

Spät- und nacheiszeitliche Floren- und Vegetationsgeschichte der Region Feldkirch-St. Galler Rheintal am Beispiel des Pollenprofils von Mariagrün (544 m ü.M., Vorarlberg, Österreich)

Conradin A. Burga & Maurice Chédel

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

The peat bog Mariagrün (544 m a.s.l.) is situated within a kettle hole south of Feldkirch (Vorarlberg, Austria) where the former confluence of the Würmian Rhine and Ill glacier was located. The peat bog area is surrounded by Ill glacier moraines and kame terraces. A 690 cm long peat core provided the following stages of local and regional vegetation history since the Late Würmian: (1) Oldest Dryas (ca. 20 000–15 690 cal BP): *Artemisia-Ephedra-juniper-willow-grass* steppe and tundra; (2) Bölling (ca. 15 690–14 120 cal BP): Birch-pine park tundra; (3) Alleröd (ca. 14 120–13 050 cal BP): Pine reforestation, immigration of Swiss stone pine (*Pinus cembra*); (4) Younger Dryas (ca. 13 050–11 600 cal BP): Forest recession and steppe revival; (5) Preboreal (ca. 11 600–10 240 cal BP): Immigration and spread of thermophilous deciduous elm-lime forest; (6) Boreal (ca. 10 240–8955 cal BP): Long-lasting elm-lime-maple forest with hazel dominance and local alder riparian forest; (7) Older Atlantic (ca. 8955–6850 cal BP): Spread of mixed oak forest and hazel recession; (8) Younger Atlantic (ca. 6850–5780 cal BP): Immigration and spread of silver fir and Norway spruce at ca. 6300 cal BP; (9) Subboreal (ca. 5780–3100 cal BP): Expansion of silver fir forest and oak recession, first finds of cereal-type pollen; (10) Older Subatlantic (ca. 3100–980 cal BP): Recession of silver fir, Norway spruce and pine (forest clearings), spread of beech and alder riparian forest, anthropogenic pollen (cereals, chestnut, ruderal plants); (11) Younger Subatlantic (since ca. 980 cal BP): Rise of indicators of meadow, pasture and ruderal plants; re-expansion of oak, beech and pine; Norway spruce plantations. An overview to the Holocene immigration of silver fir, Norway spruce and beech is given.

Keywords: pollen analysis, radiocarbon dating, flora and vegetation history, sedimentology, peat bog history, archaeology

Adressen der Autoren/-in:

Prof. em. Dr. Conradin A. Burga
Viktoriastrasse 50
8050 Zürich/Schweiz
conradin.burga@bluewin.ch

Maurice Chédel, dipl. Geogr.
Kantonsschule Reussbühl
Ruopigenstrasse 40
6015 Luzern/Schweiz

Angenommen: 10. März 2016

DOI

<https://doi.org/10.12685/bauhinia.1629>

Einleitung

Gebietsübersicht, Problemstellung

Das Verlandungs-Flachmoor «Mariagrün» (544 m ü.M., Internationale Koordinaten: 47°13'39.62'' N / 9°35'45.88'' E; Koordinaten Landeskarte der Schweiz: 763 300 / 232 900) befindet sich in einer Geländemulde südlich von Feldkirch (Vorarlberg, Österreich) innerhalb des Konfluenzgebiets der würmeiszeitlichen Rhein- und Ill-Gletscher. Die Moormulde wird umrahmt von Moränen und Kames-Terrassen des Ill-Gletschers (JORDI 1977, 1986, 1994) (Abb. 1). Die entsprechenden Moränen des Rheingletschers des Feldkirch-Stadiums befinden sich im westlich davon verlaufenden Rheintal. Das Feldkirch-Stadium ist ein etwas jüngerer Rheingletscherstand des spätwürmeiszeitlichen Weißbad-Koblach-Stadiums, wahrscheinlich äquivalent zum Bühl-Stadium (KELLER & KRAYSS 1980). Die spätwürmeiszeitliche Situation der Konfluenz des Bodensee-Rhein- und des Illgletschers im Raum Feldkirch und im grösseren Gebietszusammenhang mit der Region Appenzell-Toggenburg kommt in der Rekonstruktion der grossen

Verwendete botanische Nomenklatur:
FISCHER et al. (2005), WALDBURGER et al. (2003), BINZ & HEITZ (1990)

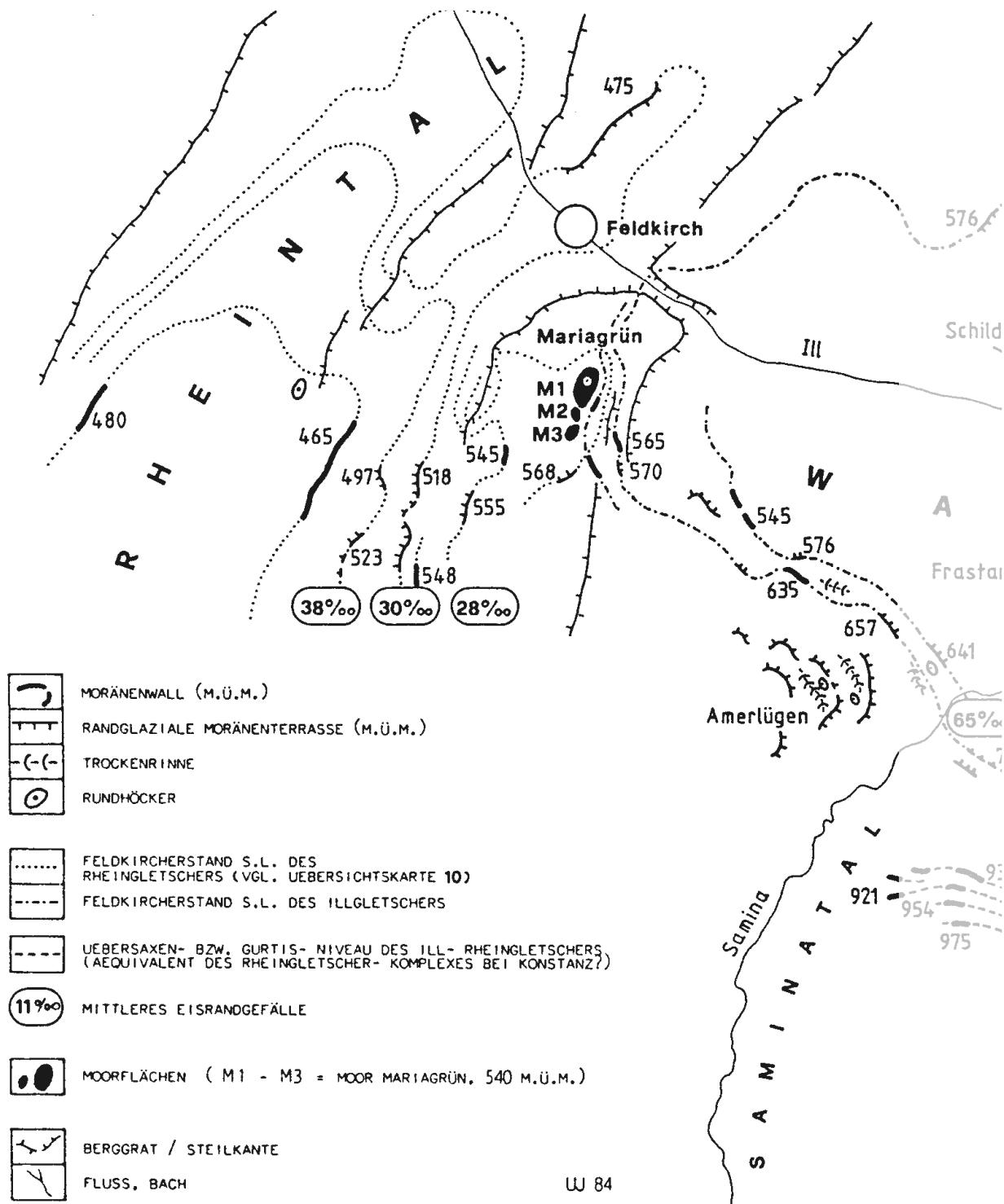
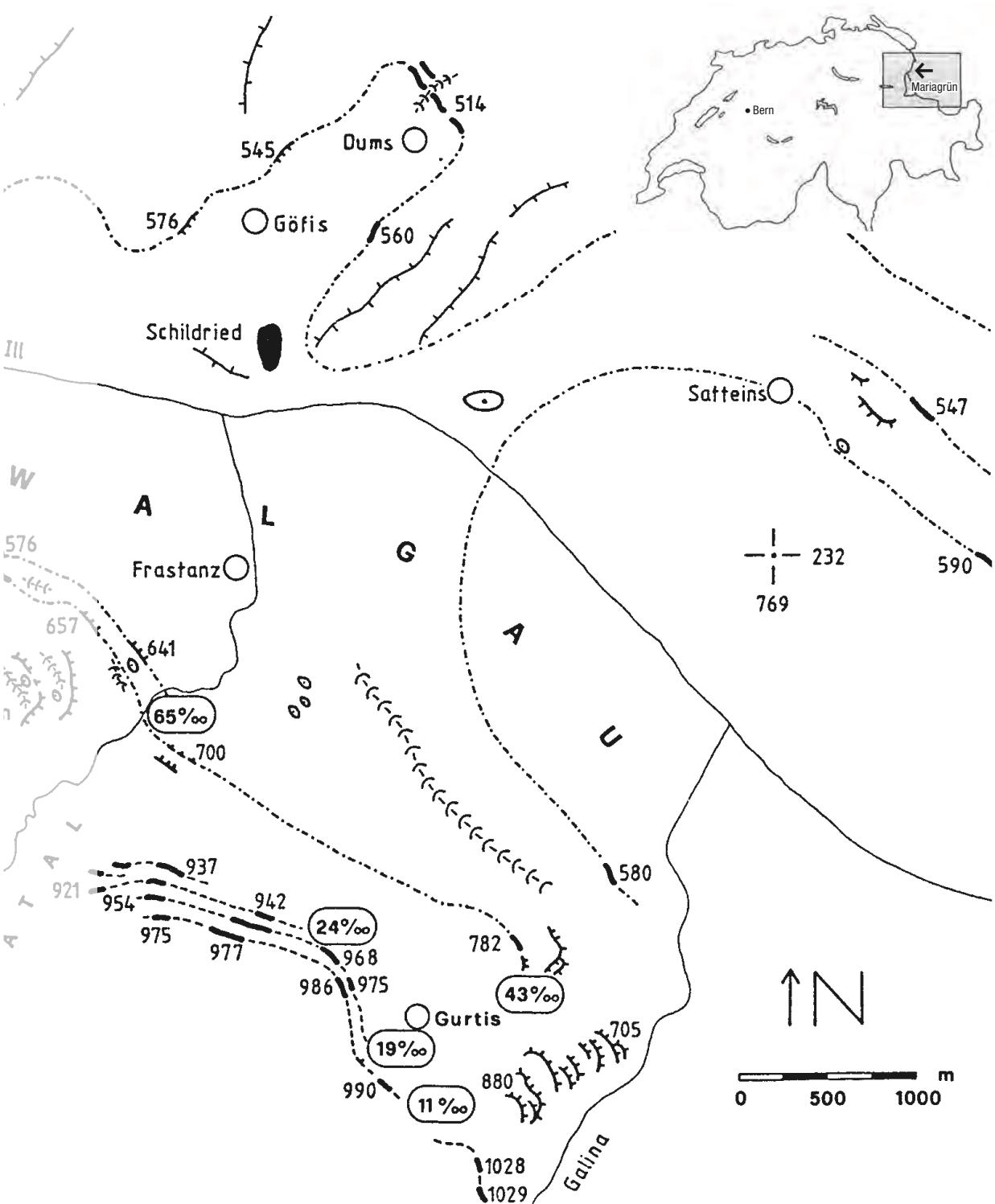


