

Vegetationsdynamik in Gletschervorfeldern der Schweizer Zentralalpen am Beispiel von Morteratsch (Pontresina, Graubünden, Schweiz)*

- Conradin A. Burga, Zürich -

* Kurzfassung. Die ausführliche Version wird in Englisch in der Zeitschrift Applied Vegetation Science 2/ 1999 veröffentlicht.

Abstract

Within the glacier forefield Morteratsch (1900 - 2100 m a.s.l. near Pontresina, Oberengadin Switzerland), the vegetational dynamics (dominant plant species) of areas, deglaciated between 1857 and 1997, have been investigated. This field study takes three species groups into consideration: (1) pioneer species, (2) subalpine forest and dwarf-shrub/heath species and (3) grassland species. On the basis of species cover-abundance values and age data on the deglaciated areas, three ecological groups can be distinguished: (1) species strictly occurring in pioneer stages (e.g. *Oxyria digyna*, *Cerastium pedunculatum*, *C. uniflorum*, *Saxifraga aizoides*, *Linaria alpina*, *Cardamine resedifolia*), (2) species mainly found in pioneer stages (e.g. *Epilobium fleischeri*, *Rumex scutatus*, *Saxifraga bryoides*, *S. exarata*, *S. aspera*, *S. oppositifolia*, *Myricaria germanica*, *Rhacomitrium canescens*, *Pohlia gracilis*) and (3) species occurring on more consolidated surfaces (e.g. *Achillea moschata*, *Trifolium pallescens*, *T. badium*, *Hieracium staticifolium*, *Adenostyles leucophylla*). With the help of this chronosequence, the establishment of *Oxyrietum digynae*, *Epilobietum fleischeri* and *Larici-Pinetum cembrae* can be estimated. First invaders of the *Epilobietum fleischeri* occurred after ca. 7 years (higher cover-abundance after ca. 27 years). This plant community persists into the whole glacier forefield. First single plants of the *Oxyrietum digynae* appear after ca. 12 years; after ca. 27 years it disappears. The establishment of the *Larici-Pinetum cembrae* took place after ca. 77 years, while the climax stage was reached after ca. 100 years since deglaciation. Young single trees of larch and Cembran pine may already occur on 10-15 and 25-30 years respectively deglaciated areas.

Important parameters of vegetation reestablishment on glacier forefields are soil character (mainly grain size), soil forming processes, local water supply, microclimate, consolidation of surface and possible „safe sites“ or „seed beds“. Glacier forefields are excellent study areas of plant life strategies of a dynamical environment with partly very restricted resources.

Keywords: pioneer plants, *Oxyrietum digynae*, *Epilobietum fleischeri*; subalpine forest species, *Larici-Pinetum cembrae*; alpine grassland species; plant cover-abundance, historical glacier stages.

Nomenclature: Swiss flowering plants and ferns: BINZ & HEITZ (1990); mosses: FRAHM & FREY (1983); lichens: MOBERG & HOLMÅSEN (1992).

1. Kurze Übersicht zum Forschungsstand

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erreichten die meisten Alpengletscher zwischen 1850 und 1860 AD markante Hochstände, die von Abschmelz- und kleineren Vorstossphasen

gefolgt wurden (KINZL 1950, BEELER 1977, PATZELT 1985, BURGA 1987, ZUMBÜHL & HOLZHAUSER 1988, FURRER 1991, MAISCH 1992, HOLZHAUSER & ZUMBÜHL 1996, HOLZHAUSER 1997). Die dabei entstandenen grösseren Gletschervorfelder gaben anfangs des 20. Jahrhunderts die Anregung zum Studium der Wiederbesiedlungsprozesse durch Pionierpflanzen. Bei Objekten mit genügend Geländedaten zu Gletscherständen, wie dies z.B. bei den Gletschern Morteratsch, Rhone und Aletsch der Fall ist, kann die Vegetationsdynamik entlang eines Zeit-Boden-Gradienten untersucht werden. Frühe Studien zur Vegetationsentwicklung in Gletschervorfeldern stammen von COAZ (1887), VON KLEBELSBERG (1913), LÜDI (1921, 1934), FREY (1922) und ÖCHSLIN (1935). Vor allem LÜDI (1945, 1950, 1955, 1958) beschrieb die Vegetation zahlreicher Gletschervorfelder der Schweizer Alpen, wie diejenigen von Aletsch, Gries, Hüfi, Oberer Grindelwald, Rhone, Morteratsch und Roseg. FRIEDEL (1934, 1938a, 1938b, 1956) führte im Gebiet der Österreicher Alpen (Pasterze, Hintereisferner) ähnliche Studien durch. Spätere derartige Untersuchungen stammen z.B. von MATTICK 1941, ZOLLITSCH (1969), JOCHIMSEN (1962, 1963, 1970, 1972, 1975), AMMANN (1974, 1976), RICHARD (1973, 1978, 1987), PATERNOSTER (1981, 1984), BÄUMLER (1988), SCHUBIGER (1988), THEURILLAT (1991, 1992), GAFNER & HESS (1994), RICHTER (1994) und KRAUSE & FRENZEL (1997). Ähnliche Studien zur Vegetationsentwicklung wurden v.a. auch in Alaska von COOPER, CROCKER, LAWRENCE, MAJOR, REINERS, WORLEY u.a. durchgeführt (vgl. Zitate in BURROWS 1990). Von MATTHEWS (1992) stammt zu diesem Thema eine lehrbuchartige Darstellung am Beispiel Norwegens.

