwanglos in die bereits publizierten Übersichten von Kral (1979) und Oeggl (2015) ein. Wie oben erwähnt, erreichte die Fichte via Arlbergpass im Älteren Atlantikum um 7800 cal yr BP das hinterste Klostertal und wanderte in der subalpinen Stufe durch Vorarlberg weiter nach Westen. Erste Nadel-Stomatafunde fanden sich in der vorliegenden Studie zu Beginn des Jüngeren Atlantikums (ca. 5800 cal yr BP). Im Moorprofil «Mariagrün» bei Feldkirch ist die Fichteneinwanderung zusammen mit der Weisstanne im Jüngeren Atlantikum um 6300 cal yr BP nachzuweisen (Burga & Chédel 2016). Obwohl beide Nadelhölzer gleichzeitig im Raum Feldkirch einwanderten, gelangte dort nur die Weisstanne rund 4000 Jahre lang zur Dominanz. Dies war bezüglich der kollinen Höhenlage von «Mariagrün» (544 m ü. M.) zu erwarten, da die Fichte ihr ökologisches Optimum in der subalpinen Stufe hat. In den höher gelegenen Mooren des Bregenzerwaldes sind die Fichte und Weisstanne bis im Älteren Subatlantikum etwa gleich stark vertreten (Kral 1993). Eine analoge florengeschichtliche Situation zu den beiden Nadelhölzern geht aus Pollenanalysen im Montafon hervor (Kostenzer 1996, Oeggl & Walde 2007). Dank der relativ niederen Höhe von 1793 m war der Arlbergpass für die Fichten-Migration ein wichtiger Verbindungsweg vom Inntal nach Westen ins Gebiet von Vorarlberg und zum Rheingebiet der Ostschweiz.

Bereits in früheren pollenanalytischen Untersuchungen von Mooren der Schweizer Zentralalpen und der Ostalpen Österreichs wurde an vielen Lokalitäten eine nahezu gleichzeitige Einwanderung von Fichte und Grünerle festgestellt (Tabellen 7 und 8 in Burga 1980), und zwar mit einer von Osten nach Westen gerichteten Einwanderungs- bzw. Ausbreitungs-Tendenz (Burga & Perret 1998). Ab ca. 5800 cal yr BP ist allgemein im Waldgrenzbereich der Alpen eine Zunahme der Grünerle nachzuweisen (Lang

1994). Deren Massenausbreitung erfolgte von den östlichen Alpen bis zu den nordwestlichen Voralpen im Subboreal und Älteren Subatlantikum bei kühlerem Klima während der Eisenzeit. Dazu kommt eine Förderung der Grünerlenausbreitung auf Alpweide-rodungsflächen, den dadurch entstandenen Erosionsflächen und auf neuen Lawinenbahnen. Der manchenorts spätere Grünerlen-rückgang war wohl hauptsächlich durch Feuerholznutzung, Heumähder- und Weide-Pflege, sowie durch das Schneiteln als Futterlaubbaum (Haas & Rasmussen 1993) bedingt. Zusammen mit der Grünerle breiteten sich oft auch die damit vergesellschafteten krautigen Hochstaudenfluren des Adenostylion alliariae (Br.-Bl. 1925) mit den folgenden Arten aus: *Adenostyles alliariae, Cicerbita alpina, Achillea macrophylla, Saxifraga rotundifolia, Peucedanum ostruthium, Chaerophyllum hirsutum, Ranunculus aconitifolius, R. platanifolius, Aconitum napellus* agg., *Veratrum album* subsp. *lobelianum, Rumex alpestris, Geranium sylvaticum, Stellaria nemorum* s.l., *Athyrium distentifolium* u.a., was ebenfalls im Moor oberhalb von Stuben am Arlberg der Fall ist (Abb. 6). Die in den Alpen häufig an feuchten Schatten- und Lawinenhängen anzutreffende Grünerlen-Buschgesellschaft (Alnetum viridis Br.-Bl. 1918) mit typischem Hochstauden-Unterwuchs wurde durch den Bündner Pflanzensoziologen Josias Braun-Blanquet beschrieben, wobei auch im Raum Stuben am Arlberg Pflanzenbestände mit einbezogen wurden (Braun-Blanquet 1973).

Der aktuelle Restbestand dieses subalpinen Hangmoors an der Arlbergstrasse oberhalb Stuben am Arlberg ist ein wertvolles Naturarchiv zur lokalen und regionalen holozänen Floren- und Vegetationsgeschichte sowie zum Beginn der menschlichen Landnahme in prähistorischer Zeit. Es gilt, den Restbestand dieses kleinen Biotops für die Zukunft zu bewahren.