Abb. 1: Moränenkarte zur glazialgeologischen Situation in der Region Rheintal-Feldkirch-Walgau, Schweiz/Österreich (aus JORDI 1986).



und zahlreichen kleineren Eisströme während des sogenannten Weissbad-Stadiums von Oskar Keller sehr schön zum Ausdruck (KELLER 1987). Der geologische Rahmen des Moores besteht aus kreidezeitlichen bis alttertiären Sedimenten (oberes Aptium bis Lutetium) des Helvetikums (Säntis-Decke), südlich sich anschliessenden alttertiären Ablagerungen des Ultrahelvetikums sowie den nach Süden folgenden Vorarlberger Bündnerschiefern (Flyschzone der Oberkreide) des Penninikums (Üntschen-Teildecke der Hauptflysch-Decke) südlich Frastanz (RICHTER 1969). Östlich und westlich davon bestehen die Talböden des Ill- und Rheintals aus quartären (eiszeitlichen und nacheiszeitlichen) Sedimenten. Die Moormulde von Mariagrün besteht im Liegenden aus Schrattenkalk des nach Südosten einfallenden Schenkels der Säntis-Decke (Helvetikum), in welchem die obere Illschlucht angelegt wurde (HEISSEL et al. 1973). Das Moor selbst ist jedoch vollständig in quartären Ablagerungen angelegt, d.h. es handelt sich um eine spätwürm-eiszeitliche Toteislandschaft (JORDI 1977), die dank der gegenüber den Haupttälern von Rhein und Ill erhöhten Lage vor der späteren jungquartären fluvialen Erosion bzw. Auffüllung geschützt war. Da das Moor von Mariagrün im Bereich der spätglazialen Auflösung der ehemaligen vereinten Eisströme von Ill und Rhein entstand, lag es auf der Hand, Hinweise über die Zeitstellung der quartären Ablagerungen dieser Moormulde und deren Moränenenumrahmung mittels stratigraphischen und pollenanalytischen Untersuchungen sowie Radiokarbonatierungen zu gewinnen. So wurden zunächst von einer ersten 1976 durchgeführten Moorbohrung drei Proben nahe der Profilbasis (750 cm, 490 cm und 470 cm Tiefe) von Conradin A. Burga 1977 pollenanalytisch untersucht, um Anhaltspunkte über deren Zeitstellung zu erhalten (BURGA 1977). Diese ersten biostratigraphischen Resultate, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, flossen in die Lizentiatsarbeit und spätere Dissertation von Ueli Jordi ein (JORDI 1977, 1986). In der vorliegenden Arbeit werden in ausführlicher Weise die bisher nur teilweise publizierten floren-, vegetationsgeschichtlichen und moorkundlichen Resultate der pollenanalytischen Untersuchung im Rahmen der Diplomarbeit von Maurice Chédel (CHÉDEL 1986) mit zahlreichen Ergänzungen des Erstautors vorgestellt. 2005 erschien im Palyno-Bulletin im Anschluss an die XXIX. Internationale Moorexkursion von 2005 durch die Tiroler Alpen und angrenzender Gebiete (Organisation J.N. Haas & Klaus Oeggl, Institut für Botanik der Universität Innsbruck) eine zusammenfassende Darstellung der Hauptergebnisse zum Moorprofil von Mariagrün (BURGA et al. 2005).

Als Methoden wurden angewandt: Pollenanalyse, Radiokarbonatierungen von Torfproben zur absoluten Datierung der Moorbildungen sowie Sauerstoffisotopen-Analyse karbonathaltiger Sedimente (Messungen der $\Delta^{18}\text{O}$ -Promille-Werte als Hinweise zu Paläotemperaturen, in dieser Publikation nicht weiter diskutiert).

Klima, aktuelle Vegetation

Vorarlberg, das westlichste Bundesland Österreichs, ist westlichen und nordwestlichen Winden besonders ausgesetzt, die meist reichlich Niederschläge bringen, während die südlichen Teile des Bundeslandes dank der geschützten Lage stärker vom Föhn des St. Galler Rheintals beeinflusst sind. Die Klimastation Feldkirch weist einen Jahresniederschlag von 1132 mm (Januar 73 mm, Juli 159 mm) mit beträchtlichen Schneehöhen (mittleres Maximum 36 cm in der Periode 1925–1950, ILG 1961) auf; die Jahresmitteltemperatur beträgt 8.2 °C (Januarmittel -2 °C, Julimittel 17.5 °C).

Ausser den durch die grossräumige allgemeine Zirkulation bzw. Druckverteilung bedingten Luftströmungen treten dank der Nähe zum Bodensee Lokalwinde auf (z.B. Land- und Seewind). Für das Regionalklima des Untersuchungsgebiets ist der im Frühling und Herbst im Rheintal und Walgau wehende Alpenföhn mit Maximum in den Monaten Februar bis April und Oktober bedeutsam; Bludenz weist im Jahresmittel 32 Föhntage auf. Detaillierte Angaben zum Föhn des Rheintals in einem Beobachtungsnetz von Landquart bis Buchs SG lieferte die Dissertation von GUTERMANN (1970). Im Talabschnitt Chur-Sargans tritt im Vergleich zu Altdorf (Reusstal) nahezu doppelt so häufig Föhn auf; weiter nördlich im Gebiet Buchs-Vaduz ist eine deutliche Abnahme festzustellen. Dank dem Föhn resultiert im Frühling eine beträchtliche Erhöhung der Lufttemperatur von 0.9 bis rund 3 °C. Auf Grund der SW- und W-Wetterlagen ergibt sich die maximale Föhnhäufigkeit im Frühjahr.

Das in 544 m Meereshöhe gelegene Flachmoor Mariagrün (Abb. 2–3) befindet sich in der kollinen Stufe, die durch kleinräumige Eichen-Linden-Ahorn-(*Quercus-Tilia-Acer*)Laubmischwaldvorkommen, durch eine dominante Buchenbewaldung und vielfältiges Kulturland geprägt ist. Die im S in den Liechtensteiner Alpen anschliessende Montanstufe wird im Wesentlichen vom Buchen- bzw. Buchen-Tannenwald (*Fagus sylvatica-Abies alba*-Wald) und der Fichte (*Picea abies*) gebildet. Die trockensten Waldstandorte werden von der Föhrenwaldsteppe (*Pinus sylvestris*) eingenommen (SCHMID 1940). Frühe botanische Funde im Flachmoor von Mariagrün wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts und anfangs des 20. Jahrhunderts publiziert (BROGGI 1982). Eine botanische und naturschützerische Würdigung dieses Moorbiotops stammt von BROGGI (1982). In diesem Moorinventar von über 180 Blütenpflanzenarten werden als besonders schützenswerte Arten genannt: *Allium suaveolens*, *Dactylorhiza traunsteineri*, *Dianthus superbus*, *Drosera anglica*, *Gentiana pneumonanthe*, *Gladiolus palustris*, *Inula salicina*, *Iris sibirica*, *Liparis loeselii*, *Menyanthes trifoliata*, *Rhynchospora alba*, *Salix repens* ssp. *repens*, *Scorzonera humilis*, *Selinum carvifolia*, *Silaum silaus*, *Sparganium minimum*, *S. neglectum* sowie *Triglochin palustris*. Zum Zeitpunkt der Bohrarbeiten im Moor Mariagrün (Juni 1976 und August 1984) blühten u.a. *Allium suaveolens*, *Gentiana pneumonanthe* und *Gladiolus palustris* (Abb. 4–6). In der



Abb. 2: Übersicht zum Flachmoor Mariagrün bei Feldkirch (Vorarlberg, Österreich). Die Bohrstelle befindet sich im braunen Moorbereich Mitte links; Blick nach NW. August 1984.



Abb. 3: Handbohrung mit der Dachnowsky-Sonde. Rechts Maurice Chédé, links Stephan Bader. August 1984.



Abb. 4: Wohlriechender Lauch (*Allium suaveolens*) im Moorbiotop Mariagrün (Vorarlberg, Österreich). August 1984.



Abb. 5: Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*) im Moorbiotop Mariagrün (Vorarlberg, Österreich). August 1984.



Abb. 6: Sumpf-Gladiale (*Gladiolus pauperrimus*) im Moorbiotop Mariagrün (Vorarlberg, Österreich). August 1984.

Exkursionsflora für Österreich (FISCHER et al. 2005) werden alle drei Arten heute als stark gefährdet angegeben. Tab. 1 zeigt die Artenliste zur Vegetationsaufnahme vom 23. und 24. August 1984 von C.A. Burga. 2014 wurde ein neues Inventar zum Moor Mariagrün (auch Getznerried genannt, Biotop 40505) mit einer Fläche von 6.5 ha veröffentlicht (BIOTOP. AKTUALISIERUNG DES BIOTOPINVENTARS VORARLBERG 2014).

Die aktuelle Moorfläche ist in drei verschiedenen grossen Teile gegliedert (Abb. 2): Der südlichste Abschnitt wird durch die «Weiherstrasse» vom übrigen Feuchtgebiet abgetrennt; die grösste Fläche nimmt der nördlichste Teil mit 3.76 ha ein, während der kleinste mittlere Teil von zwei Strassen begrenzt wird. Das Moor wird von mehreren Entwässerungsgräben durchzogen, wobei es glücklicherweise nie abgetorft wurde. Ein Augenschein im Sommer 2005 ergab, dass die drei oben erwähnten gefährdeten Blütenpflanzen noch immer vorkamen. Jedoch war die Moorrandszone leider vom invasiven Drüsigen Springkraut (*Impatiens glandulifera*) stark überwuchert, ein Hinweis auf vernachlässigte Moorpflege. In unmittelbarer Nähe des Flachmoores von Mariagrün erstreckt sich mit ca. 53 ha das wesentlich grössere Frastanzer Ried (465 m), das grösste Talflachmoor des gesamten Ill-Einzugsgebiets. Mariagrün gab den Anstoss für die Schutzbemühungen um das Frastanzer Feuchtgebiet. Dieses wurde 2003 in einer ausführlichen Monografie gewürdigter (VORARLBERGER NATURSCHAU 2003). Darin enthalten sind u.a. Beiträge zu den Gefäßpflanzen (GRABHER 2003), zur Moosflora (SENN 2003), zur Vogelwelt (KILZER 2003), zu Amphibien und Reptilien (HUBER 2003), zu Spinnentieren, acht Beiträge zu den Insekten sowie zur Geschichte der 14 Jahre Schutzbemühungen um dieses Feuchtgebiet (STADLER 2003).