Beispielsweise FOSSATI (1980), URBANSKA & SCHÜTZ (1986), BÄUMLER (1988), STÖCKLIN & FAVRE (1994) sowie STÖCKLIN & BÄUMLER (1996) führten Beobachtungen und Feldexperimente zur Samenbildung und -keimung von Pionierpflanzen in Gletschervorfeldern durch. Allgemein kann festgehalten werden, dass typische Pionierpflanzen nach der r-Strategie, einige aber auch als K-Strategen vorgehen. Im Verlauf des Lebenszyklus' kann aber die Strategie auch gewechselt werden (BÄUMLER 1988). Als besondere Verbreitungsstrategie einer Baumart des Gletschervorfeldes ist die zoochor durch den Tannenhäher (*Nucifraga caryocatactes*, vgl. MATTES 1982) verbreitete Arve zu nennen. Im Bereich von „safe sites“ ist schon relativ früh ein Arvenaufwuchs möglich. Eine Studie über die Wuchsformen der Arven im Bereich von Morteratsch wurde von KRATOCHWIL & SCHWABE (1994) publiziert.

Pflanzensoziologische Aspekte der Gletschervorfelder von Aletsch, Morteratsch und Rhone wurden von RICHARD (1973, 1987), BÄUMLER (1988), SCHUBIGER (1988) und THEURILLAT (1991, 1992) studiert und kartographisch dargestellt.

Die alpinen Gletschervorfelder sind früher vor allem durch Kraftwerkprojekte, z.T. militärische Nutzungen, Kiesabbau und Schafbeweidung, in den letzten Jahren vermehrt durch den Tourismus beeinträchtigt worden. Diesen Problemen Rechnung tragend wurde in den Jahren 1995-1998 ein gesamtschweizerisches Inventar der Gletschervorfelder erstellt (IGLES, Inventar der Gletschervorfelder der Schweiz unter Federführung von Büro Geo7 in Bern, vgl. GERBER 1995 und MAISCH 1999). Da das Gletschervorfeld von Morteratsch durch öffentliche Verkehrsmittel und durch einen gut unterhaltenen Wanderweg ausgezeichnet erschlossen ist, bot sich die Möglichkeit, auf Initiative von BURGA 1993 den ersten Schweizer Gletscherlehrpfad auf dem Gebiet der Gemeinde Pontresina einzurichten (Exkursionsführer MAISCH, BURGA & FITZE 1993, zweite verbesserte Auflage 1999).

2. Untersuchungsgebiet, Methoden

Das Gletschervorfeld Morteratsch befindet sich zwischen ca. 1900 und 2100 m ü.M. im gleichnamigen Seitental der Val Bernina südöstlich von Pontresina (Oberengadin, Graubünden, Schweiz). Den Talhintergrund von Morteratsch beherrschen die Schneegipfel Piz Palù

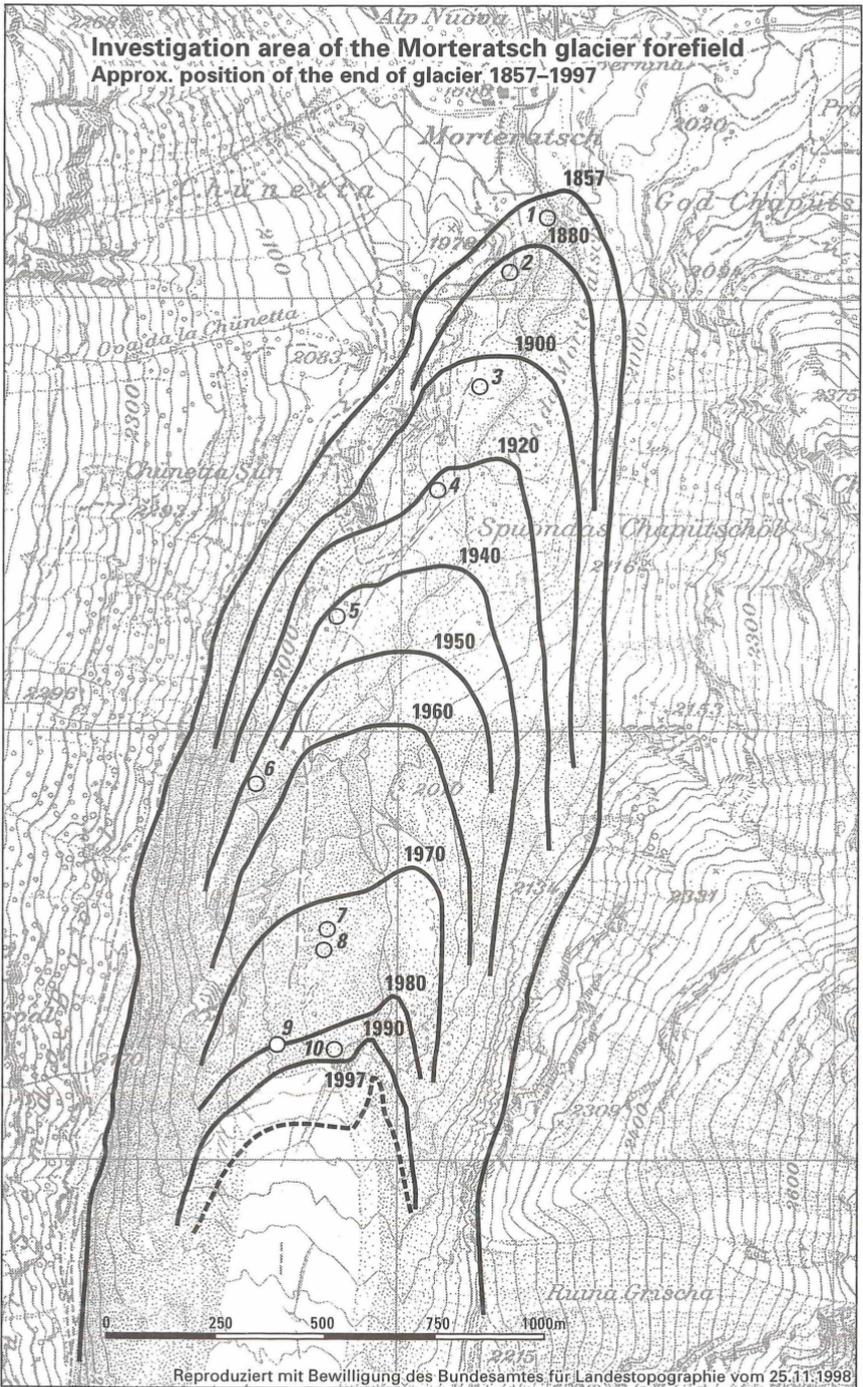
(3901 m), Bellavista (3922 m), Piz Bernina (4048 m) und Piz Morteratsch (3751 m) der Südrätischen Alpen. Das Untersuchungsgebiet gehört zur unterostalpinen Bernina-Decke s.l., welche hauptsächlich aus kristallinen Gesteinen wie Granodiorite, Diorite, Alkaligranite, Syenite, ferner Gabbros und einigen wenigen Serpentin-Linsen bestehen (STAUB 1946, RAGETH 1984, BÜCHI 1987 und 1994, SPILLMANN 1993). Die Bodenbildungsprozesse im Gletschervorfeld verlaufen relativ rasch, da das Ausgangsgestein leicht sauer ist (Humus-Silikatböden mit schwach entwickeltem B-Horizont aus pedogenem Eisen). Bewaldete Flächen älter als 1857 sind durch Eisenpodsole mit einer Bildungszeit von 500 - 1000 Jahren gekennzeichnet (FITZE 1984, mdl. Mitt. 1998). Paläoglazialogische und paläoökologische Aspekte der Berninapassregion wurden von BEELER (1977), GAMPER & SUTER (1982, in MAISCH & SUTER 1982), HEITZ et al. (1982), KLEIBER (1974), FITZE (1984), BURGA (1987), BURGA & PERRET (1998) und ZOLLER et al. (1998) bearbeitet. Die neuzeitlichen Gletscherlängenänderungen werden seit 1880 gesamtschweizerisch durch die Schweizerische Glaziologische Kommission der SANW erfasst. HÖLZLE (1994) erarbeitete automatisierte Schätzverfahren über die Gletscherbewegungen des Oberengadins. RÜBEL (1912) veröffentlichte die erste detaillierte pflanzengeographische Monographie der Berninregion. BLEULER (1986) erfasste mittels Dendrochronologie die Altersstruktur der Lärchen-Populationen des Gletschervorfeldes. FISCHER (1999) untersuchte auf Grund von detaillierten floristischen und pflanzensoziologischen Kartierungen die Dynamik der Bewaldung des älteren Teils des Gletschervorfeldes und des Waldgrenzökotons.

