

Bodenstruktur, Temperatur und Vegetation von Büldenböden am Peischlachtörl (Nationalpark Hohe Tauern, Österreich)

– Carmen Keuschnig, Karl Krainer und Brigitta Erschbamer –

Zusammenfassung

Am Peischlachtörl (2484 m Meereshöhe, nördliche Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern) wurden Büldenböden vegetations- und bodenkundlich untersucht und mit einem typischen alpinen Rasen (*Caricetum curvulae*) verglichen. Insgesamt wurden 380 Vegetationsaufnahmen à 10 x 10 cm entlang von 14 Kleintransekten durchgeführt, um das Vegetationsmosaik von Bülden und Senken darzustellen. Die Untersuchungen umfassten auch die Bestimmung der Bodentypen, pH-Messungen und Korngrößenanalysen. Bodentemperaturmessungen erfolgten in 10 und 50 cm Bodentiefe von 2003 bis 2005. Es zeigte sich eine deutliche Vegetationszonierung von den Bülden zu den Senken. Die Bultkuppen werden von einer Gesellschaft bestimmt, die dem *Caricetum curvulae* zugeordnet werden kann, mit einer *Loiseleuria procumbens*-Ausbildung an einer kleineren Anzahl von Kuppen, einer *Oreochloa disticha*-Ausbildung für den überwiegenden Anteil der Kuppen sowie einer *Ligusticum mutellina*-Ausbildung im Übergang zu den Senken. Der alpine Rasen (*Caricetum curvulae*) lässt sich gut mit der Vegetation der Bultkuppen vergleichen, wobei der überwiegende Teil der Rasen-Aufnahmen zur *Oreochloa disticha*-Ausbildung gezählt werden kann. Die Senken der Büldenböden werden von einer *Luzula alpinopilosa*-Ausbildung charakterisiert. Eine pflanzensoziologische Zuordnung dieser Gesellschaft ist sehr schwierig, da Schneebodenarten, Gräser der subalpinen Stufe und *Caricetum curvulae*-Arten vermischt vorkommen. Im Bereich der Bülden wurde eine pseudovergleyte Braunerde bzw. ein Semipodsol festgestellt, in der Senke ein Pseudogley und im alpinen Rasen ein Eisen-Humus-Podsol. Büldenböden und alpiner Rasen unterscheiden sich signifikant hinsichtlich der Korngrößen: der Boden des alpinen Rasens ist wesentlich skelett- und sandreicher. Kuppen und Senken unterscheiden sich nur unwesentlich in ihrer Körnung. – Der erste Winter zeichnete sich durch fehlenden Bodenfrost aus, während im zweiten Winter sowohl der Boden des alpinen Rasens als auch die Bülden tief durchfroren. Die Temperatur in den Senken sank dagegen nur leicht unter 0 °C ab.

Abstract: Soil structure, temperature and vegetation of earth hummocks at the Peischlachtörl (Hohe Tauern National Park, Austria)

In the area of the Peischlachtörl (2484 m a.s.l.) in the Hohe Tauern National Park (northern Schober Range) periglacial structures such as earth hummocks frequently occur. The aim of this study was to investigate soil structure, temperatures and vegetation of the earth hummocks and compare hummocks and troughs. The hummocks were compared to a typical alpine grassland at the same altitude (*Caricetum curvulae*). A total of 380 relevés of 10 x 10 cm plots were sampled along 14 transects. Analysis of the soil types and textures was performed at selected sites. Soil temperatures were measured at depths of 10 and 50 cm from 2003 to 2005.

A zonation of the vegetation was observed from the hummocks to the troughs. The tops of the earth hummocks were characterised by a *Caricetum curvulae*, with a *Loiseleuria procumbens*-type on some of the tops, an *Oreochloa disticha*-type on most of the tops and a *Ligusticum mutellina*-type on the transition to the troughs. Species composition of the alpine grassland (*Caricetum curvulae*) was very similar to that of the hummock tops, with most relevés belonging to the *Oreochloa disticha*-type. In the troughs a *Luzula alpinopilosa*-community with several snowbed species, graminoid species of the subalpine belt and species of the *Caricetum curvulae* was observed.

A 'pseudogleyic brown earth' and 'semi-podzol', respectively, were determined for the hummocks and a 'pseudogley' for the troughs. The soil of the alpine grassland was classified as 'iron-humic-podzol'. Soil texture differed significantly between alpine grassland and earth hummocks, the grassland soil being rich in skeletal content and sand. Between hummocks and troughs no significant differences in grain size were detected. – In contrast to the winter of 2003/2004, which lacked soil frost, the winter of 2004/2005 was characterized by deep soil frost within both the earth hummocks and the alpine grassland. The troughs were hardly frozen with temperatures slightly below 0 °C.