Material und Methoden

Bohrstellenübersicht, Bohrprofil

Die Moorfläche wurde eingehend anhand von zwei Längs- und drei Quertransekten erbohrt, um so die tiefste Stelle für eine pollenanalytische Bearbeitung zu ermitteln. In den Jahren 1976, 1983, 1984 und 1986 erfolgten total 43 Handbohrungen mit der Dachnowsy-Sonde. Dadurch konnte grob die Form des spätglazialen Seebodens ermittelt werden, bevor die Verlandung einsetzte. Das Mariagrüner Becken ist in zwei Teilbecken mit jeweils ca. 6 m bzw. ca. 7 m Tiefe gegliedert. Die pollanalytisch untersuchte Bohrung (6.90 m) stammt aus dem tiefsten Teil der Beckenzone (Abb. 3).

Bei der Bohrung vom 1. Oktober 1983 wurde von oben nach unten folgende Schichtabfolge notiert (vgl. Pollendiagramm, Beilage):

0–50 cm schwach zersetzer Cyperaceae-Torf.

51–170 cm mässig zersetzer Cyperaceae-Torf (mit Holzfunden bei 68–73 cm, 80–83 cm und 105–112 cm).

171–350 cm stark zersetzer Cyperaceae-Torf.

351–360 cm Holz.

361–490 cm stark zersetzer Cyperaceae-Torf mit Holzsplittern.

491–520 cm Übergang Torf/Gyttja, dunkelbraun, mit Pisidien.

521–605 cm grau-olive und dunkelbraune Fein- und Grobdetritus-Gyttja mit Molluskenschalen und Holz bei 590 cm.

606–687 cm grauer Silt und oliv- bis ockerfarbige Ton-Gyttja, z.T. mit Molluskenschalen.

688–691 cm graublauer, plastischer Ton, zuunterst mit Steinchen, ab 692 cm Moräne.

Nachdem sich nach dem Weissbad-Stadium die beiden Eiströme von Rhein und Ill im Verlauf des Würm-Spätglazials getrennt hatten, bildete sich in Mariagrün in der damaligen Toteiszone des Ill-Gletschers zunächst ein Schmelzwassersee. Dieses ehemalige zweiteilige Seebecken ist durch eine Schwelle in ca. 1.4 m Tiefe gegliedert. Gemäss den Bohrungen zieht sich die etwa 8 m hohe Ill-Moräne, welche den südöstlichen Moorrands bildet, ca. 7 m weiter ins Moorbecken, was eine beträchtliche Gesamthöhe von ca. 15 m ausmacht (CHÉDEL 1986). Der Sedimentations- und Verlandungs- bzw. Moorbildungsprozess wurde anhand von Quer- und Längstransekten ermittelt. Auf Grund dessen konnte Maurice Chédéel zwei ehemalige Seespiegel mit einem Niveauunterschied von ca. 1.3 m rekonstruieren (CHÉDEL 1986).

Chemische Sedimentaufbereitung, Pollenanalyse, Pollendiagramm-Darstellung

Die chemische Aufbereitung der Pollenproben (Ton, Ton-Gyttja, Gyttja, Cyperaceae-Torf) erfolgte nach den von FAEGRI & IVERSEN (1975) und ERDTMAN (1969) beschriebenen Labormethoden. Die einzelnen Arbeitsschritte waren:

(1) Versetzen der zerkleinerten Proben mit KOH 10%, anschliessend 3 mal Waschen mit destilliertem Wasser; (2) Sieben des Rückstandes (Siebdurchmesser 500µ); (3) Versetzen mit HCl 10%, anschliessend 3 mal Waschen mit destilliertem Wasser; (4) Versetzen mit HF conc., anschliessend 3 mal Waschen mit destilliertem Wasser; (5) Versetzen mit HCl 10% (heiss), anschliessend 3 mal Waschen mit destilliertem Wasser, Entwässern mit C₂H₄O₂ techn. (6) Acetolyse nach ERDTMAN (1969): 1 Teil H₂SO₄ conc. und 9 Teile C₄H₆O₃, heiss, ca. 10 Min.; (7) Versetzen mit C₂H₄O₂ techn., anschliessend 3 mal Waschen mit destilliertem Wasser; (8) 3 mal Waschen mit C₂H₅OH; (9) Einbettung der Sporomorphen in wasserfreiem C₃H₅(OH)₃; (10) Erstellung der Pollenproben auf einem Objektträger zur Mikroskopie.

Die Bestimmung der Sporomorphen erfolgte mit einem Lichtmikroskop (Leitz Standard 14) routinemässig bei 250-facher, für genauere Bestimmungen mit 400- bis 1000-facher Vergrösserung (Ölimmersion). Durchschnittlich wurden pro Horizont mindestens 500 Sporomorphen ausgezählt. Als Be-

Tabelle 1: Mariagrün bei Frastanz/ Vorarlberg (Österreich). Vegetationsaufnahmen 23. und 24. August 1984 von C. A. Burga. Mosaik von *Schoenetum nigricantis* und *Caricetum davallianae*. Aufnahmefläche 9 qm. Nomenklatur nach LAUBER et al. 2012, Deckungsgrade nach BRAUN-BLANQUET (1964).

4	<i>Schoenus nigricans</i>	1	<i>Pedicularis palustris</i>	+ <i>Aquilegia atrata</i>
2	<i>Carex davalliana</i>	1	<i>Succisa pratensis</i>	+ <i>Sanguisorba officinalis</i>
2	<i>Carex flava</i> aggr.	1	<i>Euphrasia rostkoviana</i> s.l.	+ <i>Silene flos-cuculi</i>
1	<i>Trichophorum cespitosum</i>	1	<i>Prunella grandiflora</i>	+ <i>Linum catharticum</i>
+	<i>Rhynchospora alba</i>	1	<i>Stachys officinalis</i> s.l.	+ <i>Ononis repens</i>
1	<i>Eriophorum latifolium</i>	1	<i>Gentiana asclepiadea</i>	+ <i>Hypericum perforatum</i>
4	<i>Molinia caerulea</i>	1	<i>Gentiana pneumonanthe</i>	+ <i>Inula salicina</i>
1	<i>Phragmites australis</i>	1	<i>Drosera anglica</i>	+ <i>Gladiolus palustris</i>
1	<i>Briza media</i>	1	<i>Centaurea jacea</i> ssp. <i>angustifolia</i>	+ <i>Tofieldia calyculata</i>
1	<i>Potentilla erecta</i>	+	<i>Equisetum arvense</i>	+ <i>Allium oleraceum</i>
2	<i>Parnassia palustris</i>	+	<i>Nymphaea alba</i>	+ <i>Allium suaveolens</i>
1	<i>Galium palustre</i>	+	<i>Menyanthes trifoliata</i>	+ <i>Anthericum ramosum</i>
1	<i>Rhinanthus angustifolius</i>	+	<i>Pinguicula vulgaris</i>	+ <i>Epipactis palustris</i>
1	<i>Viola palustris</i>	+	<i>Primula farinosa</i>	

Tabelle 2: Übersicht zu den vier Radiokarbon-Daten: Konventionelle ^{14}C -Alter in Jahre BP (BP = before present = vor heute) und kalibrierte Alter in Jahre BP (Kalenderjahre).

Labor-Nr.	Probentiefe (cm)	Material	konv. ^{14}C -Alter (Jahre BP)	^{13}C (‰)	Kalibrierte Alter Jahre BP (cal. BP; 1-Sigma-Bereich)
UZ-2183	673	Tongyttja	16 000 \pm 700 BP	–	20 214 – 18 581 cal BP
UZ-2182	650	Tongyttja	11 650 \pm 145 BP	-25.7	13 608 – 13 306 cal BP
B-4396	600	Gyttja	10 110 \pm 50 BP	–	11 932 – 11 506 cal BP
UZ-2197	150	Cyperaceae-Torf	4 980 \pm 120 BP	-21.0	5 890 – 5 603 cal BP

B=Universität Bern; UZ=Universität Zürich

stimmungshilfen wurden MOORE & WEBB (1978), FAEGRI & IVERSEN (1975) sowie die Sammlung an rezenten Pollenpräparaten und die Fotosammlung des Geographischen Instituts der Universität Zürich benutzt. Die Pollensumme I (PS I) umfasst alle Sporomorphen ohne die Cyperaceae, Pteridophyta und Hydrophyta; die Pollensumme II (PS II) umfasst alle bestimmten Sporomorphen, inkl. Varia. Das Pollendiagramm (Beilage) ist unterteilt in einem Hauptdiagramm mit den Pollenprozentkurven (berechnet nach der PS I), dem Nebendiagramm 1 (Baum- und Strauchpollen, berechnet nach der PS I) sowie dem Nebendiagramm 2, unterteilt in mehrere Teildiagramme, wobei die Farn-, Moor- und Wasserpflanzen nach der PS II berechnet wurden. Die Diagrammabschnitte 1–11 sind als lokale Pollen-Biozonen (LPAZ = local pollen assemblage zones) zu verstehen, welche nur relative Alter zueinander aufweisen. Dies sind also keine durch konventionelle oder kalibrierte Radiokarbonalter BP (= before present = vor heute) definierte Chronozonen, wie z.B. die Perioden Jüngere Dryas oder Prähoreal. Zum besseren chronologischen Verständnis werden bei den jeweiligen LPAZ in Klammern die ungefähr entsprechenden kalibrierten Jahre cal BP angegeben.

Radiokarbondatierungen

Drei von insgesamt vier im Hauptdiagramm (Pollendiaagramm, Beilage) eingetragenen konventionellen Radiokarbondaten in Jahren vor heute (BP) wurden am Institut für Mittelenergiephysik der ETH Zürich-Hönggerberg mit einem Tandem-Beschleuniger, der sogenannten AMS (Accelerator Mass Spectrometry)-Methode, gemessen (Proben UZ-2183, UZ-2182 und UZ-2197; Tab. 2). Die vierte Probe wurde im ^{14}C -Labor des Physikalischen Instituts der Universität Bern gemessen (Probe B-4336). Die ersten drei Proben mit den ermittelten Altern (konventionelle, unkorrigierte Radiokarbonalter vor heute = BP [before present]) von 16 000 BP, 11 650 BP und 10 110 BP bestanden aus Ton-Gyttja (Mischung aus Pflanzenhäcksel und anorganisch/limnischem Material), die vierte Probe mit dem Alter von 4980 BP bestand aus Cyperaceae-Torf. Mit Hilfe dieser vier Radiokarbondatierungen, bzw. ihrer kalibrierten Daten, lässt sich ein Zeit-Tiefen-Modell für die Stratigraphie von Mariagrün erstellen (Abb. 7).