Der Autor besuchte seit 1986 jedes Jahr das Morteratsch-Gletschervorfeld. Während der Jahre 1995 - 1997 wurden anhand der zehn Dauerbeobachtungsflächen (vgl. Abb. 1) Abundanz, Deckungsgrad, Soziabilität, Alter der Eisfreiheit sowie Beschaffenheit des Substrats (Korngrösse) erhoben (vgl. einige Hauptresultate in den Tabellen 1-3). Die Korngrößen des Substrats wurden in einer dreiteiligen Grössenskala erfasst: (1) Ton/Silt - Feinsand (ca. 0.002 - 0.2 mm Ø, zeitweise überflutet), (2) Grobsand - Feinkies (ca. 0.2 - 20 mm Ø) sowie (3) Grobkies - Steinblöcke (ca. 20 bis >63 mm Ø).

Zur aktuellen Vegetation wurde eine nach BÄUMLER (1988) und nach eigenen Beobachtungen generalisierte Karte erstellt (vgl. Abb. 2).

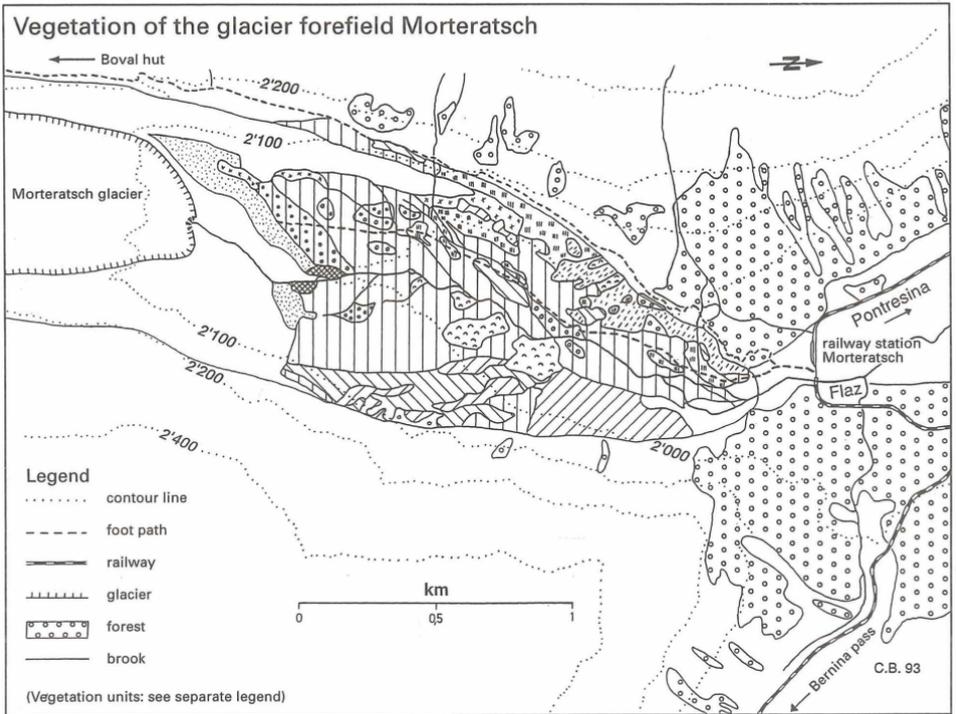
3. Übersicht zu den Hauptergebnissen

Innerhalb des Gletschervorfeldes Morteratsch (1900 - 2100 m ü.M. bei Pontresina, Oberengadin, Schweiz) wurden in den Jahren 1986-1997 Beobachtungen zu den aktuellen Vegetationskomplexen (Abundanz, Deckungsgrad, Vitalität) und zu deren Dynamik auf ehemals zwischen 1857 und 1997 vergletschertem Terrain gemacht. In dieser Feldstudie zu Phänomenen von Primärsukzessionen in einem Gletschervorfeld wurden innerhalb einer Chronosequenz drei ökologische Artengruppen unterschieden: 1. Ausschliesslich in Pionierstadien vorkommende Arten (z.B. *Oxyria digyna*, *Cerastium pedunculatum*, *C. uniflorum*, *Saxifraga aizoides*, *Linaria alpina*, *Cardamine resedifolia*), 2. hauptsächlich in Pionierstadien verbreitete Arten (z.B. *Epilobium fleischeri*, *Rumex scutatus*, *Saxifraga bryoides*, *S. exarata*, *S. aspera*, *S. oppositifolia*, *Myricaria germanica*, *Rhacomitrium canescens*, *Pohlia gracilis*) sowie 3. Arten auf relativ konsolidierten Flächen (z.B. *Achillea moschata*, *Trifolium palleescens*, *T. badium*, *Hieracium staticifolium*, *Adenostyles leucophylla*). Unter Berücksichtigung von Abundanz, Deckungsgrad, Soziabilität, Alter der Eisfreiheit der Flächen und der Korngrösse des Substrats können auf Grund mehrjähriger Beobachtungen Aussagen zur Dynamik ausgewählter Pflanzenarten und einiger Pflanzengesellschaften (*Oxyrietum digynae*, *Epilobietum fleischeri*, *Larici-Pinetum cembrae*) bzw. Vegetationskomplexe gemacht werden. Erste Ein-



Numbers 1-10 permanent monitoring plots (16m² - 400 m²)

Abb. 1: Untersuchungsgebiet des Gletschervorfeldes Morteratsch (1900 - 2100 m ü.M.) bei Pontresina, Oberengadin, Graubünden, Schweiz. Die Linien bezeichnen die ungefähren Gletscherstände zwischen 1857 und 1997. Die Kreise markieren die Dauerbeobachtungsflächen Nr. 1 - 10.



Legend to the vegetation map of the glacier forefield Morteratsch

- No vegetation or very weak vegetation cover consisting of single individuals of *Epilobium fleischeri*, *Linaria alpina*, *Rumex scutatus*, *Oxyria digyna*, *Saxifraga bryoides*, *Cerastium pedunculatum*, *Achillea moschata*, *Poa alpina* and single small willow shrubs
- Initial stages of *Oxyrietum digynae* and *Epilobietum fleischeri*, partly with scattered moss cushions of *Rhacomitrium canescens* and *Pohlia gracilis*
- ||||| *Epilobietum fleischeri* rhacomitrietosum and other variants with single willow shrubs, *Rhododendron ferrugineum* and *Anthyllis vulneraria* s.l.
- *Epilobietum fleischeri* rhacomitrietosum with *Rumex scutatus*
- *Rumex scutatus* – *Poa nemoralis* – community
- *Saxifraga aizoides* – *Myricaria germanica* – community
- Boulder communities (mainly *Adenostyles leucophylla*; besides scattered individuals of *Athyrium distentifolium*, *Dryopteris filix-mas*, *Asplenium viride*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Cystopteris fragilis*, and *Polystichum lonchitis*)
- *Agrostis rupestris* – *Polytrichum piliferum* – rock community
- Patches of grassland: *Festuca rubra* s.l. – *Achillea moschata* – community, partly *Nardus stricta* – *Carex frigida* – community
- Tall herb communities (mainly *Adenostyles leucophylla*, *A. alliariae* and *Alnus viridis*)
- Young trees of *Larix decidua* and *Salix* spec., partly along brooks in small stripes
- Coniferous forests: mainly *Larici* – *Pinetum cembrae*; further *Piceetum subalpinum*, locally on moist and shady places *Alnetum viridis*

(Mapping by C.A. Burga 1987–1992 and after E. Bäumler 1988)

Abb. 2: Vereinfachte Karte zur aktuellen Vegetation des Morteratsch-Gletschervorfeldes nach BÄUMLER (1988) und nach BURGA (1987-1992).

Tab. 1: Vorkommen von Pionierpflanzen (dominante Arten) im Gletschervorfeld von Morteratsch bezogen auf die Dauer der Eisfreiheit verschiedener Flächen.

Glacier stage (years A.D.)	~1990	1985	1980	1970	1960	1950	1940	1920	1900	1878	1857
Age of icefree areas 1857–1997 (years)	~7	12	17	27	37	47	57	77	97	119	140
Approx. distance (metres) from the present (1997) end of glacier (axis of the valley)	100	150	200	500	800	970	1170	1440	1660	1920	2050
Pioneer plants and lichens (dominant species)											
<i>Epilobium fleischeri</i>										
<i>Linaria alpina</i>										
<i>Saxifraga aizoides</i>										
<i>Rumex scutatus</i>										
<i>Oxyria digyna</i>										
<i>Saxifraga bryoides</i>										
<i>Adenostyles leucophylla</i>										
<i>Poa nemoralis</i>										
<i>Achillea moschata</i>										
<i>Trifolium pallescens</i>										
<i>Cerastium pedunculatum</i>										
<i>Cardamine resedifolia</i>										
<i>Cerastium uniflorum</i>										
<i>Salix</i> spp.										
<i>Alnus viridis</i>										
<i>Rhacomitrium canescens</i>										
<i>Pohlia gracilis</i>										
<i>Myricaria germanica</i>										
<i>Geum reptans</i>										
<i>Hieracium staticifolium</i>										
<i>Stereocaulon alpinum</i>										
<i>Rhizocarpon geographicum</i>										

Legend to the tables 1–3 (plant species occurrence along the chronosequence of the glacier forefield)