Keywords: alpine grassland, *Caricetum curvulae*, periglacial structures, soil types, vegetation zonation.

1. Einleitung

Alpine Gebiete werden von periglazialen Strukturen geprägt, die durch frostbedingte Substratbewegungen entstanden sind (VEIT 2002). Als Periglazial werden generell jene Bereiche bezeichnet, in denen Frostprozesse einschließlich Permafrost (Dauerfrostboden) dominieren, d. h. alle Bereiche mit einer Jahresmitteltemperatur unter +3 °C. In den Alpen entspricht dies den Hochlagen oberhalb der Waldgrenze. Charakteristische Prozesse in dieser Zone sind Frostverwitterung, saisonales Gefrieren des Bodens und Bodeneis-Bildung, Frosthebung, Bodenkriechen (Solifluktion) und die Entstehung von Strukturböden (FRENCH 1996). Daraus resultiert eine Vielzahl von typischen geomorphologischen Erscheinungsformen wie Blockgletscher, Steinringe, Steinnetze, Streifenböden, Pflasterböden, Schuttloben, Rasenloben und Büldenböden. Solche Strukturböden sind im Nationalpark Hohe Tauern beispielsweise von der nördlichen Schobergruppe (Tschadinsattel, Tramerkar, Nordseite des Bösen Weibl, Vorfeld des Peischlachesselkees) und der südlichen Granatspitzgruppe (Umgebung der Sudetendeutschen Hütte) bekannt (HÖLLERMANN 1967, STINGL 1969). In der Umgebung der Glorer Hütte wurden über viele Jahre hinweg Solifluktionsprozesse auf Dauerbeobachtungsflächen studiert (VEIT 1989, VEIT & HÖFNER 1993, VEIT et al. 1995, JAE SCHE 1999) und der Einfluss auf Vorkommen und Wuchs alpiner Arten untersucht (ULLRICH 1995, RESTLE 1995). Büldenböden wurden in diesen Studien nur am Rande behandelt, obwohl sie im Nationalpark Hohe Tauern an vielen Stellen oberhalb von 2.200 m Meereshöhe entwickelt sind.

Bülden (engl. nonsorted circle, earth hummock; isländ. thúfur; franz. buttes gazonnées) sind 30 – 50 cm hohe Aufwölbungen mit einem Durchmesser von 0,5 – 2 m. Sie entstehen in der periglazialen Zone überall dort, wo das Gelände flach bis leicht geneigt ist, der Boden aus feinkörnigem Material besteht und Feuchtigkeit im Boden vorhanden ist (HÖLLERMANN 1967, STINGL 1969). Bülden sind entweder vollständig von Vegetation bewachsen („earth hummocks“, Rasenbülden) oder fast vegetationsfrei („mud hummocks“). Auf stärker geneigten Hängen bilden sie längliche Rippen (Girlanden). Meist treten sie zu mehreren auf und bedecken in Form von „Büldenböden“ größere Flächen.

Im Jahre 2003 wurden im Bereich des Peischlachtörls (nördliche Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern) auf 2484 m Meereshöhe Büldenböden untersucht (KEUSCHNIG 2005). Ziel der Arbeit war es, das Mikorelief der Büldenböden (Bult-Senke) im Vergleich zu einer alpinen Rasenfläche vegetations- und bodenkundlich zu charakterisieren. Die zentrale Frage war, ob die Zonierung Bult-Senke pflanzensoziologisch unterscheidbar ist und ob Beziehungen der Büldenböden zum typischen alpinen Rasen gegeben sind. Von 2003 bis 2005 wurden Bodentemperaturen in 10 und 50 cm Bodentiefe gemessen. Spezielles Augenmerk sollte dabei auf die Herbst- und Wintertemperaturen gelegt werden, um die gegenwärtige Frostaktivität im Bereich der Bülden zu ergründen.

2. Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungsflächen befinden sich am Peischlachtörl (2484 m Meereshöhe) am Nordrand der Schobergruppe im Nationalpark Hohe Tauern, ca. 6 km nordöstlich von Kals (Abb. 1). Die geographischen Koordinaten für das Peischlachtörl betragen 47°01' nördlicher Breite und 12°43' östlicher Länge (World Geodetic System 84). Folgende Flächen wurden untersucht (Abb. 2): „O-Bülden“ – an einem ostexponierten Hang gelegen mit einer Neigung von 5°; „W-Bülden“ – eine nach Westen geneigte Fläche zwischen den Wanderwegen zum Bösen Weibl und zur Elberfelder Hütte mit einer Neigung von 3°; und eine nordwestexponierte Vergleichsfläche im alpinen Rasen ohne Ausbildung von Bülden (*Caricetum curvulae* = C), am südöstlichen Rand des Moores am Peischlachtörl liegend (Abb. 2).