Aus Abb. 7 gehen für die letzte Späteiszeit während ca. 6000 Jahren geringe Akkumulationsraten von 0.06 bis 0.3 mm/Jahr hervor (Ton-, Silt- und Tongyttja-Ablagerungen). Für die darauf folgenden, rund 5000 Jahre (Nacheiszeit) ergibt sich eine Wachstumsrate des Torfes von 0.9 mm/Jahr, ein Hinweis auf kontinuierliches Torfwachstum und damit auf eine ungestörte Moorentwicklung. Diese Akkumulationsraten liegen im Durchschnitt vergleichbarer Moore aus anderen Regionen der Schweiz und Deutschlands (z.B. HEEB & WELTEN 1972, BURGA 1984, GROSSE-BRAUCKMANN 1976).

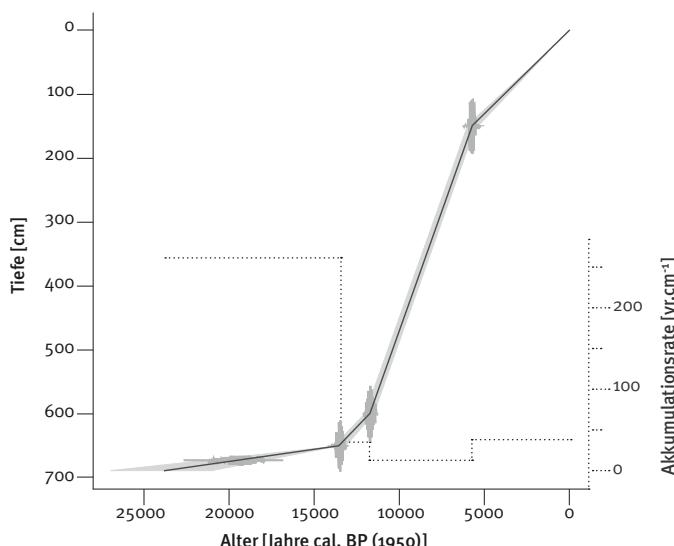


Abb. 7: Zeit-Tiefen-Modell für die Stratigraphie von Mariagrün, erstellt mit vier Radiokarbondatierungen, bzw. ihrer kalibrierten Daten (Tab. 2). Die Modellberechnung erfolgte mit Hilfe von CLAM-Software (BLAAUW 2010) unter Nutzung der Kalibrationskurve von REIMER et al. (2009).

Resultate

Lokale und regionale Floren- und Vegetationsgeschichte

Diagrammabschnitte 1 – 11

Von unten nach oben folgen im Pollendiagramm (Beilage) die Diagrammabschnitte 1–11 im Sinn von local pollen assemblage zones (LPAZ):

LPAZ 1 (ca. 20 000 cal BP): *Artemisia* (33%)-, Poaceae (23 %)-, *Helianthemum* (12%)-Chenopodiaceae (2%)-*Ephedra* (1.6%)-Phase, Sediment: Glazialton.

LPAZ 2a (ca. 19 000 cal BP): *Betula* (42%)-*Juniperus* (23%)-*Hippophaë* (17%)-*Helianthemum-Artemisia* (2%)-Phase.

LPAZ 2b (ca. 18 000 cal BP): *Betula* (75%)-*Pinus sylvestris/mugo* (50%)-Phase mit Einwanderung von *Pinus cembra* (2%). Sediment: Ton-Gyttja.

LPAZ 3a (ca. 13 500 cal BP): *Pinus sylvestris/mugo* (80%)-*Pinus cembra* (16%)-Phase mit Poaceae, *Betula*-Rückgang.

LPAZ 3b (ca. 13 300 cal BP): *Pinus sylvestris/mugo* (70%)-*Pinus cembra* (21%)-Phase, wenig Nictibaumpollen (NBP).

LPAZ 4 (ca. 12 000 cal BP): *Pinus sylvestris/mugo* (45%)-*Pinus cembra* (19%)-*Betula* (18%)-*Juniperus* (3.7%)-Poaceae (13%)-*Artemisia* (2%)-Phase, reich an NBP. Sediment: braune, graue und grau-olive Gytta.

LPAZ 5 (ca. 10 800 cal BP): *Pinus sylvestris/mugo* (32%)-*Betula* (42%)-Eichenmischwald (EMW = Total von *Quercus*, *Acer*, *Tilia*, *Ulmus*, *Fraxinus*) (17%), *Ulmus* (11%)-Phase, Einwanderung von *Corylus* (7%) und *Alnus glutinosa/incana* (6%).

LPAZ 6 (ca. 9500 cal BP): *Corylus* (60%)-EMW (20%, *Ulmus* 15%)-*Pinus sylvestris/mugo-Alnus glutinosa/incana* (9%)-Phase, arm an NBP. Erstes *Corylus*- (57%) und *Acer*-Maximum (2%), Rückgang von *Betula* und *Pinus cembra*, Einwanderung von *Acer* (2%). Ende LPAZ 6 Beginn der Torfbildung.

LPAZ 7 (ca. 9500 cal BP): *Corylus* (45%)-*Pinus sylvestris/mugo* (20%)-EMW (17%, *Ulmus* 12%)-*Alnus glutinosa/incana* (33%)-Phase, Einwanderung von *Hedera* (1%) und *Alnus viridis* (2%).

LPAZ 8a (ca. 8000 cal BP): *Pinus sylvestris/mugo* (35%)-*Corylus* (20%)-EMW (15%, *Quercus* 11%)-*Alnus glutinosa/incana* (30%)-Phase mit *Hedera* (1. Maximum 1.5%).

LPAZ 8b (ca. 7000 cal BP): *Corylus* (48%)-EMW (30%, *Quercus* 6%)-*Pinus sylvestris/mugo-Alnus glutinosa/incana*-Phase mit *Fraxinus*-Maximum (1.5%), zweitem *Corylus*- (48%), *Acer*- (3.3%) und *Hedera*-Maximum (1%).

LPAZ 9 (ca. 6300 cal BP): EMW (53%, *Tilia* 41%)-*Pinus sylvestris/mugo* (40%)-*Alnus glutinosa/incana*-Phase mit Einwanderung von *Abies* (16%), *Picea* (5%) und *Fagus* (3%).

LPAZ 10 (ca. 4700 cal BP): *Abies* (40%)-*Alnus glutinosa/incana* (35%)-*Picea* (14%)-*Pinus sylvestris/mugo*-Phase mit Rückgang von *Ulmus* und *Hedera*, erste Pollen des Cerealia-Typs.

LPAZ 11 (ca. 3100 cal BP bis heute): *Alnus glutinosa/incana* (38%)-*Abies* (19→5%)-*Picea* (16→4%)-*Pinus sylvestris/mugo* (5→35%)-Phase mit Ausbreitung von *Fagus* (8%) und *Quercus* (10%), reich an Kulturpollen (Cerealia 4%, *Castanea*, *Juglans*, *Triticum*-Typ, *Secale*, *Plantago lanceolata*, *P. major*, *P. media*, *Urtica*).

Vegetationsgeschichtliche Interpretation

Spätglazial: Nachdem sich nach dem Weissbad-Stadium die beiden Eisströme von Rhein und Ill im Verlauf des Würm-Spätglazials getrennt hatten, kamen zunächst im Schmelzwassersee graublaue, plastische Tone zur Ablagerung. Diese glazial-limnischen Sedimente des untersten Diagrammabschnitts (LPAZ 1) enthalten 33% *Artemisia*-, 23% Poaceae-, 12% *Helianthemum*- und 1.6% *Ephedra*-Pollen und repräsentieren eine spätglaziale Steppentundra, also eine noch weitgehend waldfreie Vegetation. Der Baumpollenanteil (BP), gebildet durch *Betula* und *Pinus*, schwankt zwischen 20% und 35%, was auf mögliche erste Bestände dieser Pionierbäume in Moornähe deuten könnte; zudem sind Sträucher von *Juniperus* und *Salix* mit jeweils ca. 4% vertreten. Das weiter oben in LPAZ 2a in 673 cm Tiefe ermittelte konventionelle Radiokarbonalter von 16 000 ±

700 BP verweist klar auf eine spätglaziale Altersstellung; diesem entspricht ein kalibriertes Radiokarbonalter von 20 214–18 581 cal BP (Tab. 2). Diese Steppentundra-Entwicklung dürfte in die Endphase der **Ältesten Dryas** (Pollenzone=PZ Ia) einzuordnen sein. Diese erste Birken-Föhren-Wiederbewaldung mit etwas Sanddorn, Weide und Wacholder wird mit Beginn von LPAZ 2a deutlich von einer ersten späteiszeitlichen Baumbirken-Waldphase abgelöst (42% *Betula*), wobei die Pioniersträucher Sanddorn (17%) und Wacholder (23%) eine wichtige Rolle spielten. Ausserdem erreicht das Meerträubel (vorwiegend *Ephedra distachya*-Typ) mit ca. 1.5% die höchsten Pollenwerte des gesamten Profils. Gegen Mitte von LPAZ 2b kommt es zu einem Dominanzwechsel zwischen *Betula* und *Pinus*, wobei sich gegen Ende von LPAZ 2b die Pollenwerte beider Taxa annähern. Diese erste spätglaziale Birken-Föhren-Waldphase dürfte dem **Bölling-Interstadial** (PZ Ib) zuzuordnen sein, zumal an der Obergrenze von LPAZ 2b ein Radiokarbonalter von $11\,650 \pm 145$ BP (entspricht 13 608–13 306 cal BP, Tab. 2) ermittelt wurde (ob hier noch die **Ältere Dryas** (PZ Ic) vertreten sein soll, wie dies Maurice Chédel im Pollendiagramm eingezeichnet hat, soll offen bleiben). In den LPAZ 3a, b gelangt *Pinus* mit 70–80% zu einer länger dauernden Dominanz, zudem erreichen die Arven-Pollen (*Pinus cembra*), die schon in LPAZ 2b einsetzen, bereits Werte von 16–21%. Diese erste ausgeprägte Föhrenwaldphase mit etwas Birken und minimalen Nichtbaumpollen(NBP)-Werten um 10% lässt sich dem **Alleröd-Interstadial** (PZ II) zuordnen. Ein Vergleich mit den Pollenprofilen der Appenzeller Moore Ballmoos (bei Gais), Gonten (bei Appenzell) und den neueren Pollenanalysen Vorarlbergs (Gasserplatz, Montafon) (WEGMÜLLER 1976, DE GRAAFF et al. 1989, OEGGL et al. 2005, SCHMIDL et al. 2005, VAN MOURIK et al. 2013) bestätigt dies. Zu diesem Zeitbereich existierte noch nach wie vor, wie dies die verschiedenen Gyttja-Typen des Bohrprofils zeigen, ein Mariagrin-See mit Ufervegetation, bestehend aus Sauergräsern (Cyperaceae) und Hochstauden (*Thalictrum*, Apiaceae [Umbelliferae], Rosaceae) und einer lichten Waldföhren-Bestockung der Umgebung. In LPAZ 3a bis 4 erreichen die Pollenprozente der Arve (*Pinus cembra*) Maximalwerte von 16–21%. Dies ist ein Hinweis auf eine spätglaziale Bestockung durch Arve (und Lärche) bereits nahe der Höhenlage der aktuellen subalpinen Stufe der Rätikon-Silvretta-Gebirgskette Vorarlbergs und Nordbündens. Im südwestlich gelegenen oberen Toggenburg/Säntisgebiet wurden im Alleröd ebenfalls 10–12% Arvenpollen nachgewiesen (BURGA 1991); desgleichen für dieselbe Periode im St. Galler Oberland (PERRET 1993, PERRET & BURGA 1994) und in Herrenboden oberhalb Bad Ragaz (BURGA 1986). In der Vegetationskarte der Schweiz (SCHMID 1940) sind für die oben erwähnten Gebiete noch kleine Arven-Vorkommen verzeichnet, die wohl als Relikte zu bezeichnen sind. Die LPAZ 4 zeichnet sich durch erneute kleinere Gipfel von Poaceae, *Artemisia* und *Juniperus*

