© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Ber. nat.-med. Verein Innsbruck	Band 86	S. 107 - 122	Innsbruck, Okt. 1999

Die Vegetation als Indikator für die Bodenbildung im Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Obergurgl, Ötztal, Nordtirol)

von

Brigitta ERSCHBAMER, Wolfram BITTERLICH & Corinna RAFFL *)

The Vegetation as an Indicator of Soil Development on the Glacier Foreland of the Rotmoosferner (Obergurgl, Ötztal, Northern Tyrol)

Synopsis: Vegetation and soil development have been investigated on the glacier foreland of the Rotmoosferner (Obergurgl, Otztal, Northern Tyrol). The soil texture (sand, silt, clay), pH and organic content were determined and correlated with the species composition along the chronosequence. A comparison was also made with the soil and vegetation beyond the moraines. On recently deglaciated areas (glacier stages of 1971, 1956/57) the initial soil development is still poor, an A horizon is absent. The first visible sign of soil formation was detected only on the lateral moraine of 1923, with the formation of an A horizon. The soil development on the ground and lateral moraines of 1858 was not significantly advanced compared to that on the lateral moraine of 1923, although, a differentiation between a brown-black Ah1 and a dark brown Ah2 was visible. The soil types on the oldest moraines were classified as pararendzinas. A strong correlation was found between the sand fraction/pH of the soil and the pioneer plant species assemblage. The highest proportions of clay and organic content, combined with low pH values, were recorded in the soils of the initial grassland on the oldest moraine stages and beyond the morainic areas.

1. Einleitung:

Gletschervorfelder wurden in den Zentralalpen bereits seit dem letzten Jahrhundert floristisch und pflanzensoziologisch untersucht (HOPPE 1803, COAZ 1887, RUBEL 1912, KLEBELSBERG 1913, OECHSLIN 1935, FRIEDEL 1938a,b, LUDI 1945, 1958, WENDELBERGER 1953, HORAK 1961, JOCHIMSEN 1962, 1963, 1970, ZOLLITSCH 1969, RICHARD 1974, BURTSCHER 1979, 1982, TEUFL 1981, RUDOLPH 1991, WIEDEMANN 1991, RAFFL 1999). Neben der Primärsukzession war vor allem auch die Bodenentwicklung auf den Moränenflächen eine wichtige Fragestellung (z.B. FRIEDEL 1938 a, b, LUDI 1945, BURGER & FRANZ 1969). Die meisten Arbeiten gingen dabei von der Chronosequenz aus, d.h. von der zeitlichen Abfolge der Vegetation bzw. der Bodenbildung mit zunehmender Entfernung vom Gletscher. Dieser Ansatz negiert zwar den Einfluß der Umweltfaktoren innerhalb der Mikrohabitate der einzelnen Moränenstadien (MATTHEWS 1979 a, b, MATTHEWS & WHITTACKER 1987, CROUCH 1993), ist aber häufig eine erste Möglichkeit, um die Primärsukzession in Gletschervorfeldern zu untersuchen (s. review in: MATTHEWS 1992).

*) Anschriften der Verfasser: A. Univ.-Prof. Dr. B. Erschbamer, Mag. C. Raffl, Institut für Botanik der Universität Innsbruck Sternwartestraße 15, A-6020 Innsbruck, Österreich und Dipl.-Ing. Dr. W. Bitterlich, Krottenseestraße 46, A-4810 Gmunden, Österreich.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Für das Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Ötztal, Tirol, Österreich) liegen bereits aus den 60er Jahren Vegetations- und Bodenanalysen vor (JOCHIMSEN 1962). Die Autorin wies beispielsweise darauf hin, dass die Bodenbildung selbst in den ältesten Moränen des Rotmoostales noch nicht so weit fortgeschritten war, dass "man einwandfrei einen A- und C-Horizont unterscheiden kann".

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, anhand der Korngrößenverteilung, des pH-Wertes und des Gehaltes an organischer Substanz den aktuellen Stand der Bodenentwicklung zu untersuchen. Nachdem JOCHIMSEN (1962) zwar pH-Werte, Stickstoff- und Phosphat-Gehalte, jedoch nicht die physikalischen Bodenparameter bestimmt hatte, sollten zunächst einige Bodenprofile entlang der Chronosequenz, die im Rotmoostal besonders eindrucksvoll und räumlich gut trennbar vorliegt, untersucht werden. Zu einem späteren Zeitpunkt wird daran gedacht, eine umfangreichere Studie der räumlichen Muster und der kleinflächigen topographischen Unterschiede innerhalb der einzelnen Moränen durchzuführen.

In der vorliegenden Untersuchung sollte im speziellen geklärt werden, ab welchem Besiedelungsstadium von einem Boden gesprochen werden kann, wie rasch die Bodenbildung voranschreitet, in wie weit sich die Artenzusammensetzung mit der Bodenbildung ändert, und ab welchem Moränenalter eine gewisse Unabhängigkeit der Vegetation vom Ausgangsgestein zu erwarten ist. Zu diesem Zwecke wurden Bodenproben auf den genau datierbaren Gletscherständen gezogen und mit Proben aus den orographisch rechten Seitenhängen außerhalb des Gletschervorfeldes verglichen.

2. Untersuchungsgebiet:

Das Untersuchungsgebiet umfasst das Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Obergurgl, Ötztal, Tirol), 46° 49' N 11° 02' E, auf 2300 bis 2450 m Meereshöhe und den orographisch rechten Seitenhang des Rotmoostales (Hohe Mut-Seitenhang: 2470 - 2500 m Meereshöhe). Geologisch liegt das Gebiet im Bereich des Ötztal-Stubai-Komplexes (FRANK et al. 1987, HOINKES & THÖNI 1993), der im wesentlichen von quarz-feldspatreichen Gesteinen, Amphiboliten und Phylliten bestimmt wird. Im hintersten Talboden und im Bereich des orographisch rechten Seitenhanges des Rotmoostales treten die Gesteinsserien des Schneeberg Komplexes (Marmore, Amphibolite, Karbonate, Phyllite) zutage (HOINKES & THÖNI 1993).

Die einzelnen Moränenstadien, datiert von Gernot PATZELT (1991, unveröff.), und JUEN (1998) verdeutlicht Abb. 1. Die boden und vegetationskundlichen Untersuchungen erfolgten im Bereich der Gletscherstände: 1858 (Grund- und Seitenmoräne, 1858G bzw. 1858S), 1923 (Grund- und Seitenmoräne 1923G bzw. 1923S), 1956/57 (Flächen mit bzw. ohne Vegetation, 1956/57V bzw. 1956/57oV) und 1971 (Feinschutt, Grobschutt, 1971 F bzw. 1971 G). Zum Vergleich wurden auch Untersuchungen außerhalb des Gletschervorfeldes – im Bereich des Hohe Mut-Seitenabhanges (Hohe Mut S) – durchgeführt. Diese Aufgliederung in 9 verschiedene Standorte gilt für die bodenkundlichen Untersuchungen, während für die vegetationskundlichen Aufnahmen im Bereich der Gletscherstände 1956/57 und 1971 keine Differenzierung getroffen wurde.

3. Methodik:

Die Typisierung der Böden erfolgte mit Hilfe der Systematik von FINK (1969) bzw. MÜCKENHAUSEN (1993). Für die morphologische Beschreibung wurden die Anleitungen von BLUM et al. (1996) verwendet.

Aufgrund technischer Probleme konnten nicht von allen Probeflächen gleich viele Parallelproben entnommen werden (Tab. 1). Eine statistische Analyse war daher nur begrenzt möglich. Die Mittelwertsvergleiche (einfache ANOVA, Programm SPSS for Windows) sind mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren.