Cover-abundance

- present rarely (Br.-Bl. >r and <+)
- present infrequently, low cover-abundance (Br.-Bl. +)
- present frequently, low cover-abundance (Br.-Bl. 1, <5%)
- present frequently, moderate cover-abundance (Br.-Bl. 2, 5–25%)
- present frequently, high cover-abundance (Br.-Bl. 3–4, >25%)
- locally higher cover-abundance (>75%)

wanderer des *Epilobietum fleischeri* treten nach ca. 7 Jahren Eisfreiheit auf (höhere Deckungsgrade nach ca. 27 Jahren). Diese Pflanzengesellschaft ist mehr oder weniger im ganzen Gletschervorfeld in verschiedenen Fazies bzw. Varianten verbreitet. Erste Arten des *Oxyrietum digynae* erscheinen nach ca. 12 Jahren; nach ca. 27 Jahren verschwindet die Säuerlingsflur wieder. Der subalpine Lärchen-Arvenwald beginnt sich nach ca. 77 Jahren Eisfreiheit zu etablieren (Klimax nach ca. 100 Jahren). Junge Einzelbäume, insbesondere der Lärche, aber auch der Arve, können schon früh nach 10–15 bzw. etwas später nach ca. 25–30 Jahren Eisfreiheit auftreten.

Entscheidende Parameter für die Besiedlung eines Gletschervorfeldes sind das Substrat (Korngröße, Bodenwassergehalt, Bodenbildungsprozesse), das Mikroklima (Windschutz, Dauer der Schneebedeckung usw.), die Länge der Vegetationsperiode, die Geomorphologie des Standortes, die Konsolidiertheit des Gesteinschutts sowie das Vorhandensein von „safe sites“ bzw. „Saatbeeten“, welche die Samenkeimung gestatten. Den Bezug einiger typischer Pflanzenarten aus dem Gletschervorfeld zur Korngröße des Substrats zeigt nachfolgende Liste:

(1) **Ton/ Silt - Feinsand** (ca. 0,002 - 0.2 mm, zeitweise überflutet): *Rhacomitrium canescens*, *Pohlia gracilis*, *P. nutans*, *Sagina saginoides*, *Cardamine resedifolia*.

Tab. 2: Vorkommen von Pflanzenarten des subalpinen Nadelwaldes und der Zwergstrauchheide (Auswahl) im Gletschervorfeld von Morteratsch bezogen auf die Dauer der Eisfreiheit verschiedener Flächen.

Glacier stage (years A.D.)	~1990	1985	1980	1970	1960	1950	1940	1920	1900	1878	1857
Age of icefree areas 1857–1997 (years)	~7	12	17	27	37	47	57	77	97	119	140
Approx. distance (metres) from the present (1997) end of glacier (axis of the valley)	100	150	200	500	800	970	1170	1440	1660	1920	2050
Subalpine forest and dwarf shrub heath species (selection)											
<i>Larix decidua</i>											
<i>Rhododendron ferrugineum</i>											
<i>Juniperus communis</i> ssp. <i>alpina</i>											
<i>Betula pendula</i>											
<i>Vaccinium myrtillus</i>											
<i>Athyrium distentifolium</i>											
<i>Dryopteris filix-mas</i>											
<i>Pinus cembra</i>											
<i>Empetrum nigrum</i> s.l.											
<i>Phyteuma betonicifolium</i>											
<i>Vaccinium uliginosum</i> s.l.											
<i>Avenella flexuosa</i>											
<i>Solidago virgaurea</i> s.l.											
<i>Homogyne alpina</i>											
<i>Calamagrostis villosa</i>											
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>											
<i>Peucedanum ostruthium</i>											
<i>Hieracium murorum</i>											
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>											

Tab. 3: Vorkommen von Pflanzenarten, die vorwiegend in subalpinen und alpinen Rasen verbreitet sind (Auswahl), bezogen auf die Dauer der Eisfreiheit verschiedener Flächen des Gletschervorfeldes von Morteratsch.

Glacier stage (years A.D.)	~1990	1985	1980	1970	1960	1950	1940	1920	1900	1878	1857
Age of icefree areas 1857–1997 (years)	~7	12	17	27	37	47	57	77	97	119	140
Approx. distance (metres) from the present (1997) end of glacier (axis of the valley)	100	150	200	500	800	970	1170	1440	1660	1920	2050
Species occurring mainly in grassland (selection)											
<i>Trifolium badium</i>											
<i>Lotus alpinus</i>											
<i>Poa alpina</i>											
<i>Festuca rubra</i> s.l. <i>latissimo</i>											
<i>Potentilla aurea</i>											
<i>Biscutella laevigata</i>											
<i>Nardus stricta</i>											
<i>Phleum alpinum</i> s.l.											
<i>Alchemilla vulgaris</i> agg.											
<i>Plantago alpina</i>											
<i>Leontodon helveticus</i>											
<i>Avenella flexuosa</i>											
<i>Galium anisophyllum</i>											
<i>Botrychium lunaria</i>											
<i>Anthoxanthum alpinum</i>											
<i>Festuca violacea</i> s.l.											
<i>Polygonum viviparum</i>											

(2) **Grobsand - Feinkies** (ca. 0,2 - 20 mm): *Salix daphnoides*, *S. nigricans* ssp. *alpicola*, *S. glaucosericea*, *S. elaeagnos*, *S. purpurea* ssp. *gracilis*, *S. foetida*, *S. helvetica*, *S. pentandra*, *Myricaria germanica*; *Epilobium fleischeri*, *Linaria alpina*, *Oxyria digyna*, *Rumex scutatus*, *Hieracium staticifolium*, *Geum reptans*, *Saxifraga aizoides*, *S. bryoides*, *S. aspera*, *S. exarata*, *Cerastium pedunculatum*, *C. uniflorum*, *Trifolium pallescens*, *Achillea moschata*, *Poa nemoralis*, *P. alpina*, *P. laxa*, *Festuca rubra* s. *latissimo*, *Deschampsia caespitosa*, *Lotus alpinus*, *Campanula cochleariifolia*, *Sempervivum arachnoideum*, *S. montanum*, *Stereocaulon alpinum*.