sowie durch einen *Pinus*-Rückgang und eine *Betula*-Zunahme ab. Im Zusammenhang mit dem weiteren Pollenprofilverlauf und dem konventionellen Radiokarbon-Alter von $10\,110 \pm 50$ BP (entspricht 11 932–11 506 cal BP, Tab. 2) wird dieser Diagrammabschnitt der **Jüngeren Dryas** (PZ III) zugeordnet. Dieses global nachgewiesene letzte späteiszeitliche Stadial führte in Gebirgshochlagen zu markanten Waldgrenzenkungen und erneuten Gletschervorstößen (BURGA & PERRET 1998), während es in der kollinen Stufe Mariagrüns bei einer Baumpollen-Abnahme von ca. 10% höchstens zu einer Waldauflockierung kam. Gemäss den weiter vorkommenden limnischen Sedimenten (Gyttja) existierte weiterhin der Mariagrün-See. Im nahe gelegenen Moor «Gasserplatz» nordöstlich Feldkirch lieferten pollenanalytische Untersuchungen von DE GRAAFF et al. (1989) eine sehr ähnliche spätglaziale Vegetationsentwicklung mit einer böllingzeitlichen Birken(-Föhren)- und einer ausgeprägten allerödzeitlichen Föhren-Bewaldung. Im gleichen Moor wurde später nochmals detailliert die spätglaziale Birken-Ausbreitung untersucht (VAN MOURIK et al. 2013).

Postglazial (Holozän): Am Übergang von LPAZ 4 zu LPAZ 5 zeichnet sich mit der sukzessiven Einwanderung der Eichenmischwald-Elemente (EMW, 17%), der Hasel (*Corylus*) und Erlen (*Alnus glutinosa*/A. *incana*) sowie mit dem allmählichen *Pinus*-Rückgang der Beginn des Postglazials ab. Die dem **Präboreal** (PZ IV) zugeordnete LPAZ 5 repräsentiert den Wechsel der spätglazialen Birken-Föhren-Bewaldung mit unterschiedlichen Anteilen an Steppen-Elementen (*Artemisia*, *Salix*, *Juniperus*, *Ephedra*) zum thermophilen Laubwald mit Hasel und Erle, wobei zunächst Ulme (11%) und Linde (5%) vertreten sind; die Eiche wanderte deutlich später an der Wende Boreal/Älteres Atlantikum ins Untersuchungsgebiet ein. An den relativ nahe und höher gelegenen Lokalitäten Ballmoos (943 m) und Gonten (920 m) wurde ein sehr ähnlicher Vegetationswandel nachgewiesen, wobei die Ulme mit 20% (Ballmoos) noch höhere Werte aufweist (WEGMÜLLER 1976). Im südöstlich gelegenen Montafon zeichnet sich im Silbertal und am Bartholomäberg eine analoge Vegetationsentwicklung an der Wende Spät-/Postglazial ab, indem die ausgedehnten Birken-Föhrenwälder (z.T. mit Arve und Lärche in höheren Lagen) teilweise durch den Eichenmischwald mit Hasel abgelöst wurden (KOSTENZER 1996, OEGGL et al. 2005). Mit dem steilen Anstieg der Haselkurve von 7% auf über 30% beginnt mit LPAZ 6 das **Boreal** (PZ V), das durch eine gleichförmige, lang andauernde Hasel-Dominanz mit Werten um 50%, einer langen Ulmen-Linden-Ahorn-Phase mit langsamer Eichenausbreitung in LPAZ 7 und durch die stetige Präsenz der Waldföhre (Werte um 10%) gekennzeichnet ist. Der fliessende Übergang von Gyttja zu Torfbildungen an der Grenze LPAZ 6/7 zeigt nun die Verlandung der Bohrstelle an. Da der untersuchte Bohrpunkt eine der tiefsten Stellen des Moorbeckens

ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Seephase im Boreal ihr Ende fand. Dementsprechend setzt sich die nun kontinuierliche Cyperaceae-Kurve ab 505 cm mit deutlich höheren Werten und einem kleinen Anstieg fort. Die Grenze zwischen LPAZ 6 und 7 begründet sich mit dem ersten *Quercus*- und *Hedera*-Anstieg, dem Einsetzen der *Alnus viridis*-Kurve sowie den Anstiegen von *Alnus glutinosa*/A. *incana* und von *Frangula*. Demnach kann in der Moorumgebung von erlenreicherem Bruch-/Auenwald mit Faulbaum ausgegangen werden (ab 490 cm Auftreten von Holzsplittern). Das etwa die beiden LPAZ 6 und 7 umfassende Boreal nimmt eine Profillänge von ca. 1.8 m ein. Diese relativ grosse Profilmächtigkeit mit gleichförmigem Baumpollen-Kurvenverlauf kann mit einem über längere Zeit ungestörten Moorwachstum (vorwiegend Cyperaceae-Torf) erklärt werden. Die Grenze LPAZ 7/8a wurde beim Anstieg zum ersten *Quercus*-Maximum (7%) mit erstem *Corylus*-Rückgang und Dominanzwechsel zu *Pinus* gezogen; außerdem weisen Efeu und Faulbaum ein erstes Maximum von je ca. 3% auf. Jedoch kann eine Zeitgrenze zum **Älteren Atlantikum** (PZ VI) ohne Radiokarbondaten nur mutmasslich in ca. 380 cm Tiefe gezogen werden. Als Kriterien können der erste Hasel-Rückgang, die stetige EMW-Ausbreitung und Efeu-Zunahme als Wärmeindikatoren gelten. Die LPAZ 8a und 8b, welche in etwa das Ältere Atlantikum umfassen dürften, unterscheiden sich darin, indem sich an deren Grenze bei ca. 280 cm der zweite (natürliche) Hasel-Gipfel (Anstieg von 25% auf 48%), ein Dominanzwechsel von *Pinus* (35%) zu EMW (Anstieg von 15% auf 30%) sowie das Einsetzen der geschlossenen *Fagus*-Kurve abzeichnen. Diese erste Phase wärmeliebender Laubwälder mit maximaler Eichen-(11.7%), Ahorn- (3.3%) und Eschen-Ausbreitung (1.5%) und höchsten Efeu-Werten (1.5%) sowie lokaler Föhrenbestockung auf trockenen bzw. nassen Böden repräsentiert den älteren Teil des postglazialen Wärmeoptimums (Hypsithermal), das an der Wende Boreal/Älteres Atlantikum um ca. 9000 Jahre cal BP einsetzte und bis gegen Ende des Jüngeren Atlantikums (ca. 5800 Jahre cal BP dauerte (BURGA & PERRET 1998). Auf Grund von Pollenanalysen hochgelegener Vorarlberger Moore schloss Franz Firbas bereits 1926 auf dieses Wärmeoptimum (FIRBAS 1926). Der in LPAZ 8a auftretende, erste Cyperaceae-Gipfel (max. 13%) wird reichlich von Farnpflanzen begleitet (*Athyrium* 9.5%, *Cystopteris* 12%, *Thelypteris* 9.9%) und endet etwa Mitte des Älteren Atlantikums, wohl ein Hinweis auf lokal trockenere Standortverhältnisse mit tieferem Grundwasserspiegel. Die oben erwähnte Laubwaldentwicklung setzt sich in LPAZ 9 weiter fort, indem unter den EMW-Elementen (53%) die Linde mit 41.4% ihren Höhepunkt erreicht. Während dieser optimalen Laubwaldphase erfolgt gegen Ende LPAZ 9 die Einwanderung der Weißtanne (Anstieg von 16% auf 37%), ferner rücken Fichte und Buche weiter in die Nähe. Die Wende LPAZ 9/10 ist durch den Dominanz-