An allen Standorten wurden Proben aus 0 - 10 cm Tiefe entnommen. Bei der Entnahme der gestörten Proben wurde darauf geachtet, aus mehreren Einzelproben eine möglichst gute Mischprobe zu erzielen (BLUM et al. 1996). Die Proben wurden luftgetrocknet. Im Labor erfolgte die Korngrößenanalyse der Fraktionen von 2000 bis 40 µm durch die Siebanalyse (SCHLICHTING et al. 1995), jene der Fraktionen von 40 bis 2 µm mit einem SA-CP 3 der Firma SHIMADZU GmbH, Wien, in einem kombinierten Sedimentations- und Zentrifugationsverfahren. Die Bezeichnung der Korngrößenverteilung erfolgte nach *ÖNORM L 1061* (Grobsand = 2000 - 630 µm, Mittelsand = 630 - 200 µm, Feinsand = 200 - 63 µm, Grobschluff = 63 - 20 µm, Mittelschluff = 20 - 6,3 µm, Feinschluff = 6,3 - 2 µm, Ton = < 2 µm). Der Gehalt an organischer Substanz wurde über Glühverlust analysiert (SCHLICHTING et al. 1995). Die pH-Wertmessung erfolgte in einer Suspension von Boden in 0,01 M $CaCl_2$ - Lösung (1 : 2,5) (BLUM et al. 1996) mit Hilfe eine Labor-pH-Meters (Schott CG841).

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

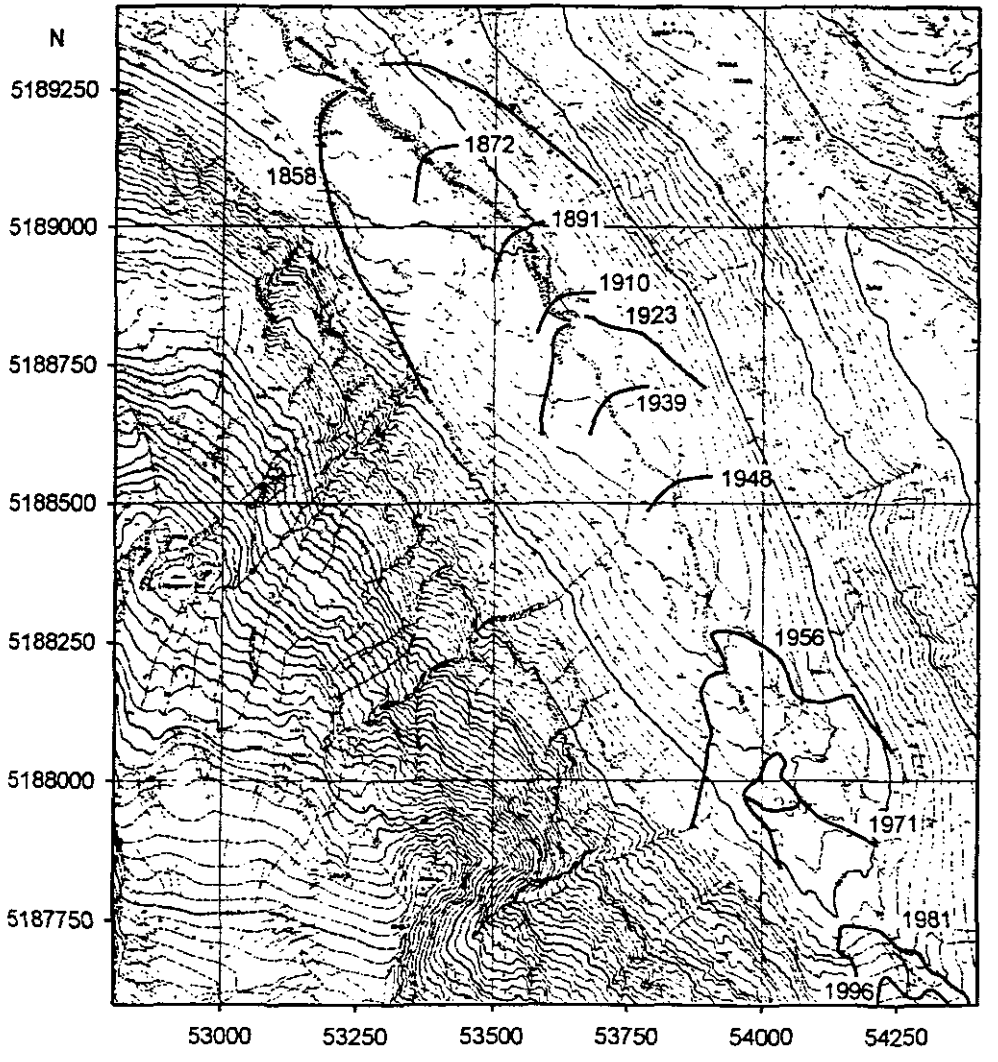

Abb. 1: Gletscherstände (datiert von Gernot PATZELT 1991 und JUEN 1998) im Gletschervorfeld des Rotmoosferners.

Die vegetationskundlichen Untersuchungen wurden mit Hilfe der Methode nach BRAUN-BLANQUET (1964) unter Verwendung der erweiterten Artmächtigkeitsskala nach WILMANNS (1993) (m = 2 m, mehr als 50 Individuen, Deckung weniger als 5 %; a = 2a, Deckung 5 - 15 %; b = 2b, Deckung 16 - 25 %)durchgeführt. Die Größe der Aufnahmeflächen variierte zwischen 1 und 25 m^2 (s. "Einzelaufnahmen", RAFFL 1999). Für die numerische Analyse in der vorliegenden Arbeit wurden allerdings nur 3 bis 5 Aufnahmen pro Moränenstadium ausgewählt. Neben einer Klassifikation mit TWINSPAN (HILL 1979) wurde eine Ordination (Canonical correspondence analysis = CCA) mit Hilfe des Programmes CANOCO 3.12 (TER BRAAK 1991) durchgeführt, um Bodenparameter und Meereshöhe mit den Vegetationsdaten in Beziehung zu setzen.

Die Nomenklatur der Taxa richtet sich nach ADLER et al. (1994).

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 1: Bezeichnung der Probeflachen (Gletscherstände) und Anzahl der Parallelproben für die bodenkundlichen Untersuchungen im Gletschervorfeld des Rotmoosferners.

Probeflächen	Anzahl der Parallelproben
1971F	6
1971G	6
1956/57V	4
1956/57oV	2
1923G	4
1923S	2
1858G	4
1858S	2
Hohe Mut S	4

4. Ergebnisse:

4.1. Boden:

Im Bereich der Moränen des Gletscherstandes 1971 kann von einem alpinen Lockersyrosem (alpiner Gesteinsrohboden im Sinne von MUCKENHAUSEN 1993) gesprochen werden. Ein spärlicher Bewuchs mit Pionierarten führt zu einem Initialstadium der Bodenentwicklung über lockerem Ausgangsmaterial ((Ai), Tab. 2). Unter *Saxifraga aizoides* kann bereits ein geringmächtiger Syrosemhumus (Rohbodenhumus: O_l und in Spuren O_f) beobachtet werden. Ein eigentlicher A-Horizont fehlt.

Tab. 2: Bodentypen auf den einzelnen Moränen im Gletschervorfeld des Rotmoosferners.

Horizonte	Horizontmächtigkeit	Bodenfarbe		Durchwurzelung
1971 – Grundmoräne	Alpiner Gesteinsrohboden (Alpiner Lockersyrosem)			
(Ai)	0.1 - 0.2 cm			
IC	> 50 cm			
1956/57 – Grundmoräne	Alpiner Gesteinsrohboden (Alpiner Lockersyrosem)			
(Ai)	0.2 - 0.3 cm			
IC	> 50 cm			
1923 – Grundmoräne	Alpiner Schwemmboden mit Rohbodenhumus			
(Ol)	< 0.3 cm			
AiC	0 - 3 (4) cm	grau	10Y4/1	11 - 20
D1	3 - 7 (8) cm	grau-oliv	5Y4/2	6 - 10
D2	> 7 (8) cm	grau-oliv	5Y4/2	(1 - 5) 8 - 10
1923 – Seitenmoräne	Alpine Pararendzina			
(Ol)	< 0.3 cm			
A	0 - 3 (4) cm			
Cv	> 3 (4) cm			
1858 – Grundmoräne	Alpine Pararendzina			
(Ol)	< 0.3 cm			
Ah1	0 - 1 cm	braun-schwarz	10YR3/4	21 - 50
Ah2	1 - 4 (3) cm	dunkelbraun	10YR2/3	11 - 20
Cv	> 4 cm	dunkeloliv	5Y4/4	1 - 5

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Der Boden auf der Moränenfläche 1956/57 ist ebenfalls noch nicht über ein Initialstadium hinaus entwickelt (Tab. 2). Vor allem im Bereich der Arten, die bereits eine größere Deckung aufweisen (z.B. unter *Salix retusa*), lässt sich eine Humusansammlung von einigen Millimetern feststellen (Ol und Of). Ein Humushorizont ist allerdings noch nicht ausgebildet. Im Bereich der Grundmoräne von 1923 kann ein alpiner Schwemmboden mit Rohbodenhumus festgestellt werden (Tab. 2), wobei in 7 - 8 cm Tiefe eine Übersandung durch den Gletscherbach auffällt.