Dank

Mein Kollege Dr. Ewald Triller, Geologe (Frankfurt a.M.) zeigte mir 1976 vor Ort den neu entstandenen Hangmoor-Aufschluss oberhalb Stuben am Arlberg, stellte mir für diese Publikation eine unpublizierte Fotografie des Aufschlusses zur Verfügung und sah die Angaben zur Geologie im Umkreis des Moorstandorts durch, wofür ich herzlich danke. Die Moorproben wurden von Gabriele Eisele am Institut für Botanik der Universität Stuttgart-Hohenheim für die Pollenanalyse aufbereitet. Für ihre sorgfältige Laborarbeit sei bestens gedankt. Die Erstellung der Pollendiagramme auf Grund meiner Analysendaten erfolgte in verdankenswerter Weise durch Frau Dr. Sonja Adamczyk, Kirchheim unter Teck (Deutschland). Die für die ^{14}C-Altersbestimmung erforderliche Aufbereitung des Probenmaterials führte Thomas Keller im Radiokarbonlabor (Leitung Prof. Dr. Markus Egli) des Geographischen Instituts der Universität Zürich durch, wofür bestens gedankt sei. Die Datierung wurde mittels der AMS-Technik (accelerator mass spectrometry) auf dem Beschleuniger des LIP (Laboratorium für Ionenstrahl-Physik) der ETH-Zürich/Höngger-

berg durchgeführt. Das Zeit-Tiefen-Modell für die Stratigrafie des Hangmoors oberhalb Stuben am Arlberg erstellte in verdankenswerter Weise Dr. Benjamin Dietre (Lyon). Die grafische Gestaltung der Karte mit dem Moorstandort erfolgte in verdankenswerter Weise durch Steinmann visuelle Gestaltung, Schaffhausen. Dem Museumsverein Klostertal danke ich für die zur Verfügung gestellte alte Postkarte der Alpe Rauz von ca. 1910. Für die kritische Durchsicht des Manuskripts danke ich meinem Kollegen Prof. Dr. Jean Nicolas Haas, Institut für Botanik der Universität Innsbruck (Österreich), und Dr. Daniel Küry von der Bauhinia-Redaktion für Vorschläge zur besseren inhaltlichen Gliederung des Beitrags.

Literatur

Bögel H & Schmidt K (1976) Kleine Geologie der Ostalpen. Ott, Thun

Brandner R (1980) Geologische Karte von Tirol 1:300'000 und tektonische Übersichtskarte von Tirol 1:600'000. Tirol-Atlas C3. Institut für Geographie/Abt. Landeskunde der Universität Innsbruck. Wagner, Innsbruck

Braun-Blanquet J (1964) Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Berlin, Wien, New York

Braun-Blanquet J (1973) Zur Kenntnis der Vegetation alpiner Lawinenbahnen. Fragmenta Phytosociologica Raetica V. Communication de la Station Internationale de Géobotanique Méditerranéenne et Alpine 193: 147–149

Burga CA (1980) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schams und des San Bernardino-Passgebietes (Graubünden, Schweiz). Dissertationes Botanicae 56. Cramer, Vaduz

Burga CA (1987) Gletscher- und Vegetationsgeschichte der Südrätischen Alpen seit der Späteiszeit. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 101. Birkhäuser, Basel

Burga CA (1988) Swiss vegetation history during the last 18'000 years. New Phytologist 110 (4): 581–602

Burga CA (2022) Von der Natur- zur Kulturlandschaft: Pollen im Moorprofil Lai da Vons (Hinterrheintal) als Hinweise zur menschlichen Landnahme. Jber Natf Ges Graubünden 122: 63–74

Burga CA & 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 CA & Perret R (1998) Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun

Dietre B, Anich I, Reidl D, Kappelmeyer T & Haas JN (2012) Erste Hirten und Bauern der Silvretta. Palynologie und Ethnobotanik im Fimbertal und Patznaun. In: Reitmaier T (Hrsg) (2012) Letzte Jäger, erste Hirten. Hochalpine Archäologie in der Silvretta. Amt für Kultur, Archäologischer Dienst Graubünden (ADG). Archäologie Graubünden, Sonderheft 1: 237–256

Firbas F (1926) Über einige hochgelegenen Moore Vorarlbergs und ihre Stellung in der regionalen Waldgeschichte Mitteleuropas. Zeitschrift für Botanik 18: 545–587

Fischer MA, Adler W & Oswald K (2005) Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, Linz

Gilck F & Poschlod P (2019) The origin of alpine farming: A review of archaeological, linguistic and archaeobotanical studies in the Alps. The Holocene 29/9: 1503–1511

Granado J, Harmath M, Tecchiati U, Oeggl K, Schibler J & Schlumbaum A (2021) MtDNA D-loop Diversity in Alpine Cattle during the Bronze Age. Diversity 13: 449–463

Grimm EC (2015). Tilia (version 2.0.41). Illinois State Museum, Springfield, USA

Haas JN & Rasmussen P (1993) Zur Geschichte der Schneitel- und Laubfutterwirtschaft in der Schweiz – Eine alte Landwirtschaftspraxis kurz vor dem Aussterben. In: Brombacher, C, Jacomet, S & Haas, JN (Hrsg) Festschrift Zoller. Cramer, Berlin-Stuttgart. Dissertationes Botanicae 196: 469–489