wechsel zwischen EMW und Weisstanne gekennzeichnet. Letztere vermochte als Schattholzart zusammen mit der Fichte in der Montanstufe die Edellaubhölzer weitgehend zu verdrängen, wodurch sich regional Weisstannen-Wälder mit wenig Fichte etablieren konnten. LPAZ 9 dürfte sich weitgehend mit dem **Jüngeren Atlantikum** (PZ VII) decken, zumal etwas über der Obergrenze von LPAZ 9 ein Alter von 4980 ± 120 BP (entspricht 5890–5603 cal BP, Tab. 2) gemessen wurde. Die regionale Weisstannen- (und Fichten-) Ausbreitung erfolgte sicher früher im Älteren Atlantikum. In Mariagrün traten somit beide Nadelhölzer im Profilvergleich mit anderen Lokalitäten auffällig spät im Jüngeren Atlantikum auf. In Ballmoos (Gais) und Gonten (Appenzell) erfolgte der *Abies*-Anstieg ebenfalls spät um 7000 cal BP bzw. 6800 Jahre cal BP; in Oberschan (nordöstlich Sargans) und am Krähenberg (Bregenzer Wald) breitete sich *Abies* jedoch um ca. 8700 cal BP bzw. 8400 Jahre cal BP aus (WEGMÜLLER 1976, KRAL 1993). Im Hochmoor «Schollenschopf» (1040 m) bei Hohenems nördlich Feldkirch konnte DRAXLER (1994) eine vom Atlantikum bis zum Jüngeren Subatlantikum andauernde Weisstannen-Dominanz gegenüber der Fichte nachweisen. In der montan- bis subalpinen Stufe des Montafon wanderten die Fichte und Tanne ebenfalls deutlich früher im Verlauf des Älteren Atlantikums ein und gelangten rasch zur Dominanz (KOSTENZER 1996, OEGGL et al. 2005, SCHMIDL et al. 2005). Am Tannberg (Bregenzer Wald) wanderte *Picea* bereits im Boreal ein und breitete sich im Älteren Atlantikum aus (WALDE & OEGGL 2004). Als subalpines Nadelholz war die Fichte, die in Mariagrün praktisch gleichzeitig mit der Weisstanne auftrat, mit max. 16 Pollenprozenten im Umkreis des Moores verständlicherweise schwächer verbreitet (kolline Höhenstufe!). So erfolgte der Fichtenanstieg in den höher gelegenen Gebieten von Ballmoos um 7000 cal BP, Gonten um 6700 cal BP, Oberschan um 8800 cal BP sowie am Krähenberg (Bregenzer Wald, KRAL 1993) gleichzeitig mit *Abies* um 8400 Jahre cal BP. Die geschlossene Buchen-Kurve setzt zwar schon in LPAZ 8b (Älteres Atlantikum) ein, weist in LPAZ 9 mit 3% einen ersten kleinen Gipfel auf, erreicht aber ihr Maximum von 8.2% erst in LPAZ 11 (Subatlantikum). Ob die Buche um 6800 cal BP tatsächlich in der Moorumgebung schon vorhanden war, ist auf Grund der tiefen Pollenwerte unsicher. In den Mooren Appenzells, St. Gallens und des Bregenzerwaldes (WEGMÜLLER 1976, KRAL 1993) wanderte die Buche um 6800 cal BP ein, was der allgemeinen Einwanderungsrichtung aus der Nordostschweiz und dem östlichen Bodenseeraum entspricht (BURGA & PERRET 1998). Im Montafon erfolgte die Bucheneinwanderung und deren Ausbreitung im selben Zeitbereich Atlantikum-Subboreal (KOSTENZER 1996, OEGGL et al. 2005, SCHMIDL et al. 2005), wobei in Mariagrün die Buche erst ab dem Älteren Subatlantikum mit ca. 9 Pollenprozenten vertreten war. Die Untergrenze von LPAZ 10 wurde dort gezogen, wo *Picea* erstmals über 10% ansteigt (um 5800

Jahre cal BP) und *Abies* den EMW übertrifft, deren Obergrenze beim Dominanzwechsel zwischen *Abies* und *Alnus glutinosa/incipitana* sowie beim schwachem dritten *Corylus*-Gipfel. Gemäss dem konventionellen Radiokarbonalter von 4980 ± 120 BP (entspricht 5890–5603 Jahre cal BP, Tab. 2) dürfte die LPAZ 10 dem **Subboreal** (PZ VIII) entsprechen. Zu dieser Zeit wurde der Eichenmischwald weitgehend von Weisstannen-Bewaldung mit etwas Fichte abgelöst. Die hohen Erlen-Werte (*Alnus glutinosa/incipitana*) von max. 35% reflektieren den lokalen Bruchwald und die nahen Ill-Rheinauen. Gleichzeitig setzt die Kurve der Grünerle (*Alnus viridis*) mit Werten von 0.5–2% ein, was als Fernflug aus der subalpinen Stufe gedeutet wird. An der Wende LPAZ 10/11 setzen die ersten Pollen des Cerealia-Typs (Getreide) ein, und kurz danach treten höhere Getreidewerte (3.6–4.1%), die geschlossenen Kurven von *Castanea* und *Juglans* sowie Einzelfunde vom Weizen-Typ (*Triticum*), *Secale*, *Plantago lanceolata*, *P. media* und *P. major* auf. Zudem nehmen Arten von Offenland (Wiesen- und Weideindikatoren), wie Rosaceae, Asteraceae (Compositae), Fabaceae (Leguminosae), Rubiaceae, Ranunculaceae und Apiaceae (Umbelliferae) stark zu. Die Baumpollen (ausser *Alnus* mit 38%) zeigen eine abnehmende Tendenz, welche in 50 cm Tiefe ihre tiefsten Werte erreichen. Damit liegen klare Indikatoren zum Beginn der menschlichen Landnahme im Umkreis von Mariagrün vor. Hinweise dazu geben mesolithische Streufunde und neolithische bis bronzezeitliche Siedlungsnachweise (VONBANK 1966, WYSS 1966, STEINHAUSER-ZIMMERMANN 1989, 2008, KOSTENZER 1996, LEITNER 2003, KRAUSE et al. 2004, WALDE & OEGGL 2004, OEGGL et al. 2005, SCHMIDL et al. 2005, OEGGL & WALDE 2007, HOOGZAAD 2009, OEGGL & WAHLMÜLLER 2009). Mit Hilfe der ur- und frögeschichtlichen Fundsituation zur Siedlungsgeschichte im St. Galler Rheintal und Vorarlberg (Gasserplatz, Bregenzer Wald, Montafon, Kleinwalsertal) kann der untere Teil von LPAZ 11 dem **Älteren Subatlantikum** (PZ IX) zugeordnet werden. Zudem gibt das Einsetzen der Kastanien- und Walnuss-Pollen in 80 cm Tiefe, das mit der römerzeitlichen Ausbreitung dieser Kulturbäume um Christi Geburt verknüpft werden kann (ZOLLER 1960, BURGA & PERRET 1998), einen Altershinweis um 2000 Jahre cal BP für die Untergrenze des Älteren Subatlantikums. Grössere Rodungen werden hauptsächlich für die Rückgänge von Weisstanne (19→5%), Fichte (16→4%) und Föhre (35→5%) verantwortlich sein. Umgekehrt breiten sich aber Eiche und Buche aus, letztere wohl auf Kosten der Weisstanne. In 50–35 cm Tiefe kann etwa bei der starken Zunahme der Gräser und Kräuter sowie tiefen Baumpollenwerten die Grenze zum **Jüngeren Subatlantikum** (PZ X) gezogen werden. Es handelt sich vor allem um Wiesen-, Weiden- und Ruderalfarten (Ranunculaceae, Rosaceae, Fabaceae und Asteraceae bzw. *Plantago*-Arten, *Urtica* sowie Getreide). Gegen Schluss des Profils weist die Eiche mit 9.7 % einen letzten Gipfel auf, dies wohl Ausdruck von deren Förderung im Rahmen der mittelalterlichen

Eichelmast. Auch die Werte der Buche (max. 4%) als konkurrenzstarke Schattholzart steigen wieder an. Ebenso nehmen die Föhre und Cyperaceae (2. Maximum) bzw. die Fichte wieder zu als Folge der weiteren Verlandungssukzession von Mariagrün bzw. dank regionalen Aufforstungen. In der obersten Probe wurde Mais-Pollen (*Zea mays*) bestimmt, ein Altershinweis zum 17. Jh. (ILG 1961).

Diskussion

Einwanderung und Ausbreitung der Weisstanne, Fichte und Buche

Die Weisstanne (*Abies alba*) wanderte aus ihren würmeiszeitlichen Refugien (südlicher Apennin, Balkan) generell aus S bzw. SO bzw. SW in die Schweiz ein (Einzelheiten in KRAL 1972, BURGA & PERRET 1998, BURGA & HUSSENDÖRFER 2001). Ins Bündner Rheingebiet gelangte die Weisstanne zwischen 9600 und 7900 cal BP. Im Gegensatz dazu gelangte die Fichte (*Picea abies*) allgemein aus östlicher bis südöstlicher Richtung von ihren würmeiszeitlichen Glazialrefugien des östlichen Alpenrandes und des Balkans (u.a. dem südöstlichen Alpenrand und den Norddinariden, RAVAZZI 2002, MONEGATO et al. 2015) um 9600–8900 cal BP in die östlichen und südlichen Schweizer Alpen (Unterengadin, Puschlav, Bergell; nördlicher, zentral-alpiner bzw. südlicher Alpenrandweg; KRAL 1979, BURGA 1987, 1988; BURGA & PERRET 1998) und um 9600–8400 cal BP ins Bündner Rheingebiet. Eine Zuwanderung vom Inntal über den relativ niedrigen Arlbergpass (1793 m) nach Vorarlberg kann in Betracht gezogen werden. Einige Gebiete der Ostschweiz wurden von Fichte und Weisstanne praktisch gleichzeitig erreicht, was zu einer Konkurrenzsituation führte, wie z.B. um 7300 Jahre cal BP im nordbündnerischen und St. Gallischen Rheingebiet, auf dem Flumserberg, im oberen Toggenburg sowie im Appenzellerland. Um diese Zeit hatte die Fichte die Linie Bodensee–St. Galler Oberland–Oberalp–San Bernardino erreicht und konnte sich in 900 bis 1300 m ü.M. optimal ausbreiten (die Linie Chur–Rheintal wurde früher um 8400 cal BP erreicht; WEGMÜLLER 1976, BURGA 1980, 1988; BURGA & PERRET 1998). Östlich der Rheinlinie wanderte allgemein die Fichte vor der Weisstanne ein. Obwohl beide Nadelhölzer im Raum Feldkirch praktisch gleichzeitig um 6300 cal BP einwanderten, gelangte nur die Weisstanne rund 4000 Jahre lang zur Dominanz, trotz der im St. Galler Rheintal, dem Toggenburg und dem inneren Appenzell anzunehmenden Ausbreitungsverzögerung der Weisstanne von S nach N infolge Laubholzkonkurrenz (EMW, Hasel, Erle), schmalen Wandermöglichkeiten im Rheintal, Trockenheit und Abnahme der Föhnintensität (WEGMÜLLER 1976, GUTERMANN 1970). Ökophysiologische Gründe könnten für diese lange Weisstannendominanz im Vergleich zur Fichte in Tieflagen verantwortlich sein, denn letztere ist vor allem in der subalpinen Stufe das konkurrenzkräftigere Nadelholz. Über

die frühere Verbreitung tiefgelegener Weisstannenwälder des Schweizer Mittellandes veröffentlichte ZOLLER (1962) pollenanalytische Untersuchungen. Allgemein ist in diesem Zusammenhang die kolline Lage von Mariagrün zu beachten, denn in den höher gelegenen untermontanen Mooren des Bregenzer Waldes sind *Abies* und *Picea* bis im Älteren Subatlantikum etwa gleich stark vertreten (KRAL 1993); jedoch in höheren Lagen des Bregenzer Waldes (Tannberg: Pollenanalysen am Kalbele- und Körbersee) ändert sich standortbedingt das Weisstannen/Fichten-Verhältnis zu Gunsten der Letzteren (WALDE & OEGGL 2004, OEGGL & WALDE 2007). Eine analoge floengeschichtliche Situation zur Weisstanne und Fichte geht aus den Pollenanalysen der montanen Stufe des Montafons hervor (KOSTENZER 1996, OEGGL et al. 2005, SCHMIDL et al. 2005). Die Fichte erlangte im Untersuchungsgebiet erst in der Neuzeit dank der menschlichen Förderung eine grösitere Ausbreitung. Die Buche (*Fagus sylvatica*) wanderte aus ihren Glazialrefugien (Balkan, Karpaten?) um 6800 cal BP generell aus Nordosten in die Region Bodensee-Rheintal-St. Gallen-Appenzell-Zürcher Oberland-Höhronen ein (BURGA & PERRET 1998). Zwar gelangte die Buche gleichzeitig wie die Weisstanne und Fichte um 6300 cal BP ins Gebiet, war aber wohl infolge der EMW-Konkurrenz bis zum Älteren Subatlantikum in der kollinen Stufe sehr schwach vertreten. Möglicherweise verdankt die Buche ihre späte Ausbreitung der menschlichen Rodungstätigkeit und der Reduktion der Edellaubhölzer. In der Montanstufe des Bregenzerwaldes bildeten Buche und Weisstanne seit dem Subboreal ausgedehnte Mischwälder (KRAL 1993).