Der Untergrund am Peischlachtörl besteht aus Altkristallingesteinen der nördlichen Schobergruppe. Diese Gesteine werden dem mittelostalpinen Deckenstockwerk, und zwar dem Liegendkomplex des Altkristallins der Schobergruppe zugerechnet (TOLLMANN 1977). Es sind hauptsächlich Glimmerschiefer, die teilweise quarzitisch sind und überwiegend aus

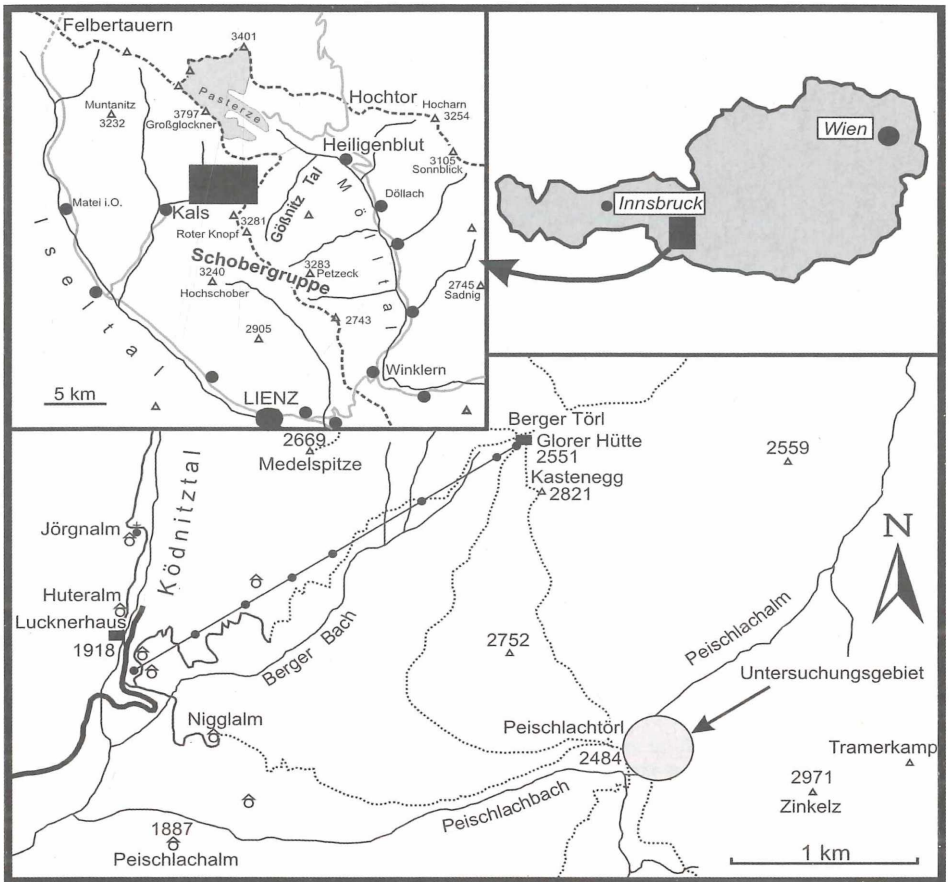


Abb. 1: Geographische Lage des Untersuchungsgebietes Peischlachtörl in der nördlichen Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern, Österreich.

Fig. 1: Map showing location of the Peischlachtörl study area in the northern Schober Range, Hohe Tauern National Park, Austria.

Quarz und Hellglimmer (Muskovit) bestehen. Die Glimmerschiefer sind stark geschiefert und stellenweise intensiv im cm-Bereich verfaultet. Vereinzelt sind in der nördlichen Schobergruppe auch Gneise und Amphibolite in den Glimmerschiefern eingeschaltet. Das Altkristallin der Schobergruppe ist entlang einer großen, steilen Überschiebungsbahn auf die Gesteine der Matreier Zone aufgeschoben. Die Grenze Altkristallin – Matreier Zone verläuft das Ködnitztal entlang hinauf zur Glorier Hütte und von dort weiter zum Hahnkamp.

Im engeren Untersuchungsgebiet gibt es keine Klimastation. Die höhenmäßig vergleichbare Station Hochtor Süd an der Großglockner-Hochalpenstraße (2528 m, 10 km Luftlinie vom Peischlachtörl entfernt), gibt eine mittlere jährliche Lufttemperatur von $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ an. Das Monatsmittel im Jänner beträgt dort $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$, im Juli $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Für südwestlich des Peischlachtörls liegende Bereiche auf 2000 m (Lesachtal, Tschadinalm, Staniskatal) werden Jahresniederschläge von etwa 1000 – 1100 mm angegeben. In der Schobergruppe ist oberhalb von 2000 m Meereshöhe mit einer durchschnittlichen max. Schneehöhe von 150 – 200 cm zu rechnen (BUCHENAUER 1990).