Im Seitenmoränenbereich von 1923 wurde eine alpine Pararendzina identifiziert mit einem Humushorizont von 3 - 4 cm Mächtigkeit, die durchaus vergleichbar ist mit jener des Grundmoränenbereiches von 1858 (Tab. 2).

Am orographisch rechten Seitenhang des Rotmoostales (Hohe Mut S) wurden von NEUWINGER (1987) flachgründige Braunerde-Kolluvien bzw. flach- bis mittelgründige Podsol- und Braunerde-Kolluvien beschriebben.

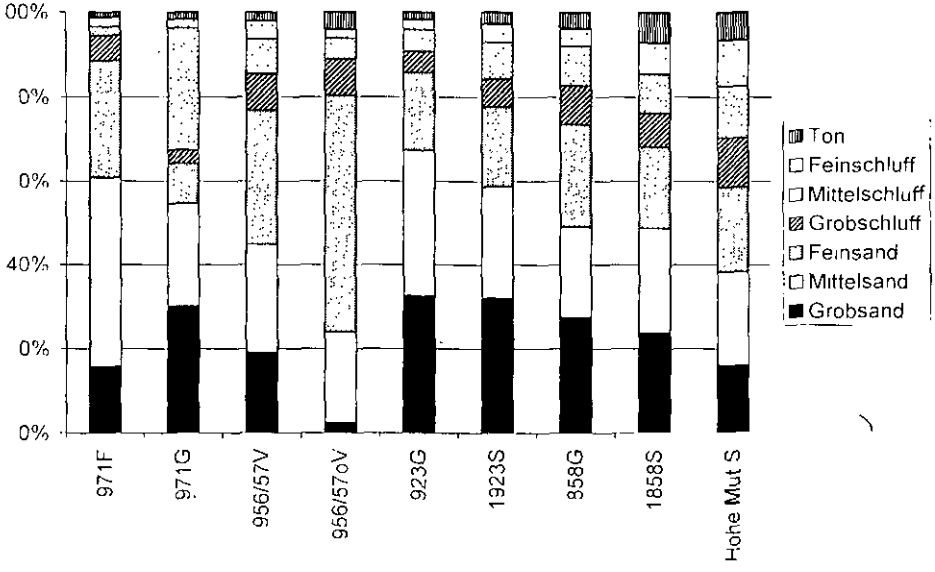

Abb. 2: Korngrößenfraktionen in % auf den einzelnen Moränen im Gletschervorfeld des Rotmoosferners.

Die Ergebnisse der Korngrößenbestimmung (Abb. 2, Tab. 3) verdeutlichen den generell hohen Sandanteil in allen Moränenflächen und damit die wenig vorangeschrittene Bodenentwicklung. Die Verhältnisse zwischen Grob-, Mittel- und Feinsand schwanken je nach Probefläche. In den vegetationsfreien Flächen des Gletscherstandes 1956/57 sind neben den gröberen Fraktionen (Grus) ein besonders hoher Feinsandanteil und ein hoher Schluffanteil hervorzuheben.

Die vom Gletscherbach immer wieder beeinflussten Flächen der Grundmoräne 1923 sind bezüglich Sandanteil mit jenen der 1971er Moräne vergleichbar. Mit zunehmendem Moränenalter sinkt jeoch der Sandgehalt des Bodens. Bereits im Bereich der Seitenmoräne von 1923 sind nur noch rund 78 % Sand bestimmt worden, im Bereich der Grundmoräne von 1858 73 % und auf der Seitenmoräne 1858 68 %. Diese Standorte unterscheiden sich signifikant von den jüngeren Moränenflächen. Außerhalb der Moräne (Hohe Mut S) konnte nur noch ein Sandanteil von rund 59 % nachgewiesen werden (Tab. 3).

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 3: Mittelwerte und Standardfehler (se) der Korngrößenfraktionen Sand, Schluff, Ton, der organischen Substanz und der pH-Werte für die Moränen im Gletschervorfeld des Rotmoosferners. Signifikante Unterschiede zwischen den Moränen werden mittels verschiedener Buchstaben verdeutlicht (Signifikanzniveau: $P < 0,05$): gleiche Buchstaben stehen für nicht signifikante Unterschiede.

	Sand	se	Sign.	Schluff	se	Sign.	Ton	se	Sign.	Org. Sub.	se	Sign.	pH	se	Sign
1971F	88.37	3.01	a	10.34	2.79	a	1.28	0.31	a	0.32	0.006	a	7.70	0.003	a
1971G	85.76	3.08	a	11.77	2.39	a	2.48	0.88	a	0.40	0.007	a	7.60	0.003	b
1956/57V	76.76	2.03	a	21.01	1.96	b	2.23	0.20	a	5.07	1.84	a	6.99	0.003	c
1956/57oV	80.27	2.94	a	15.46	3.84	a	4.27	0.90	b	0.20	0.00	a	7.61	0.001	d
1923G	85.70	1.81	a	12.44	1.61	a	1.86	0.39	a	3.02	0.78	a	6.71	0.41	e
1923S	77.54	0.89	b	19.57	0.93	b	2.89	0.005	b	5.85	0.25	a	6.44	0.001	f
1858G	73.46	1.67	b	22.51	1.61	b	4.02	0.75	b	7.84	2.71	b	6.21	0.18	g
1858S	68.22	0.40	b	24.31	0.42	b	7.46	0.002	b	9.40	0.20	b	4.80	0.002	h
Höhe Mut S	58.53	4.92	b	36.03	5.16	b	6.85	1.19	b	11.85	0.89	b	4.30	0.005	i

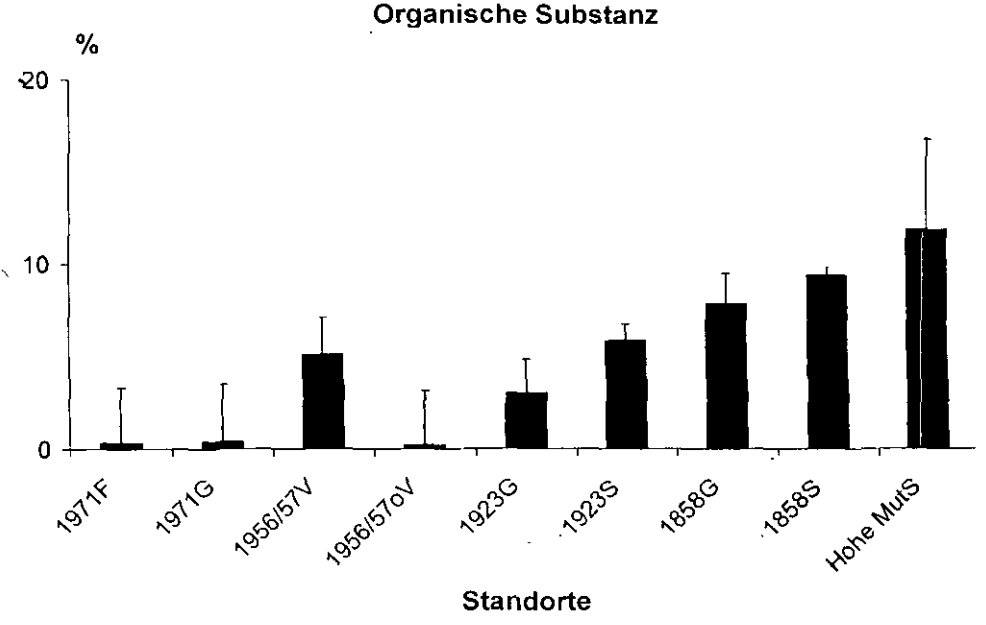

Abb. 3: Gehalt an organischer Substanz in % auf den einzelnen Moränen im Gletschervorfeld des Rotmoosferners.