(3) **Grobkies - Steinblöcke** (ca. 20 bis >63 mm): *Adenostyles leucophylla*, *Rumex scutatus* p.p., *Geum reptans* p.p.; the most part of ferns growing in the forefield: *Cryptogramma crispa*, *Dryopteris filix-mas*, *D. dilatata*, *Athyrium filix-femina*, *Cystopteris fragilis*, *Asplenium viride*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Polystichum lonchitis*.

Die von Pionierpflanzen in Gletschervorfeldern angewandten Lebensstrategien sind grossartige Lehrbeispiele nachhaltiger Entwicklung von Pflanzen bei zum Teil sehr beschränkt vorhandenen Ressourcen in einem sehr dynamischen Lebensraum mit harten Klimabedingungen.

4. Literatur

- AMMANN, K. (1974): Vegetation der Oberaar in Abhängigkeit von Klima und Gletscherschwankungen. - Diss. Univ. Bern.
- AMMANN, K. (1976): Der Oberaargletscher im 18., 19. und 20. Jahrhundert. - Z. Gletscherkde. u. Glazialgeol. **XII**(2): 253-291.
- BÄUMLER, E. (1988): Untersuchungen zur Besiedlungsdynamik und Populationsbiologie einiger Pionierpflanzen im Morteratschgletschervorfeld. - Diss. Univ. Basel, 283 pp.
- BEELER, F. (1977): Geomorphologische Untersuchungen am Spät- und Postglazial im Schweizerischen Nationalpark und im Berninapassgebiet (Südrätische Alpen). - Erg. wiss. Unters. Schweiz. Nationalpark **15**(77):131-276.
- BINZ, A. & HEITZ, C. (1990): Schul- und Exkursionsflora für die Schweiz. 19th edition. Schwabe, Basel, 659 pp.
- BLEULER, M. (1986): Jahrringanalysen von Lärchen in Gletschervorfeldern. - Unpubl. thesis Univ. Zürich.
- BÜCHI, H. (1987): Geologie und Petrographie der Bernina IX. Das Gebiet zwischen Pontresina und dem Morteratschgletscher. - Unpubl. thesis Univ. Zürich, 153 pp.
- BÜCHI, H. (1994): Der variskische Magmatismus in der östlichen Bernina (Graubünden, Schweiz). - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. **74**: 359-371.
- BURGA, C.A. (1987): Gletscher- und Vegetationsgeschichte der Südrätischen Alpen seit der Späteiszeit (Puschlav, Livigno, Bormiese). - Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. **101**, 162 pp.
- BURGA, C.A. (1999): Vegetation development on the glacier forefield Morteratsch (Switzerland). - Applied Vegetation Science **2**: 17-24.
- BURGA, C.A. & PERRET, R. (1998): Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Ott, Thun, 805 pp.
- BURROWS, C.J. (1990): Processes of vegetation change. Unwin Hyman, London, 551 pp.
- COAZ, J. (1887): Erste Ansiedlung phanerogamer Pflanzen auf von Gletschern verlassenem Boden. - Mitt. Naturforsch. Gesellschaft Bern: 3-12.
- ERSCHBAMER, B. (1998): Climate warming and plant growth on glacial retreats. Atti del 2Grad Convegno di La Thuile - Ecologie et Biogéographie Alpines. In press.
- FOSSATI, A. (1980): Keimverhalten und frühe Entwicklungsphasen einiger Alpenpflanzen. - Diss. Veröff. Geobot. Inst. ETH Stiftung Rübel, Zürich 73.
- FISCHER, T. (1998): Vegetationsgeographische Untersuchungen zum Waldgrenz-Oekoton und zur Wiederbewaldungs-Dynamik im Morteratsch-Gebiet. - Unpubl. thesis Univ. Zürich.