Schlussfolgerungen

Das heutige Biotop Mariagrün ist ein einzigartiges erdgeschichtliches Archiv, das die lückenlose regionale Floren- und Vegetationsgeschichte seit der Späteiszeit umfasst und für die Zukunft bewahrt werden muss. Das nahe gelegene Moor «Gasserplatz» ist ein weiteres schützenswertes Biotop, wo vor allem die fröhgeschichtliche menschliche Landnahme der Region Feldkirch detailliert untersucht wurde (HOOGZAAD 2009). Ferner wurde hier wie früher in Mariagrün (BURGA 1977, CHÉDEL 1986) die spätglaziale Floren- und Vegetationsgeschichte dieser Region rekonstruiert (DE GRAAFF et al. 1989, VAN MOURIK et al. 2013). Dank den pollenanalytischen Untersuchungen im Raum Feldkirch, im Bregenzer Wald und Montafon ist die spät- und postglaziale Vegetationsgeschichte Vorarlbergs bereits relativ gut bekannt. Speziell erwähnt seien die neueren Arbeiten zur ur- und fröhgeschichtlichen Landnahme und Siedlungsgeschichte am Gasserplatz, im Bregenzer Wald, im Montafon und im Kleinwalsertal (LEITNER 2003, KRAUSE et al. 2004, WALDE & OEGGL 2004, OEGGL et al. 2005, SCHMIDL et al. 2005, OEGGL & WALDE 2007, HOOGZAAD 2009, OEGGL & WAHLMÜLLER 2009).

Auf Schweizer Seite liegen dank den Pollenanalysen aus den Mooren Appenzells (Ballmoos, Gonten, Neuenalp) und

St. Gallens (Herrenboden, Prod, Altsäss, Tannenboden, Mürtschenalp, Hinterchamm, Seebenalp, Hinter-Höhi, Oberschan, Gamperfin, Schwendisee und Dreihtüten) vor allem Daten zur spät- und postglazialen Floren- und Vegetationsgeschichte vor (HOFFMANN-GROBÉTY 1957, 1968, WEGMÜLLER 1976, BURGA 1977, 1986, FÄH 1986, SCHNEEBELI et al. 1989, BURGA 1991, PERRET 1993, PERRET & BURGA 1994), ferner erfolgte in Gamperfin (oberes Toggenburg) eine detaillierte Studie zur lokalen dreidimensionalen Moorentwicklung (FÄH 1986, SCHNEEBELI et al. 1989). Die Mariagrün nächst gelegenen und in einem topographisch-pflanzengeographischen Zusammenhang stehenden Lokalitäten wurden in diese Publikation mit einbezogen.

Die Erhaltung des seit rund 19 000 Jahren existierenden tief gelegenen Moorbiotops Mariagrün (544 m ü.M.) in der kollinen Stufe kann wohl als Glücksfall bezeichnet werden. Dieses einzigartige floren-, vegetations- und klimageschichtliche Archiv und seine geographische Lage bezüglich den Einwanderungswegen der heute waldbildenden Gehölzarten Vorarlbergs und der östlichen Schweizer Nordalpen und deren Molasse-Vorlandes erwiesen sich für eine pollenanalytische Auswertung als sehr lohnend. Das Moor enthält auch einige rezentbotanische Kostbarkeiten der Roten Liste, wie die vom Aussterben bedrohten bis stark gefährdeten Arten Wohlriechender Lauch (*Allium suaveolens*), Lungen-Enzian (*Gentiana pneumonanthe*), Langblättriger Sonnentau (*Drosera anglica*), Sibirische Schwertlilie (*Iris sibirica*) und Sumpf-Gladiale (*Gladiolus palustris*), letztere Art in der Schweiz regional ausgestorben (vgl. die Vegetationsaufnahme von 1984, Tab. 1). Zum Zeitpunkt 1984 war das Moor noch frei von Neophyten. Jedoch ergab ein Augenschein rund 20 Jahre später am Moorrand ein Eindringen von Drüsigem Springkraut (*Impatiens glandulifera*), was auf eine ungenügende Pflege des geschützten Biotops zurückzuführen ist. Neben einer wirksamen Bekämpfung von Neophyten wäre der Naturschutz nun an der Reihe, die oben dargelegten vegetationsgeschichtlichen Ergebnisse langfristig beispielsweise für Aufforstungen mit standortgerechten Gehölzen und Renaturierungen von Gewässern anzuwenden. Solche und weitere gewinnbringende Synergien zwischen wissenschaftlichen Erkenntnissen, Naturschutz und Praxis könnten künftig besser genutzt werden.

Dank

Die Autoren danken Dr. Ueli Jordi (Chur) und den ehemaligen Studienkollegen Andreas Walker und Stephan Bader bestens für die tatkräftige Hilfe bei den Bohrarbeiten. Dr. Ueli Jordi hat freundlicherweise eine glazialgeologische Karte aus seiner Dissertation (JORDI 1986) zur Reproduktion überlassen, wofür bestens gedankt sei. Dem jüngeren Fachkollegen des Erstautors, Prof. Dr. Jean Nicolas Haas vom Institut für Botanik der Universität Innsbruck, sei herzlich gedankt für die Korrek-

turen und Ergänzungen zur vorliegenden Publikation. Prof. Dr. Klaus Oeggl und Dr. Notburga Wahlmüller, beide Institut für Botanik der Universität Innsbruck, versorgten uns in verdankenswerter Weise mit den neuesten Arbeiten zur Ur-, Früh- und Vegetationsgeschichte Vorarlbergs. Weiter danken wir Dr. Benjamin Dietre, Universität Innsbruck, für die Erstellung des Zeit-Tiefen-Modells (Abb. 7).

Literatur

- BINZ A & HEITZ C (1990) Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz. Schwabe, Basel
- BIOTOP. AKTUALISIERUNG DES BIOTOPINVENTARS VORARLBERG (2014) Gemeinde Frastanz. AVL Arge Vegetationsökologie und Landschaftsplanning März 2009. Aktualisierte Fassung 2014. pp 19–20
- BLAAUW M (2010) Methods and code for 'classical' age-modelling of radiocarbon sequences. Quaternary Geochronology 5 (5): 512–518
- BRAUN-BLANQUET J (1964) Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer, Wien, New York
- BROGGI MF (1982) Das Feuchtgebiet bei «Maria Grün» (Frastanz/Vlbg.) – ein botanisches Juwel. Berichte der Botanisch-Zoologischen Gesellschaft Liechtenstein-Sargans-Werdenberg II: 33–40
- BURGA CA (1977) Pollenanalytische Untersuchungen an drei Sedimentproben des Moores Mariagrin bei Feldkirch. Durchgeführt am Botanischen Institut der Universität Basel, August 1977, pp 13–18. In: Jordi U (1977) Geomorphologische Untersuchungen im unteren Saminatal, im äusseren Walgau und in der Umgebung von Feldkirch (Vorarlberg). Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit Geographisches Institut der Universität Bern
- BURGA CA (1980) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Schams und des San Bernardino-Passgebietes (Graubünden, Schweiz). Dissertationes Botanicae 56
- BURGA CA (1984) Beobachtungen zum Lineargefüge des Adula-Kristallins und zum Quartär am San Bernardino-Pass (Graubünden/Schweiz). Geographica Helvetica 1: 27–33
- BURGA CA (1986) Pollenanalytische Untersuchungen am Moor Herrenboden (925 m ü.M.) oberhalb Bad Ragaz. In: Jordi U (1986) Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch (Ostschweiz/Vorarlberg). Dissertation Universität Bern. Geographica Bernensia G27. pp 45–47
- BURGA CA (1987) Gletscher- und Vegetationsgeschichte der Südrätischen Alpen seit der Späteiszeit (Puschlav, Livigno, Bormiese). Denkschr Schweiz Naturforsch Ges 101
- BURGA CA (1988) Swiss vegetation history during the last 18000 years. New Phytologist 110 (4): 581–602
- BURGA CA (1991) Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetationsentwicklung im oberen Toggenburg, Kanton St. Gallen. Berichte der St. Gallischen Naturwiss Ges 85: 25–43
- BURGA CA, CHÉDEL M & JORDI U (2005) The Peat Bog Profile „Mariagrin“ near Feldkirch (Vorarlberg, Austria). Palyno-Bulletin 1 (1–2): 33–39
- BURGA CA & HUSSENDÖRFER E (2001) Vegetation history of *Abies alba* Mill. (silver fir) in Switzerland – pollen analytical and genetic surveys related to aspects of vegetation history of *Picea abies* (L.) H. Karsten (Norway spruce). Veget Hist Archaeobot 10: 151–159
- BURGA CA & PERRET R (1998) Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun
- CHÉDEL M (1986) Pollenanalytische und moorkundliche Untersuchungen am Flachmoor Mariagrin bei Feldkirch/Vorarlberg (A). Unver-