Bezüglich Schluffgehalt ist der entgegengesetzte Trend sichtbar: bei höherer Vegetationsdeckung liegt auch ein höherer Schluffgehalt vor. Der höchste Schluffgehalt wurde außerhalb der Moräne am Hohe Mut-Seitenhang verzeichnet (36 %). Ähnliche Aussagen können für den Tongehalt getroffen werden, wobei interessanterweise die offenen Flächen der 1956/57er Moräne mehr Ton aufwiesen als die vegetationsbedeckten Flächen (2,2 bzw. 4.3 %).

Betrachtet man die organische Substanz (Abb. 3), so gilt hier derselbe Trend wie für die Schluff- und Tongehalte. Die vegetationsbedeckten Flächen der 1956/57er Moräne weisen erstaunlich hohe Gehalte an organischer Substanz auf (5 %). Insgesamt ist eine relativ rasche Zunahme der Werte mit zunehmendem Moränen-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

alter festzustellen: von 0,3 % auf den jüngsten bis hin zu 9,4 % auf den ältesten Moränen. Mit 11,8 % ist der Wert für den Hohe Mut-Seitenhang am höchsten.

Die pH-Werte (Tab. 3) spiegeln den Grad der Bodenentwicklung sehr gut wider: die jüngsten Moränenflächen weisen Werte über 7 auf. Dies gilt auch für die vegetationsfreien Flächen im Bereich des Gletscherstandes 1956/57. Bereits auf den 1923er Moränen ist jedoch eine deutliche Abnahme zu verzeichnen (pH 6.54 - 6.44). Die tiefgründigeren Böden der Seitenmoräne von 1858 bzw. jene des Hohe Mut-Seitenhanges weisen deutlich saure Verhältnisse auf mit pH-Werten von 4.81 – 4.30 (Tab. 3).

4.2. Vegetation:

Die Grundmoränen von 1971 und 1956/57 werden von einem Pionierstadium (RAFFL 1999) bestimmt. Die Bestände sind vor allem auf der 1971er Moräne noch sehr lückig (Deckung 15 - 30 %, Tab. 4). Dominant sind die Pionierarten *Saxifraga oppositifolia, Saxifraga aizoides, Artemisia genipi, Cerastium uniflorum* und *Linaria alpina* (Tab. 4). *Polytrichum piliferum* und *Oxyria digyna* sind auf diese Flächen beschränkt. Folgearten, wie *Trifolium pallescens, Poa alpina, Minuartia gerardii, Stereocaulon alpinum, Silene acaulis* agg., *Festuca pumila* und *Racomitrium canescens* sind ebenfalls bereits vorhanden; sie zählen jedoch allgemein zum Artengrundstock des gesamten Gletschervorfeldes. Auf den Moränenflächen 1956/57 ist die Besiedelung wesentlich weiter fortgeschritten als auf jenen von 1971, die Deckung erreicht hier bereits 40 - 75 %. Eine Vegetationsentwicklung in Richtung Folgestadium zeichnet sich ab.

Die Grundmoräne des Gletscherstandes 1923 unterscheidet sich von den jüngeren Moränen vor allem durch eine starke Abnahme der Pioniere (*Saxifraga aizoides, Cerastium uniflorum, Linaria alpina, Trisetum spicatum, Arenaria ciliata, Arabis caerulea*). *Saxifraga oppositifolia* ist jedoch nach wie vor in allen Aufnahmeflächen vorhanden. Die Gesamtdeckung variiert zwischen 40 und 75 %.

Die Bestände der Seitenmoräne 1923 fallen durch eine eigene Artengruppe auf: *Gentiana brachyphylla, Alchemilla fissa, Cerastium holosteoides, Trifolium pratense* ssp. *nivale, Luzula multiflora* und *L. spicata, Salix helvetica, Saxifraga aizoides* erscheint hier als Feuchtigkeitszeiger ebenfalls wieder. Eine weitere Artengruppe umfasst späte Sukzessionsarten, die auch auf den Moränen 1858 (Grund- und Seitenmoräne) vorkommen: *Kobresia myosuroides, Festuca halleri, Androsace obtusifolia, Trifolium badium.* Auch auf *Carex sempervirens* sei verwiesen, die in einigen Aufnahmen der Seitenmoräne 1923 und der Grundmoräne 1858 vorkommt. Die Gesamtdeckung liegt im Seitenmoränenbereich bei 60 - 100 %, auf der Grundmoräne 1858 bei 50 - 90 %. Pionierarten sind auf den ältesten Moränenflächen kaum mehr vorhanden. Beide Bestände können als Initialrasen mit *Kobresia myosuroides* und *Agrostis alpina* bezeichnet werden (RAFFL 1999).

Der Seitenhang außerhalb des Gletschervorfeldes hebt sich sehr deutlich vom Gletschervorfeld ab. *Carex sempervirens* vermittelt zwar zu den Beständen der Grundmoräne 1858. Typisch ist jedoch eine eigenständige Artengruppe mit *Calluna vulgaris, Vaccinium vitis-idaea, Leontodon helveticus, Nardus stricta, Geum montanum* und *Ligusticum mutellina.* Der Bestand wurde von RAFFL (1999) als Caricetum sempervirentis RÜBEL 1911 charakterisiert.

Moränenflächen und Seitenhang außerhalb des Gletschervorfeldes haben zwar noch einige wenige Arten gemeinsam (Allgemeine Begleiter, Tab. 4), eine umfangreiche Gruppe von Arten ist allerdings ausschließlich im Gletschervorfeld zu finden (Arten der Moränen, Tab. 4).

Abb. 4 zeigt eine Ordination der Arten in Abhängigkeit von den Bodenparametern und der Meereshöhe. Die CCA-Achse 1 (Eigenwert = 0,542) weist eine sehr hohe Korrelation mit den Bodenparametern auf, während die CCA-Achse 2 (Eigenwert = 0,328) am stärksten mit der Meereshöhe korreliert. Die CCA-Achse 2 repräsentiert indirekt auch den Grad der Vegetationsentwicklung. Hohe pH-Werte und hohe Sandgehalte des Bodens sind streng miteinander korreliert und bestimmen die Pioniervegetation (*Artemisia genipi, Linaria alpina,*

Tab. 4: Vegetationstabelle für das Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Auszug aus der Tabelle "Einzelaufnahmen", RAFFL 1999).

Standorte	1971				1956/57			1923G				
Aufnahme Nr.	1	2	3	4	5	6	7	12	8	9	10	11
Neigung (°)	2	2	2	2	6	4	6	5	19	2	2	2
Gesamtdeckung (%)	15	20	25	30	75	43	70	75	40	40	40	40
Differentialartengruppen												
Saxifraga oppositifolia	a	1	a	a	1	a	a	1	1	+	1	+
Saxifraga aizoides	a	a	1	a	a	1	1	+	–	–	–	–
Artemisia genipi	1	+	1	1	a	1	a	1	+	+	–	–
Cerastium uniflorum	+	1	1	+	+	–	–	–	–	–	–	–
Linaria alpina	+	+	+	+	+	–	+	+	–	–	–	+
Arabis alpina	1	1	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Polytrichum piliferum	+	+	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Oxyria digyna	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Arabis caerulea	–	1	+	+	+	+	1	–	–	–	–	–
Arenaria ciliata	–	1	+	1	–	1	–	a	–	–	–	–
Trisetum spicatum	–	–	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–
Gentiana brachyphylla	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Alchemilla fissa	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cerastium holosteoides	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Trifolium pratense nivale	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Luzula multiflora	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Salix helvetica	–	–	–	–	–	b	+	a	–	–	–	–
Luzula spicata	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Kobresia myosuroides	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Agrostis alpina	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–
Festuca halleri	+	–	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Androsace obtusifolia	–	–	–	–	–	–	–	+	+	+	–	–
Trifolium badium	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Carex sempervirens	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Calluna vulgaris	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Vaccinium vitis-idaea	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Leontodon helveticus	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Nardus stricta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Geum montanum	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ligusticum mutellina	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Arten der Moränen												
Trifolium pallescens	1	+	1	b	a	b	b	b	–	–	1	+
Poa alpina	+	1	+	1	m	m	a	1	–	1	–	+
Minuartia gerardii	+	+	+	a	a	a	a	a	+	1	+	+
Stereocaulon alpinum	+	–	1	1	+	–	1	a	a	b	1	b
Silene acaulis agg.	+	–	m	1	1	1	1	b	–	–	–	–
Festuca pumila	–	+	–	+	+	1	+	1	a	+	b	a
Saxifraga bryoides	+	1	a	–	–	+	+	–	–	+	1	+
Racomitrium canescens	+	1	1	1	1	+	m	–	–	–	–	–
Salix herbacea	–	–	+	+	1	1	1	–	–	–	–	–