- FITZE, P. (1984): Zur Relativdatierung von Moränen aus der Sicht der Bodenentwicklung in den kristallinen Zentralalpen. - CATENA, Interdisziplinäre Zeitschr. für Hydrologie, Geomorphologie und Pedologie **9**: 265-306.
- FRAHM, J.-P. & FREY, W. (1983): Moosflora. Ulmer, Stuttgart, 522 pp.
- FREY, E. (1922): Die Vegetationsverhältnisse der Grimselgegend im Gebiet der zukünftigen Stauseen. - Mitt. Naturforsch. Gesellschaft Bern.
- FRIEDEL, H. (1934): Boden- und Vegetationsentwicklung am Pasterzenufer. - Carinthia II, **123/124**: 29-41.
- FRIEDEL, H. (1938a): Boden- und Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Rhonegletschers. - Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, Zürich: 65-76.
- FRIEDEL, H. (1938b): Die Pflanzenbesiedlung im Vorfeld des Hintereisferners. - Z.Gletscherkd u. Glazialgeol. **26**: 215-239.
- FRIEDEL, H. (1956): Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern). Erläuterung zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze. - Wiss. Alpenvereinshefte **16**, Innsbruck.
- FURRER, G. (1991): 25 000 Jahre Gletschergeschichte. - Naturforsch. Ges. in Zürich, 193.Stück. Orell Füssli, Zürich, 52 pp.
- GAFNER, R. & HESS, T. (1994): Vegetationsdynamik am Sesvennagletscher. - Unpubl. thesis Univ. Zürich, 149 pp.
- GAMPER, B. & SUTER, J. (1982): Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte im Oberengadin. In: MAISCH, M. & SUTER, J. (eds.) Exkursionsführer Teil A: Ostschweiz. - Physische Geographie **6**: 14-17.
- GERBER, B. (1995): Das Projekt „IGLES“. Inventar der Gletschervorfelder und alpinen Schwemmebenen als Ergänzung des Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung. - Regio Basiliensis, Basler Zeitschrift für Geographie **36** (2): Geomorphologie für die Praxis - Geomorphologie in der Praxis. Schweiz. Geom. Gesellschaft, 174. Jahresversammlung der SANW 1994: 201-208.
- HEITZ, A.K., PUNCHAKUNNEL, P. & ZOLLER, H. (1982): Vegetations-, Klima- und Gletschergeschichte des Oberengadins. - Physische Geographie **1**: 157-170.
- HÖLZLE, M. (1994): Permafrost und Gletscher im Oberengadin. Grundlagen und Anwendungsbeispiele für automatisierte Schätzverfahren. - Mitt. VAW **132**, 121 pp.
- HOLZHAUSER, H. (1997): Fluctuations of the Grosser Aletsch Glacier and the Gorner Glacier during the last 3200 years: new results. - Paläoklimaforschung/ Palaeoclimate Research **24**: 35-54.
- HOLZHAUSER, H. & ZUMBÜHL, H.J. (1996): To the history of the Lower Grindelwald Glacier during the last 2800 years - palaeosols, fossil wood and historical pictorial records - new results. - Z.Geomorph.N.F.Suppl. **104**: 95-127.
- JOCHIMSEN, M. 1962. Das Gletschervorfeld - keine Wüste. - Jahrb. Ö.A.V. **87**: 135-142.
- JOCHIMSEN, M. (1963): Vegetationsentwicklung im hochalpinen Neuland. (Beobachtungen an Dauerflächen im Gletschervorfeld 1958-1962). - Ber. Naturwiss. Med. Ver. Innsbruck **53**: 109-123.
- JOCHIMSEN, M. (1970): Die Vegetationsentwicklung auf Moränenböden in Abhängigkeit von einigen Umweltfaktoren. - Veröff. d. Univ. Innsbruck **46**.
- JOCHIMSEN, M. (1972): Pollenniederschlag und rezente Vegetation in Gletschervorfeldern der Alpen. - Ber. Deutsch. Bot. Ges. **85** (1-4): 13-27.
- JOCHIMSEN, M. (1975): The development of pioneercommunities on raw soil above alpine timberline (Abridged version). - Verh. Ges. Ökologie, Wien: **61**-63.
- KINZL, H. (1950): Formenkundliche Beobachtungen im Vorfeld der Alpengletscher. - Veröff. Museum Ferdinandeum, Innsbruck, 26-29 und 61-82.
- KLEBELSBERG VON, R. (1913): Das Vordringen der Hochgebirgsvegetation in den Tiroler Alpen. - Österr. Botanische Zeitschrift **63**: 177-186, 241-254.
- KLEIBER, H. (1974): Pollenanalytische Untersuchungen zum Eisrückzug und zur Vegetationsgeschichte im Oberengadin. - Bot. Jahrb. Syst. **94**: 1-53.
- KRATOCHWIL, A. & SCHWABE, A. 1994. Coincidences between different landscape ecological zones and growth forms of Cembran pine (*Pinus cembra* L.) in subalpine habitats of the Central Alps. - Landscape Ecology **9** (3): 175-190.