Heitz C (1975) Vegetationsentwicklung und Waldgrenzschwankungen des Spät- und Postglazials im Oberhalbstein (Graubünden/Schweiz) mit besonderer

Berücksichtigung der Fichteneinwanderung. Beiträge zur Geobotanischen Landesaufnahme der Schweiz 55. Huber, Bern

Kostenzer J (1996) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Montafons (Vorarlberg, Österreich). Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins Innsbruck 83: 93–110

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. Universität für Bodenkultur, Wien

Kral F (1993) Zum Aufbau von Fichten-Tannen-Buchenwäldern im jüngeren Postglazial (Bregenzerwald und Obersteiermark). Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich 130: 171–188

Kucher W (1994) «Schwöltmoos» und «Engadiner Moos». In: Oeggl K (1994) Führer zur XVIII. Moorexkursion 21.–28. September 1994, Institut für Botanik der Universität Innsbruck: 11–15

Lang G (1994) Quartäre Vegetationsgeschichte Europas. Fischer, Jena

Lang G, Ammann B, Behre K-E, Tinner W (2023) Quaternary Vegetation Dynamics of Europe. Haupt, Bern

Lorenz A (1933) Pollenanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte der zentralen und südlichen Ostalpen. Beihefte zum Botanischen Centralblatt 50: 1–34

Müller HJ (1972) Pollenanalytische Untersuchungen zum Eisrückzug und zur Vegetationsgeschichte im Vorderrhein- und Lukmaniergebiet. Flora 161: 333–382

Oberhauser R (Hrsg), Bauer FK, Beck-Mannagetta P, Cernajsek T, Daurer A, Draxler I, Drimmel J, Fuchs G, Fuchs W, Gattinger TE, Grill R, Hauser C, Heinrich M, Holzer M, Janoschek W, Malecki G, Matura A, Pahr A, Pirkl HR, Pistotnik B, Plöchinger B, Prey S, Priewalder H, Ronner F, Schäffer G, Scharbert S, Schermann O, Schnabel W, Schönlaub HP, Sieber R, Stradner H, Thiele O & Woletz G (1980) Der geologische Aufbau Österreichs. Springer Wien, New York

Oeggl K (2015) Die Entwicklung der hochmontanen und subalpinen Wälder im Holozän. Berichte der Reinhard-Tüxen-Gesellschaft 27: 123–131

Oeggl K & Walde C (2007) Zur Vegetations- und Siedlungsentwicklung auf dem Tannberg. Pollenanalysen aus dem Kalbele- und dem Körbersee. Walserheimat 81: 33–38

Pitschmann H, Reisigl H, Schiechtl HM & Stern R (1973) Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1:100'000. III. Teil: Blatt 5, Silvretta und Lechtaler Alpen. Documents de cartographie écologique, XI: 33–40, mit Karte

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 GB, 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

Reitmaier T (Hrsg) (2012) Letzte Jäger, erste Hirten. Hochalpine Archäologie in der Silvretta. Amt für Kultur, Archäologischer Dienst Graubünden (ADG). Südostschweiz Buchverlag, Glarus, Chur

Richter M (1969) Vorarlberger Alpen. Sammlung geologischer Führer. Bornträger, Berlin, Stuttgart

Schiechtl HM (1987) Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1:300'000. Tirol-Atlas Karte E 2. Institut für Geographie, Abt. Landeskunde der Universität Innsbruck, Innsbruck

Schmidl A, Kofler W, Oeggl-Wahlmüller N & Oeggl K (2005) Archaeobotanical studies on the colonisation of the Montafon (Western Austria). Palyno-Bulletin 1 (1–2): 41–58

Thöny C (2007) Historische Wege über den Arlberg und den Flexenpass. Walserheimat 81: 76–79

Triller E (1980) Sedimentpetrographische Untersuchungen zu Vulkanismus, Diagenese und Anchimetamorphose in den Partnach-Schichten des Arlberg-Gebietes und Erläuterungen zur geologischen Karte des Kalkalpins und der «Phyllitgneis-Zone» östlich Stuben am Arlberg (Vorarlberg). Unveröffentlichte Diplomarbeit Universität Frankfurt a. M.

Wahlmüller N (2005) Early to Late Holocene Subalpine Vegetation History of the Upper Inn Valley: The Komperdell Alp above Serfaus, Austria. Palyno-Bulletin 1 (1–2), Palyno-Bulletin 1 (1–2): 59–61

Welten M (1982) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schweizerischen Nationalparks. Ergebnisse der wissenschaftlichen Untersuchungen im Schweizerischen Nationalpark XVI (80): 1–43

Zoller H (1960) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte der insubrischen Schweiz. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 83: 45–156