1923S					1858G					1858S				Hohe Mut S				
18	19	20	21	34	35	36	37	38	45	46	47	48	54	55	56	57	58
26	36	24	26	2	2	2	2	2	25	24	10	20	25	38	55	35	35
75	75	75	40	80	90	58	50	90	80	60	80	75	60	70	80	95	60
–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
1	+	1	+	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
a	a	b	a	a	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
+	+	+	1	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
+	a	–	a	+	–	a	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
+	1	1	1	+	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	+	+
a	4	b	3	a	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
+	–	1	+	+	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
+	+	a	+	+	3	b	b	b	1	+	b	b	–	–	+	–	–
a	+	a	a	a	–	+	1	1	–	1	1	1	1	a	a	1	–
a	–	+	1	–	1	+	a	a	a	1	+	a	–	–	–	–	–
+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	1	1	1	–	–	–	–
–	+	+	a	a	1	1	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–
+	–	a	+	+	+	a	–	–	–	–	–	+	–	a	a	1	b	b
–	–	–	–	–	–	–	b	–	–	–	–	–	–	b	4	3	3	b
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1	1	1
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	a	1	1	1
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	a	1	–	a
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	1
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	–	+	+
1	+	a	a	1	a	1	a	1	1	1	a	1	a	–	–	–	–	–
+	1	+	1	+	1	1	1	1	+	–	+	1	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	1	+	–	+	+	–	m	1	+	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	a	+	+	1	b	+	a	1	+	–	–	–	–	–
+	–	a	+	+	1	+	+	a	+	+	+	b	–	–	–	–	–	–
–	+	–	–	a	–	–	–	–	a	–	b	+	a	–	–	–	–	–
+	+	–	+	1	–	–	–	+	–	–	+	a	+	–	–	–	–	–
1	–	1	+	a	1	+	–	–	a	–	1	1	–	–	–	–	–	–
1	+	1	+	1	+	1	–	–	+	+	–	a	–	–	–	–	–	–

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Standorte	1971				1956/57			1923G				
Achillea moschata	–	+	1	–	–	–	1	b	–	1	+	1
Erigeron uniflorus	–	–	–	+	–	1	1	+	+	+	+	+
Saxifraga paniculata	–	–	+	–	–	–	–	+	b	a	a	+
Artemisia mutellina	+	–	–	–	–	+	1	+	+	1	1	1
Galium anisophyllon	+	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–	–
Sedum atratum	–	+	1	+	–	–	–	+	–	–	–	1
Sempervivum montanum	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cladonia spec.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Myosotis alpestris	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Veronica alpina	–	–	–	+	–	1	m	–	–	–	–	–
Minuartia sedoides	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Leucanthemopsis alpina	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–
Taraxacum alpinum	–	–	–	+	+	–	+	–	–	–	–	–
Deschampsia cespitosa	+	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–	–
Parnassia palustris	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
Sibbaldia procumbens	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Veronica fruticans	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	+
Agrostis rupestris	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Geum reptans	–	–	+	+	–	+	–	–	–	–	+	–
Sagina saginoides	+	–	–	–	1	+	–	–	–	–	–	–
Bartsia alpina	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cardamine resedifolia	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cirsium spinosissimum	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–	–
Anthyllis vulneraria alpestris	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Thymus praecox polytrichus	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Polytrichum spec.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Saxifraga exarata	–	–	+	–	–	–	–	–	1	–	–	–
Botrychium lunaria	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Carex capillaris	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Allgemeine Begleiter												
Persicaria vivipara	–	–	–	1	1	1	1	–	–	–	–	–
Leontodon hispidus alpinus	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	+	+
Cetraria islandica	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	a	+
Euphrasia minima	–	–	–	+	m	1	1	–	–	–	–	–
Cladonia pyxidata	–	–	–	–	–	–	–	+	+	1	–	–
Potentilla aurea	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Avenula versicolor	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+
Phytheuma hemisphaericum	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Festuca nigricans	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cladonia arbuscula	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Salix serpyllifolia	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–
Soldanella pusilla	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Cetraria nivalis	–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	–
Cladonia ecmocyna	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–
Arctostaphylos uva-ursi	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Anthoxanthum alpinum	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Gnaphalium hoppeanum	–	–	–	–	+	+	1	–	–	–	–	–
Juncus trifidus	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

1923S					1858G					1858S				Hohe Mut S				
–	+	–	–	–	–	–	–	1	1	b	b	b	b	–	–	–	–	–
–	–	+	–	–	–	–	+	–	+	–	m	1	1	–	–	–	–	–
+	–	–	–	–	+	–	–	+	a	–	b	+	a	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	+	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
1	–	+	–	1	–	–	–	+	+	–	1	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	+	–	–	+	+	–	1	1	1	–	–	–	–	–
+	–	–	–	1	1	1	+	+	+	–	–	–	1	–	–	–	–	–
+	–	+	1	1	–	–	–	–	–	–	1	+	+	–	–	–	–	–
–	–	+	–	–	1	1	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	+	+	–	–	–	1	+	–	+	+	–	+	–	–	–	–
+	+	–	–	+	+	–	+	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
m	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–	m	–	–	–	–	–	–
–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	a	+	–	–	–	–	–	–	–
+	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–	1	–	–	–	–
+	+	–	–	+	–	1	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	–
+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	+	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	+	+	–	+	–	1	+	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	b	a	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	1	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–
+	–	–	+	+	–	–	–	–	–	b	a	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	b	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	a	1	a	–	+	–	a	–	1	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–	1	–	–	–	+	–
–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	a	a	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	+	–	–	–	–	–	–
–	–	+	–	–	+	–	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
1	+	1	1	+	1	a	1	1	1	1	+	1	–	1	+	+	+	1
+	a	1	+	1	+	a	1	m	1	1	+	–	–	a	–	–	–	1
+	–	–	+	+	1	–	+	1	+	1	a	b	+	+	1	1	a	1
1	1	1	+	1	+	–	–	–	–	+	m	1	–	m	+	1	–	–
a	+	1	+	–	+	–	–	+	+	+	+	1	–	+	1	1	+	–
–	+	–	+	–	–	1	1	–	–	1	+	a	–	+	+	+	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	1	–	1	1	–	1	a	+	1
–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–	1	±	±	–	1	+	–
–	a	1	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	b	–	+	–	+
–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	1	–	+	–	–	1	–	b	b
–	–	–	–	–	–	–	a	–	–	–	+	–	–	–	–	–	1	–
–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	1	–	1	–	–	–	–	1	1
–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	1	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	+	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	3	–
+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	+
+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	a	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	1	–	–	–	1	–	–	–	+	–	–	–	1	–	–