- öffentliche Diplomarbeit Geographisches Institut der Universität Zürich
- DE GRAAFF LWS, KUIJPER WJ & SLOTBOOM RT (1989) Schlussvereinigung und spätglaziale Entwicklung des Moorgebietes Gasserplatz (Feldkirch-Göfis, Vorarlberg). *Jb Geol B-A132* (2): 397–413
- DRAKLER I (1994) Pollenanalyse des Hochmoors «Schollenschopf», Gemeinde Hohenems (Vorarlberg). Führer zur XVIII. Moorexkursion durch die Ostalpen. Zusammengestellt von Klaus Oegg, Institut für Botanik der Universität Innsbruck, pp 2–5
- ERDTMAN G (1969) Handbook of Palynology. Munksgaard, Copenhagen
- FAEGRI K & IVERSEN J (1975) Textbook of Pollen Analysis. Munksgaard, Copenhagen
- FÄH J (1986) Erste Ergebnisse der Untersuchung zur Entwicklung eines Hangmoores im Oberen Toggenburg (Kanton St. Gallen). *Telma* 16: 23–30
- FIRBAS F (1926) Über einige hochgelegene Moore Vorarlbergs und ihre Stellung in der regionalen Waldgeschichte Mitteleuropas. *Zeitschr f Botanik* 18: 545–587
- FISCHER M, ADLER W & OSWALD K (2005) Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein u. Südtirol. Linz
- GRABHER M (2003) Die Pflanzewelt des Frastanzer Riedes (Vorarlberg, Österreich). *Vorarlberger Naturschau* 13: 83–98
- GROSSE-BRAUCKMANN G (1976) Zum Verlauf der Verlandung bei einem eutrophen Flachsee (nach quartärbotanischen Untersuchungen am Steinhuder Meer). II. Die Sukzessionen, ihr Ablauf und ihre Bedingungen. *Flora* 165: 414–455
- GUTERMANN T (1970) Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee. Dissertation Universität Zürich. Zürich
- HEEB K & WELTEN M (1972) Moore und Vegetationsgeschichte der Schwarzenegg und des Molas-sevorlandes zwischen dem Aaretal unterhalb Thun und dem oberen Emmental. *Mitt Natf Ges Bern NF* 29: 1–54
- HEISSEL W, OBERHAUSER R & SCHMIDEGG O (1973) Geologische Karte des Walgaus 1:25 000. Geolo-
- gische Bundesanstalt Wien
- HOFFMANN-GROBÉTY A (1957) Evolution postglaciaire de la forêt des tourbières dans le Alpes glaronnaises. *Ber Geobot Forschungsinst Rübel Zürich* 24: 76–122
- HOFFMANN-GROBÉTY A (1968) Etude palynologique et stratigraphique de trois tourbières dans les cantons de St. Gall et Glaris. *Ber Geobot Forschungsinst Rübel Zürich* 38: 86–98
- HOOGZAAD Y, P, G (2009) Impact of land use and climatic change on the Late Holocene landscape development of the Gasserplatz area. Pollen and macrofossil analysis of profile Gasserplatz (Feldkirch, Vorarlberg, Austria). Master thesis Earth Sciences, UVa Amsterdam
- HUBER D (2003) Die Amphibien und Reptilien im Frastanzer Ried (Vorarlberg, Österreich). *Vorarlberger Naturschau* 13: 149–166
- ILG K (1961) Landes- und Volkskunde, Geschichte, Wirtschaft und Kunst Vorarlbergs. Innsbruck
- JORDI U (1977) Geomorphologische Untersuchungen im unteren Saminatal, im äusseren Walgau und in der Umgebung von Feldkirch (Vorarlberg). Unveröffentlichte Lizziatatsarbeit Geographisches Institut der Universität Bern
- JORDI U (1986) Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Taminatal und im Rheintalabschnitt zwischen Flims und Feldkirch (Ostschweiz/Vorarlberg). Dissertation Universität Bern. *Geographica Bernensia* G 27
- JORDI U (1994) Eine Übersicht der Gletschergeschichte und Glazialmorphologie im St. Galler Oberland und im Churer Rheintal. *Berichte der St. Gallischen Naturwiss Ges* 87: 21–30
- KELLER O (1987) Die Vergletscherung der Alpenrandzone zwischen Arlberg- und Rickenpass im älteren Spätwürm. Eisrand-Komplex des Weissbad-Stadiums (W/W). *Karte* 1:100 000
- KELLER O & KRAYSS E (1980) Letzte Vorlandvereisung (Stadial Würm-Stein am Rhein). *Elogiae geologicae Helvetiae* 73 (3): 823–838
- KILZER R (2003) Die Vogelwelt des Frastanzer Riedes (Vorarlberg, Österreich). *Vorarlberger Naturschau* 13: 129–148

- KOSTENZER J (1996) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte des Montafons (Vorarlberg, Österreich). Ber nat-med Verein Innsbruck 83: 93–110
- 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. Veröff Inst f Waldbau an der Universität f Bodenkultur Wien. Österreich Agrarverlag Wien
- KRAL F (1993) Zum Aufbau von Fichten-Tannen-Buchenwäldern im jüngeren Postglazial (Bregenzerwald und Obersteiermark). Verh Zool-Bot Ges Österreich 130: 171–188
- KRAUSE R, OEGGL K & PERNICKA E (2004) Eine befestigte Burgsiedlung der Bronzezeit im Montafon, Vorarlberg. Interdisziplinäre Siedlungsfor schungen und Montanarchäologie in Bartholomäberg und im Silbertal, Archäologie Österreichs 15(1): 4–21
- LAUBER K, WAGNER G & GYGAX A (2012) Flora Helvetica, Haupt, Bern
- LEITNER W (2003) Der Felsüberhang auf der Schneiderküren alpe – ein Jäger- und Hirtenlager der Vorzeit. Die ältesten menschlichen Spuren im Kleinwalsertal. Bergschau, 1. Hirschegg
- MONEGATO G, RAVAZZI C, CULIBERG M, PINI R, BAVEC M, CALDERONI G, JEŽ J & PEREGO R (2015) Sedimentary evolution and persistence of open forests between the south-eastern Alpine fringe and the Northern Dinarides during the Last Glacial Maximum. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 436: 23–40
- MOORE PD & WEBB JA (1978) An Illustrated Guide to Pollen Analysis. Hodder & Stoughton, London
- OEGGL K, KOFLER W & WAHLMÜLLER N (2005) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations- und Siedlungsgeschichte im Montafon. In: JM Rollinger & R Rollinger (Hrsg) Die lebensweltlichen Grundlagen. Montafon 1. Mensch – Geschichtte – Naturraum. pp 182–207
- OEGGL K & WAHLMÜLLER N (2009) Der Mensch und die Umwelt vom Neolithikum bis heute. Ein pollenanalytischer Beitrag zur Siedlungsgeschichte des Montafons. In: R Rollinger (Hrsg) Von der Steinzeit bis zum Ende des Mittelalters. Montafon 2. Besiedlung – Bergbau – Relikte pp 50–65
- OEGGL K & WALDE C (2007) Zur Vegetations- und Siedlungsentwicklung auf dem Tannberg. Pollenanalysen aus dem Kalbele- und dem Körbersee. Walserheimat 78: 33–38
- PERRET R (1993) Klima- und vegetationsgeschichtliche Untersuchungen im südlichen Walenseegebiet (St. Gallen/Glarus). Diplomarbeit Geographisches Institut der Universität Zürich
- PERRET R & BURGA CA (1994) Pollenanalytische Untersuchungen zu postglazialen Baum- und Waldgrenz-Schwankungen im südlichen Walenseegebiet. Berichte der St. Gal lischen Naturwiss Ges 87: 59–68
- RAVAZZI C (2002) Late Quaternary history of spruce in southern Europe. Review of Palaeobotany and Palynology 120: 131–177
- REIMER P J, BAILIE M G, BARD E, BAYLISS A, BECK JW, BLACKWELL P G, RAMSEY C B, BUCK, CE, BURR GS, EDWARDS RL (2009) IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years cal BP. Radiocarbon 51 (4): 1111–1150
- RICHTER M (1969) Vorarlberger Alpen. Sammlung geologischer Führer, 49. Bornbräger, Stuttgart
- SCHMID E (1940) Vegetationskarte der Schweiz 1:200 000, Blatt 2, Luzern-Zürich-St. Gallen-Chur. Kümmerly & Frey, Bern
- 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
- SCHNEEBELI M, KÜTTEL M, FÄH J (1989) Die dreidimensionale Entwicklung eines Hanghochmoores im Toggenburg, Schweiz. Vierteljahrsschr Naturf Ges in Zürich 134 (1): 1–32
- SENN H-P (2003) Beitrag zur Moosflora und Moosvegetation des Frastanzer Riedes (Vorarlberg, Österreich). Vorarlberger Naturschau 13: 99–128
- STADLER G (2003) 14 Jahre Schutzbemühungen um die Feuchtgebiete von Frastanz. Vorarlberger Naturschau 13: 29–36
- STEINHAUSER-ZIMMERMANN RA (1989) Der Montlingerberg im Kan-

- ton St. Gallen (Schweiz): Funde und Grabungen von 1898 bis 1960. Dissertation Universität Zürich. Komm Buchs Druck, Buchs SG
- STEINHAUSER-ZIMMERMANN RA (2008) Siedler der Nacheiszeit. Archäologie der Schweiz 31(2): 12
- VAN MOURIK J, SLOTBOOM R, T, VAN DER PLICHT J, STREURMAN HJ, KUIPER WJ, HOEK W, Z & DE GRAAFF LWS (2013) Geochronology of *Betula* extensions in pollen diagrams of Alpine Late-glacial lake deposits: A case study of the Late-glacial deposits of the Gasserplatz soil archives (Vorarlberg, Austria). Quaternary International 306: 3–13
- VONBANK E (1966) Frühbronzezeitliche Siedlungsfunde im Vorarlberger Rheintal. In: Degen R, Drack W & Wyss R (Hrsg) Helvetia Antiqua, Festschr. Emil Vogt: Beiträge zur Prähistorie u Arch d Schweiz 3: 55–58
- VORARLBERGER NATURSCHAU (2003) Forschen und Entdecken. Naturmonografie Frastanzer Ried. Vorarlberger Naturschau, 13. Dornbirn
- WALDBURGER E, PAVLOVIC V & LAUBER K (2003) Flora des Fürstentums Liechtenstein in Bildern. Haupt, Bern
- WALDE C & OEGGL K (2004) Neue Ergebnisse zur Siedlungsge schichte am Tannberg. Die Pollen analysen aus dem Körbersee. Walser heimat 75: 309–317
- WEGMÜLLER HP (1976) Vegetations geschichtliche Untersuchungen in den Thuralpen und im Fanin gebiet (Kantone Appenzell, St. Gallen, Graubünden/Schweiz). Bot Jahrb Syst 97 (2): 226–307
- WYSS R (1966) Mesolithische Harpunen in Mitteleuropa. In: Degen R, Drack W & Wyss R (Hrsg) Helvetia Antiqua, Festschr. Emil Vogt: Beiträge zur Prähistorie u Arch d Schweiz 3: 21–32
- ZOLLER H (1960) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations geschichte der insubrischen Schweiz. Denkschr Schweiz Natf Ges 83 (2): 45–156
- ZOLLER H (1962) Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetations entwicklung tiefelegener Weissen tannenwälder im Schweizer Mittelland. Veröff Geobot Forschungsinst Rübel Zürich 37: 346–358