- KRAUSE, H.G. & FRENZEL, B. (1997): Die Entwicklung der Vegetation eines zentralalpiner Gletschervorfeldes seit dem Jahr 1957. - Jahrbuch 1997 (62) des Vereins zum Schutz der Bergwelt e.V. München: 189-226.
- LÜDI, W. (1921): Die Pflanzengesellschaften des Lauterbrunnentales und ihre Sukzession. - Beitr. geobot. Landesaufn. Schweiz 9: 364 pp.
- LÜDI, W. (1934): Beitrag zur Kenntnis der Beziehungen zwischen Vegetation und Boden im östlichen Aarmassiv. - Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, Zürich: 41-54.
- LÜDI, W. (1945): Besiedlung und Vegetationsentwicklung auf den jungen Seitenmoränen des grossen Aletschgletschers. - Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, Zürich: 35-112.
- LÜDI, W. (1950): Die Pflanzenwelt des Aletschwald-Reservats bei Brig. - Bull. de la Murithienne. Sion LXVII: 123-178.
- LÜDI, W. (1955): Die Vegetationsentwicklung seit dem Rückzug der Gletscher in den mittleren Alpen und ihrem nördlichen Vorland. - Ber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel, Zürich: 36-68.
- LÜDI, W. (1958): Beobachtungen über die Besiedlung von Gletschervorfeldern in den Schweizeralpen. - Flora 146: 386-407.
- MAISCH, M. (1992): Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 im Gebiet der östlichen Schweizer Alpen (Bündnerland und angrenzende Regionen). Teil A: Grundlagen-Analysen-Ergebnisse: 324 pp. Teil B: Verzeichnisse-Datenkataloge-Gletscherkarten: 128 pp. - Physische Geographie 33, Geogr. Institut Univ. Zürich.
- MAISCH, M. (1999): The signal of climate change in the Swiss Alps: Glacier retreat since the end of the Little Ice Age and future perspectives. Comune di Sondrio - Assessorato della Cultura: 11. Sondrio Festival 1997. Mostra Internazionale dei Documentari sui Parchi - Convegno Ghiacciai e aree protette: Conoscenza, Conservazione, Valorizzazione. In press.
- MAISCH, M. & SUTER, J. (eds.) (1982): Exkursionsführer Teil A: Ostschweiz. - Physische Geographie 6. Zürich, 71 pp.
- MAISCH, M., BURGA, C.A. & FITZE, P. (1993): Lebendiges Gletschervorfeld. Führer und Begleitbuch zum Gletscherlehrpfad Morteratsch. Engadin-Press, Samedan, 138 pp.
- MATTES, H. (1982): Die Lebensgemeinschaft von Tannenhäher und Arve. - Berichte 241, Eidg. Anst. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf, 74 pp.
- MATTHEWS J.A. (1992): The ecology of recently-deglaciated terrain. Cambridge University Press, Cambridge. 386 pp.
- MATTICK, F. (1941): Die Vegetation frostgeformter Böden der Arktis, der Alpen und des Riesengebirges. - Beih. zu Feddes Repertorium, 126, 128.
- MOBERG, R. & HOLMÅSEN, I. (1992): Flechten von Nord- und Mitteleuropa. Ein Bestimmungsbuch. Fischer, Stuttgart, 237 pp.
- OECHSLIN, M. (1935): Beitrag zur Kenntnis der pflanzlichen Besiedlung der durch Gletscher freigegebenen Grundmoränenböden. - Ber. Naturforsch. Gesellschaft Uri 4: 27-48.
- PATERNOSTER, M. (1981): Colonisation par la végétation et pédogenèse initiale sur les moraines latérales historiques du Grand Glacier d'Aletsch. - Thèse, Univ. Nancy I: 101 pp.
- PATERNOSTER, M. (1984): Dynamique de la colonisation des moraines latérales historiques du Grand Glacier d'Aletsch par des groupements végétaux pionniers. Pédogenèse initiale. - Bull. Murith. 101: 65-78.
- PATZELT, G. (1985): The Period of Glacier Advances in the Alps, 1965 to 1980. - Ztschr. f. Gletscherk. u. Glazialgeol. 21: 403-407.
- PUNCHAKUNNEL, P. (1983): Pollenanalytische Untersuchungen zum Eisrückzug und zur Vegetationsgeschichte im Oberengadin II (Lej Marsch, Mauntschas, Stazerwald). - Diss. Univ. Basel, 105 pp.
- RAGETH, R. (1984): Intrusiva und Extrusiva der Bernina-Decke zwischen Morteratsch und Berninapass (Graubünden). - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 64: 83-109.
- REISIGL, H. & PITZSCHMANN, H. (1958): Obere Grenzen von Flora und Vegetation in der Nivalstufe der zentralen Ötztaler Alpen (Tirol). - Vegetatio 8: 93-129.
- RICHARD, J.-L. (1973): Dynamique de la végétation au bord du Grand Glacier d'Aletsch (Alpes suisses). - Ber. Schweiz. Bot. Ges. 83: 159-174.