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

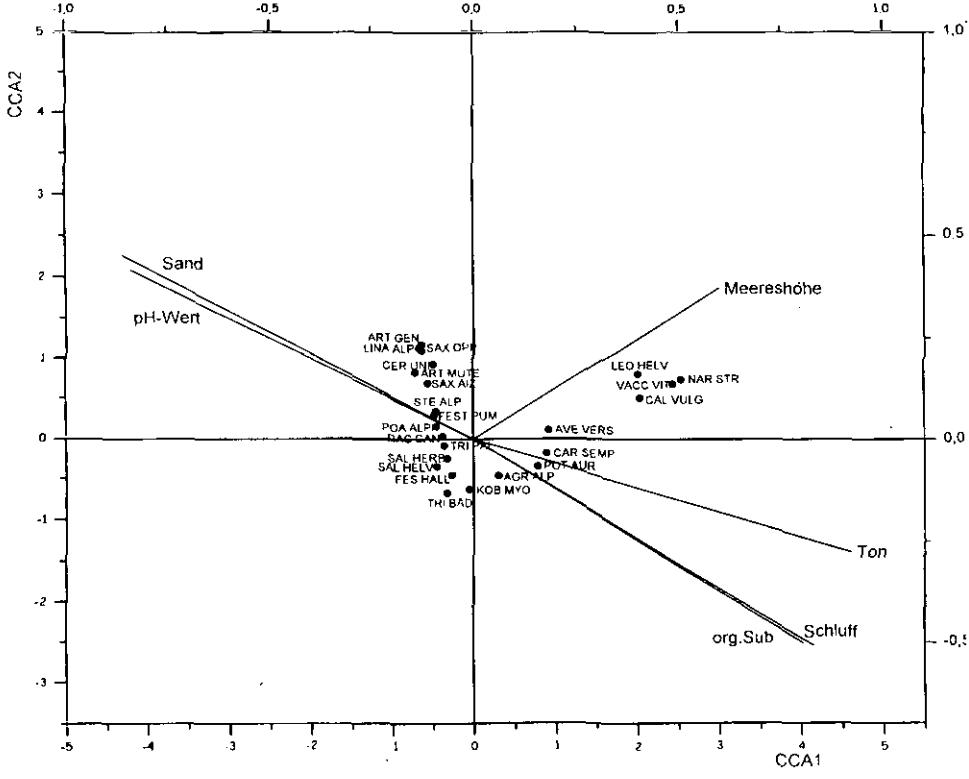

Abb. 4: Ordination der Arten (Auswahl) in Abhängigkeit von den Korngrößenfraktionen, der organischen Substanz, dem pH-Wert und der Meereshöhe. – Art gen = *Artemisia genipi*, Lina alp = *Linaria alpina*, Sax opp = *Saxifraga oppositifolia*, Cer uni = *Cerastium uniflorum*, Art mute = *Artemisia mutellina*, Sax aiz = *Saxifraga aizoides*, Ste alp = *Stereocaulon alpinum*, Fest pum = *Festuca pumila*, Poa alpi = *Poa alpina*, Rac can = *Racomitrium canescens*, Tri pal = *Trifolium pallescens*, Sal herb = *Salix herbacea*, Sal helv = *Salix helvetica*, Fes hall = *Festuca halleri*, Tri bad = *Trifolium badium*, Kob myo = *Kobresia myosuroides*, Agr alp = *Agrostis alpina*, Pot aur = *Potentilla aurea*, Car semp = *Carex sempervirens*, Ave vers = *Avenula versicolor*, Cal vulg = *Calluna vulgaris*, Vacc vit = *Vaccinium vitis-idaea*, Nar str = *Nardus stricta*, Leo helv = *Leontodon helveticus*.

Saxifraga oppositifolia, Cerastium uniflorum, Saxifraga aizoides u.a.). Auch die Folgearten (*Poa alpina, Trifolium pallescens* u.a.) korrelieren noch relativ deutlich mit diesen Faktoren. Die höchsten Werte an organischer Substanz und die höchsten Ton- und Schluffgehalte wurden im Bereich der ältesten Moränenstadien bzw. außerhalb des Gletschervorfeldes verzeichnet, daher stehen diese Faktoren in enger Beziehung mit den späten Sukzessionsarten (*Kobresia myosuroides, Agrostis alpina, Potentilla aurea, Carex sempervirens* u.a.) bzw. den Arten der ausgereiften Rasen. Die Artengruppe des Hohe Mut-Seitenhanges (*Nardus stricta, Vaccinium vitis-idaea, Leontodon helveticus, Calluna vulgaris*) weist allerdings zusätzlich auch eine Abhängigkeit von der Meereshöhe auf. Dieser relativ isolierte Artencluster verdeutlicht die Verschiedenheit des ausgereiften Rasenstadiums außerhalb des Gletschervorfeldes von den Sukzessionsstadien im Moränenbereich.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

5. Diskussion:

Rezent eisfreie Moränenflächen werden zwar relativ rasch von Pionieren besiedelt (LÜDI 1945). Es handelt sich dabei um isolierte Einzelpflanzen; im Gletschervorfeld des Rotmoosferners vor allem um *Saxifraga aizoides* und *Saxifraga oppositifolia*. COAZ (1887) beschreibt ein Aufkommen von *Saxifraga aizoides* bereits auf 3 Jahre eisfreien Flächen und auch im Rotmoostal beginnt die Besiedelung unmittelbar auf den rezent eisfreien Flächen vor der Gletscherzunge (RAFFL 1999). Die Pioniere siedeln auf einem sehr heterogenen Lockersyrosem ("Lockerschuttzone" nach FRIEDEL 1938a), der aus unterschiedlichen Ablagerungs- und Umlagerungsprozessen hervorgegangen sein kann (MATTHEWS 1992). Im Rotmoostal kann erst im Bereich der rund 28 Jahre eisfreien Flächen (Gletscherstand 1971) von einer initialen Bodenbildung gesprochen werden. Hier sind es vor allem die polsterartig wachsenden *Saxifraga*-Arten, unter denen erste Anzeichen einer Humusansammlung beobachtet werden können. Selbst auf den rund 42 Jahre eisfreien Flächen (Gletscherstand 1956/57) ist die Bodenentwicklung nur unwesentlich weiter fortgeschritten. Auf Grund der höheren Vegetationsdeckung und ihrer stabilisierenden Wirkung auf das Substrat könnte hier von "Ruhschutt" im Sinne von FRIEDEL (1938a) gesprochen werden. Auf den immer noch vegetationsfreien Flächen ist nach wie vor ein noch völlig unveränderter Lockersyrosem ohne Humusauflage vertreten. Für die Ausbildung einer geringmächtigen alpinen Pararendzina scheinen im Rotmoostal mindestens rund 75 Jahre Eisfreiheit und eine relativ ungestörte Entwicklung ohne wiederholte Umlagerung erforderlich zu sein. Die Seitenmoränenflächen von 1923 und die Grund- und Seitenmoränen von 1858 unterscheiden sich nur unwesentlich hinsichtlich Gründigkeit des Bodenprofils. Im Laufe von 75 bzw. 140 Jahren konnte sich lediglich ein 4 cm mächtiger Humushorizont entwickeln. Im Vergleich zu den Aufnahmen von JOCHIMSEN (1962) lässt sich allerdings heute eine eindeutige Differenzierung in zwei Humushorizonte durchführen, d.h. in den fast 40 Jahren ist eine deutliche Bodenentwicklung abgelaufen.

Die Korngrößen erlauben eine Reihe von Aussagen über die Bodeneigenschaften und –merkmale (HARTGE & HORN 1991) und sollten hier im besonderen diskutiert werden.

Bereits LÜDI (1945) und VIERECK (1966) wiesen auf eine generelle Abnahme des Sandanteils und eine graduelle Zunahme der Schluff- und Tonanteile mit zunehmendem Moränenalter hin. Dies gilt auch für das Gletschervorfeld des Rotmoosferners. Parallel dazu nimmt auch der Gehalt an organischer Substanz entlang der Chronosequenz zu. Allerdings scheinen große Unterschiede zwischen den Gletschervorfeldern je nach geographischer Lage, Meereshöhe und Großklima vorhanden zu sein (MATTHEWS 1992, FRENOT et al. 1995). Untersuchungen von der Glacier Bay, einem maritimen Gebiet in Alaska, in dem die Gletscher bis zum Meer hinabreichen, weisen auf eine wesentlich bessere Humushorizont-Ausbildung hin, wo bereits in den ersten 40 Jahren ein bis zu 10 cm mächtiger A1-Horizont ausgebildet wurde (DECKER 1966, in MATTHEWS 1992). In 55 Jahre alten Moränenböden konnte dort bereits ein illuvialer B-Horizont erkannt werden. Ein 5 cm mächtiger elluvialer A2-Horizont wurde bereits nach 150 Jahren Eisfreiheit festgestellt (UGOLINI 1966). Auf Grund der maritimen Lage, der hohen Breitenlage (59° N) und der geringen Meereshöhe können die Verhältnisse an der Glacier Bay allerdings in keiner Weise mit den kontinentalen Bedingungen im Gletschervorfeld des hinteren Ötztales verglichen werden. Die geringe Rate der Bodenbildung im Gletschervorfeld des Rotmoosferners dürfte einerseits auf die Höhenlage und die kontinentalen Klimabedingungen zurückzuführen sein, andererseits wird in bestimmten Gletschervorfeldern auch die Korngröße des Muttergesteins dafür verantwortlich gemacht (z.B. GELLATLY 1987 in MATTHEWS 1992). Im Bereich der 1923er Moräne dürfte die Ursache für die noch sehr dürftige Bodenbildung durch ihre glacio-fluviatile Herkunft bedingt sein, für die generell geringere Bodenbildungsraten angegeben werden im Vergleich zu unsortiertem Material von Moränenhügeln (MATTHEWS 1992).

Charakteristisch scheint laut MATTHEWS (1992) die Abnahme des pH-Wertes entlang der Chronosequenz zu sein. Dies kann auch im Rotmoostal bestätigt werden: die Böden der ältesten Moränenstadien zeigen bereits leichte Versauerungstendenzen. In einem 120 Jahre alten Moränenboden des Pasterzenvorfeldes gibt BURGER

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

(1972) für eine Pararendzina pH-Werte von 8,2 bis 7,4 an, in einem 350 Jahre alten Boden der Fernaumoräne wurden sogar noch höhere Werte gemessen. Im Vergleich dazu kann im Rotmoostal eine wesentlich stärkere Auswaschung der Basen verzeichnet werden.

Die große Tonarmut in allen untersuchten Böden des Gletschervorfeldes im Rotmoostal weist auf eine gute Durchlässigkeit der Böden und eine hohe Versickerungsrate des Bodenwassers hin. Dies bedeutet, dass zumindest in niederschlagsärmeren Perioden eine hohe Austrocknung des Bodens zu erwarten ist. Für das Keimlingsaufkommen dürfte dies begrenzend sein und auch für bereits aufgelaufene Keimlinge sind dies erschwerende Bedingungen, die ein Überleben fraglich machen. Tatsächlich überlebt nur ein sehr geringer Prozentsatz der im Juni/Juli aufgelaufenen Keimlinge den Sommer (NIEDERFRINIGER SCHLAG, unveröff. Daten).

Der organischen Substanz wird eine zentrale Rolle in Ökosystemen zugeordnet (PAUL 1984, GREEN et al. 1993). So lassen höhere Gehalte an organischer Substanz auf einen größeren Pool an verschiedenen Kohlenstoffverbindungen, aber auch an verschiedenen anderen Nährstoffen schließen (PICCOLO 1996, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Die chemische Natur sowie die Reaktion der organischen Komponenten spielen eine wesentliche Rolle bei der Zersetzung und Humifizierung.

Erst in den rund 140 Jahre eisfreien, ältesten Moränenflächen scheint sich die Nährstoff- und Bodenwassergehaltssituation zu verbessern: der Tongehalt erreicht hier rund 4 - 7 %, die organische Substanz rund 8 - 9 %. Betrachtet man die Vegetation auf diesen Flächen, so sind zwar Initialrasen mit relativ guter Deckung ausgebildet, von einem Klimaxstadium sind die Bestände allerdings noch weit entfernt und über größere Abschnitte hinweg muss noch immer von einem Folgestadium gesprochen werden (RAFFL 1999).

Die Beobachtungen im Rotmoostal zeigen, dass die Pionier- bzw. Folgearten die Bodenbildung initiieren: erst ein Bewuchs mit höherer Deckung führt zur Ausbildung einer Horizontabfolge. Von einem "echten Boden" kann erst im Bereich der Seitenmoräne 1923 bzw. auf dem Gletscherstand 1858 gesprochen werden. Die flachgründigen Pararendzinen dürften allerdings noch keine Unabhängigkeit der Vegetation vom Ausgangsgestein zur Folge haben. Die Artenzusammensetzung ändert sich graduell mit zunehmendem Moränenalter und die Sukzession scheint rascher zu verlaufen als die Bodenentwicklung.

In der vorliegenden Arbeit gehen wir ausschließlich von einem zeitabhängigen Prozess der Vegetations- und Bodenentwicklung aus. Es ist ein Ansatz, der in der Vergangenheit von zahlreichen Autoren gewählt wurde, wobei die Zeit als dominanter Faktor für die Primärsukzession (MATTHEWS 1992) bzw. für die Bodengenese (JENNY 1980) gesehen wird. Die grundlegenden Mechanismen und Abfolgen der Primärsukzession sind jedoch sicher nicht monokausal zu erklären und es ist durchaus nicht abgesichert, ob wirklich die Zeit der entscheidendste Faktor ist. MATTHEWS & WHITTACKER (1987) entwickelten daher einen räumlichen Ansatz, der den Zeitfaktor von den Umweltfaktoren trennen sollte. Dies kann allerdings nur mit einer mehr oder weniger flächendeckenden Aufnahme der Vegetation und der entsprechenden Standortsfaktoren geschehen. LÜDI (1945) legte am Aletschgletscher Dauerflächen an, die später von RICHARD (1974) wieder aufgenommen wurden. Somit konnte die tatsächliche Vegetationsänderung im Laufe der Zeit mit der von LUDI (1945) aufgestellten Chronosequenz verglichen werden. Im Rotmoostal stellte RUDOLPH (1991) eine "voranschreitende Differenzierung der Vegetationsdecke" im Vergleich zu den Aufnahmen von JOCHIMSEN (1962) fest; er versuchte auch bereits Gesellschaften zu definieren. Erst 1996 wurden Dauerflächen eingerichtet (NIEDERFRINIGER SCHLAG, unveröff. Daten), um unter anderem die weitere Entwicklung auf den Moränen 1971 und 1956/57 verfolgen zu können.

Die Heterogenität der Moränen ist selbst für einen Laien gut ersichtlich und die Standortsbedingungen ändern sich kleinräumig sehr rasch. Somit kann angenommen werden, daß auch das Feinmaterial des Bodens sehr rasch wechselt. Zukünftige Untersuchungen müssten daher auf das vielfältige Mosaik von Vegetationseinheiten (s. Kartierung von RUDOLPH 1991) ausgedehnt werden, um einen Überblick über die Vielfalt der Bodengenese und die sie bestimmenden Faktoren zu erhalten. Neben weiteren bodenkundlichen Untersuchun-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

gen müsste vor allem eine detaillierte mikroklimatische Erfassung je nach Vegetationsmosaik und Topographie durchgeführt werden. Um den Beginn der biologischen Mineralisierung feststellen zu können, wären außerdem Nährstoffanalysen notwendig.

6. Literatur:

ADLER, W., K. OSWALD & R. FISCHER (1994): Exkursionsflora von Österreich. – Ulmer Verlag, Stuttgart, Wien.

BLUM, W.E.H., H. SPIEGEL & W.W. WENZEL (1996): Bodenzustandsinventur. Konzeption, Durchführung und Bewertung. Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. – Bundesministerium f. Land- u. Forstwirtschaft, Bundes-ministerium f. Wissenschaft, Forschung u. Kunst, Wien.

BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie. – 3. Aufl. Springer Verlag, Wien.

BURGER, R. & H. FRANZ (1969): Die Bodenbildung der Pasterzenlandschaft. – Wiss. Alpenvereinsh. **21:** 253 - 264.

BURGER, R. (1972): Die Böden der Pasterzenlandschaft im Glocknergebiet. – Mitt. Österr. Bodenk. Ges. **16:** 23 - 92.

BURTSCHER, M. (1979): Zur Flora und Vegetation der Moränen in der Umgebung der Rostockerhütte. – Hausarbeit Univ. Innsbruck.

– (1982): Zur Vegetation und Flora zweier Gletschervorfelder im Venedigergebiet. – Diss. Univ. Innsbruck.

COAZ, J. (1887): Erste Ansiedlung phanerogamer Pflanzen auf vom Gletscher verlassenen Böden. – Mitt. Naturf. Ges. Bern: 3 - 12.

CROUCH, H.J. (1993): Plant distribution patterns and primary succession on a glacier foreland: A comparative study of cryptogams and higher plants. – In: MILES, J. & D.W.H. WALTON (Hrsg.): Primary succession on land. – Blackwell Scient. Publ., Oxford: 133 - 144.

FINK, J. (1969): Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs. – Mitt. d. Österr. Bodenkdl. Gesell. **13,** 95 pp.