- RICHARD, J.-L. (1978): La végétation des moraines latérales du grand glacier d'Aletsch. - Doc. Phytosoc. N.S., **3**: 363-365.
- RICHARD, J.-L. (1987): Dynamique de la végétation sur les marges glaciaires récentes de la réserve d'Aletsch (Alpes valaisannes, Suisse). 15 ans d'observations dans les placettes-témoins (1971-1986). - Bot. Helv. **97**: 265-275.
- RICHTER, M. (1994): Die Pflanzensukzession im Vorfeld des Tschierwa-Gletschers/Oberengadin. - Geoökodynamik **15**: 55-88
- RIKLI, M. (1909): Die Arve in der Schweiz. - Neue Denkschr. Schweiz. Naturf. Ges. **44**: 455 pp.
- RÜBEL, E. (1912): Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. - Bot. Jahrb. **47**: 615 pp.
- SCHUBIGER, C. (1988): Die Vegetation des Rhonegletschervorfeldes, ihre Sukzession und naturräumliche Gliederung. - Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz **64**. Teufen, 228 pp.
- SCHWEIZERISCHE GLAZIOLOGISCHE KOMMISSION DER SCHWEIZERISCHEN AKADEMIE DER NATURWISSENSCHAFTEN (SANW). Die Gletscher der Schweizer Alpen. Reports No. 1 - 114. Zürich.
- SPILLMANN, P. (1993): Die Geologie des penninisch-ostalpinen Grenzbereichs im südlichen Berninagebirge.- Diss. ETH No.10'175, Zürich.
- STAUB, R. (1946): Geologische Karte der Bernina-Gruppe und ihrer Umgebung im Oberengadin, Bergell, Val Malenco, Puschlav und Livigno. 1:50'000. Geologische Spezialkarte 118, Schweizerische Geologische Kommission, Basel.
- STÖCKLIN, J. (1992): Differences in the location of subcotyledonary buds among *Epilobium angustifolium* L., *E. dodonaei* Vill. and *E. fleischeri* Hochst. (Onagraceae) and effects on architecture and population structure. - Botanical Journal of the Linnean Society **108**: 35-47.
- STÖCKLIN, J. & FAVRE, P. (1994): Effects of plant size and morphological constraints on variation in reproductive components in two related species of *Epilobium*. - Journal of Ecology **82**: 735-746.
- STÖCKLIN, J. & BÄUMLER, E. (1996): Seed rain, seedling establishment and clonal growth strategies on a glacier foreland. - Journal of Vegetation Science **7**: 45-56.
- THEURILLAT, J.P. (1991): Etudes symphytocoenologiques dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse). - Thèse Univ. Bern: 398 pp.
- THEURILLAT, J.P. (1992): Etude et cartographie du paysage végétal (symphytocoenologie) dans la région d'Aletsch (Valais, Suisse). - Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz **68**. Teufen, 384 pp.
- URBANSKA, K.M. & SCHÜTZ, M. (1986): Reproduction by seed in alpine plantes and revegetation research above timberline. - Bot. Helv. **96** (1): 43-60.
- ZOLLER H., ATHANASIADIS N. & HEITZ-WENIGER, A. (1998): Late-glacial and Holocene vegetation and climate change at the Palü glacier, Bernina Pass, Grisons Canton, Switzerland. - Veg. Hist. Archaeobot. **7**: 241-249.
- ZOLLITSCH, B. (1969): Die Vegetationsentwicklung im Pasterzenvorfeld. - Wiss. Alpenvereinshefte d. deutschen u. österreichischen Alpenvereins, München **21**: 267-280.
- ZUMBÜHL, J.H. & HOLZHAUSER, H. (1988): Alpengletscher in der Kleinen Eiszeit. - Die Alpen **64** (3), Sonderheft zum 125 jährigen Jubiläum des SAC. Schweizer Alpen-Club (ed.): 322 pp.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Conradin A. Burga, Geographisches Institut der Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zürich

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [11](#)

Autor(en)/Author(s): Burga Conradin A.

Artikel/Article: [Vegetationsdynamik in Gletschervorfeldern der Schweizer Zentralalpen am Beispiel von Morteratsch \(Pontresina, Graubünden, Schweiz\) 267-277](#)