FRANK, W., G. HOINKES, F. PURTSCHELLER & M. THONI (1987): The austroalpine unit west of the Hohe Tauern: the Ötztal-Stubai Complex as an example for the eoalpine metamorphic evolution. – In: FLUGEL, H.W. & P. FAUPL (Hrsg.): Geodynamics of the Eastern Alps. – F. Deuticke, Vienna: 179 - 199.

FRENOT, Y., B. VAN VLIET-LANGE & J.-C. GLOAGUEN (1995): Particle translocation and initial soil development on a glacier foreland, Kerguelen Islands, Subantarctic. – Arctic and Alpine Research **27:** 107 - 115.

FRIEDEL, H. (1938a): Boden- und Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Rhonegletschers. – Ber. Geobot. Rübel **1937:** 65 - 76.

– (1938b): Die Pflanzenbesiedlung im Vorfeld des Hintereisferners. – Ztschr. Gfkde **26:** 215 - 239.

GREEN, R.N., R.L. TROWBRIDGE & K. KLINKA (1993): Towards a taxononic classification of humus forms. – Forest Science Monograph **29,** 49 pp.

HARTGE, K.H. & R. HORN (1991): Einführung in die Bodenphysik. – Enke Verlag, Stuttgart.

HILL, M. (1979): TWINSPAN – a FORTRAN programm for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification for individuals and attributes. – Cornell Univ. Ithaca.

HOINKES, G. & M. THONI (1993): Evolution of the Ötztal-Stubai, Scarl-Campo and Ulten Basement Units. – In: RAUMER, v. J.F. & F. NEUBAUER (Hrsg.): Pre-mesozoic geology in the Alps. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, HongKong, Barcelona, Budapest: 485 - 494.

HOPPE, D.H. (1803): Botanische Reise nach den Salzburischen, Kartnerischen und Tirolerischen Alpen. – Bot. Taschenbuch, Regensburg.

HORAK, E. (1961): Floristische Untersuchungen im Gletschervorfeld der Silvretta- , Lischana- und Sesvennagruppe. – Jahrb. Naturf. Ges. Graubünden, Bd. **89:** 112 - 135.

JENNY, H. (1980): The soil resource: origin and behavior. – Springer Verlag, New York.

JOCHIMSEN, M. (1962): Die Vegetationsentwicklung in den Vorfeldern des Rotmoos- und Gaisbergferners im Ötztal. – Diss. Innsbruck.

– (1963): Vegetationsentwicklung im hochalpinen Neuland. Beobachtungen an Dauerflächen im Gletschervorfeld. 1958 - 1962. – Ber. nat.-med. Verein Innsbruck **53:** 109 - 123.

– (1970): Die Vegetationsentwicklung auf Moränenböden in Abhängigkeit von einigen Umweltfaktoren. – Veröff. Univ. Innsbruck **46:** 22.

JUEN, A. (1998): Artenzusammensetzung und Verteilung von Käfern im Gletschervorfeld des Rotmoostales (Ötztaler Alpen, Tirol). – Diplomarbeit Univ. Innsbruck).

KLEBELSBERG, R. v. (1913): Das Vordringen der Hochgebirgsvegetation in den Tiroler Alpen. – Österr. Bot. Ztschr. **63:** 177 - 186.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

LUDI, W. (1945): Besiedelung und Vegetationsentwicklung auf den jungen Seitenmoränen des Großen Aletschgletschers mit einem Vergleich der Besiedlung im Vorfeld des Rhonegletschers und des Oberen Grindelwaldgletschers. – Ber. Geobot. Inst. Rübel **1944:** 35 - 112.

– (1958): Beobachtungen über die Besiedlung von Gletschervorfeldern in den Schweizer Alpen. – Flora **146:** 386 - 407.

MATTHEWS, J.A. (1979 a): The vegetation of the Storbreen gletschervorfeld, Jotunheimen, Norway. I. Introduction and approaches involving classification. – J. Biogeogr. **6:** 17 - 47.

– (1979b): The vegetation of the Storbreen gletschervorfeld, Jotunheimen, Norway. II. Approaches involving ordination and general conclusions. – J. Biogeogr. **6:** 133 - 167.

– (1992): The ecology of recently-deglaciated terrain. – Cambridge Studies in Ecology, Cambridge Univ. Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.

MATTHEWS, J.A. & R.J. WHITTAKER (1987): Vegetation succession on the Storbreen glacier foreland, Jotunheimen, Norway: a review. – Arctic and Alpine Research **19:** 385 - 395.

MUCKENHAUSEN, E. (1993): Bodenkunde. – DLG, Frankfurt a. Main.

NEUWINGER, I. (1987): Bodenökologische Untersuchungen im Gebiet Obergurgler Zirbenwald - Hohe Mut. – In: PATZELT, G. (Hrsg.): MaB-Projekt Obergurgl. – Veröff. Österr. MaB-Progr. Universitätsverlag Wagner, Innsbruck: 173 - 190.

OECHSLIN, M. (1935): *Beitrag zur Kenntnis der pflanzlichen Besiedlung durch Gletscher freigegebener Grundmoränenböden.* – Ber. Nat. Ges. Uri **4:** 27 - 48.

PAUL, E.A. (1984): Dynamics of organic matter in soils. – Plant and Soil **76:** 275 - 285.

PICCOLO, A. (1996): Humus and soil conservation. – In: PICCOLO, A. (ed.): Humic substances in terrestrial ecosystems. – Elsevier Science B.V., Amsterdam, Lausanne, New York, Oxford, Shannon, Tokyo: 225 - 264.

RAFFL, C. (1999): Vegetationsgradienten und Sukzessionsmuster in einem zentralalpinen Gletschervorfeld (Ötztaler Alpen, Tirol). – Diplomarbeit Univ. Innsbruck.

RICHARD, J.L. (1974): Dynamique de la végétation au bord du grand glacier d'Aletsch (Alpes suisses). – Ber. Schweiz. Bot. Ges. **83:** 159 - 174.

RUDOPH, D. (1991): Vergleichende Studien zur Vegetationsentwicklung im Vorfeld des Rotmoosferners/Ötztaler Alpen. – Diplomarbeit Univ. Gießen.

RUBEL, E. (1912): Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. – Engler's Bot. Jb. **47**, Stuttgart.

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. – Enke Verlag, Stuttgart.

SCHLICHTING, E., H.-P. BLUME & K. STAHR (1995): Bodenkundliches Praktikum. – Blackwell, Berlin, Wien.

TER BRAAK, D.J.F. (1991): Programm CANOCO Version 3.12. – Agricultural Mathematics Group DLO.

TEUFL, J. (1981) Die Vegetationsgliederung in der Umgebung der Rudolfshütte und des Ödenwinkelkees-Vorfeldes. – Diss. Salzburg.

UGOLINI, F.C. (1966): Soils. – In: MIRKSKY, A. (Hrsg.): Soil development and ecological succession in a deglaciated area of Muir Inlet, Southeast Alaska. – Ohio State Univ. Research Foundation, Columbus, Ohio: 29 - 72.

VIERECK, L.A. (1966): *Plant succession and soil development on gravel outwash of the Muldrow Glacier, Alaska.* – Ecol. Monogr. **36:** 181 - 199.

WENDELBERGER, G. (1953): Über einige hochalpine Pioniergesellschaften aus der Glockner- und Muntanitzgruppe in den Hohen Tauern. – Verh. Zool. Bot. Ges. Wien, Bd. **93:** 100 - 109.

WIEDEMANN, T. (1991): Die Entwicklung von Boden und Vegetation im Vorfeld des Gaißbergferners/Ötztaler Alpen. – Diplomarbeit Univ. Gießen.

WILMANNS, O. (1993): Ökologische Pflanzensoziologie. – UTB Taschenbuch, Quelle & Meyer Verlag, Wiesbaden.

ZOLLITSCH, B. (1969): Die Vegetationsentwicklung im Pasterzenvorfeld. – Wiss. Alpenvereinsh. **21:** 267 - 289.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: 86

Autor(en)/Author(s): Erschbamer Brigitta, Raffl Wallinger Corinna, Bitterlich Wolfram

Artikel/Article: Die Vegetation als Indikator für die Bodenbildung im Gletschervorfeld des Rotmoosferners (Obergurgl, Ötztal, Nordtirol). 107-122