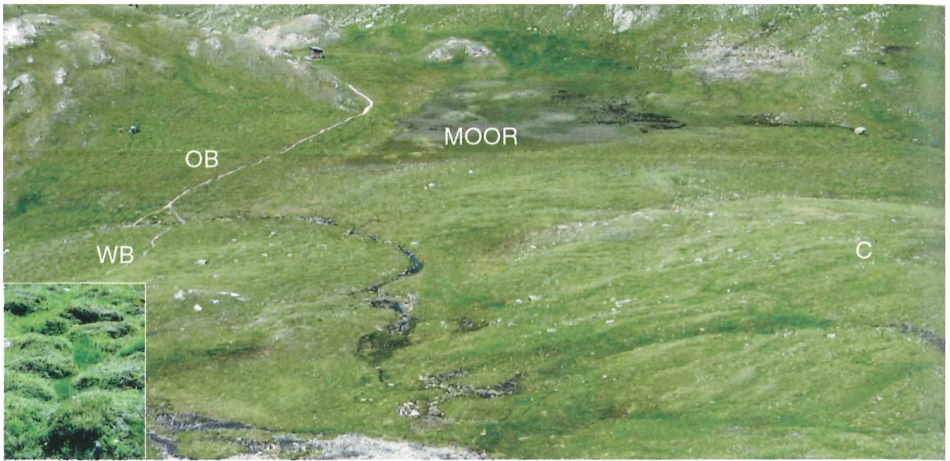


Abb. 2: Übersichtsfoto der untersuchten Bültenböden am Peischlachtörl (2484 m Meereshöhe, nördliche Schobergruppe, Nationalpark Hohe Tauern) und Detailbild der Bult-Senken-Zonierung (rechts unten): OB = Bültenboden am ostexponierten Hang, WB = Bültenboden am westexponierten Hang, C = *Caricetum curvulae* ohne Bültenbildung.

Fig. 2: Photo of the investigated earth hummocks at the Peischlachtörl study site (2484 m a.s.l., northern Schober Range, Hohe Tauern National Park) and detail of the hummock-trough zonation (right corner): OB = earth hummocks on the easterly exposed slope, WB = earth hummocks on the westerly exposed slope, C = *Caricetum curvulae* without hummocks.

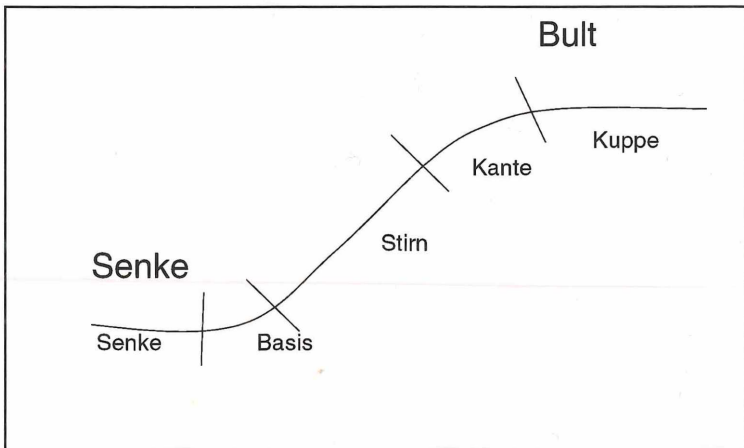


Abb. 3: Schematische Darstellung der Bult-Senke-Profils mit den Zonenbereichen: Kuppe, Kante, Stirn, Basis, Senke. Entlang solcher Profile wurden die Transekte für die Vegetationsaufnahmen gelegt.

Fig. 3: Diagram of the profile through the hummock-trough complex with the zonation series top, border, front, basis, trough. Sampling was carried out along transects following this profile.

3. Methodik

3.1. Vegetation

Im Sommer 2003 wurden 380 Vegetationsaufnahmen entlang von 14 Kleintransekten (5 im Bereich der W-Bülden, 6 im Bereich der O-Bülden und 3 im *Caricetum curvulae*) erhoben. Die Größe der Aufnahmeefläche betrug 10 x 10 cm und die Schätzung der Deckung der Arten erfolgte prozentgenau. Ergänzend zu den floristischen Daten wurden für jede Aufnahme folgende Parameter erhoben: Mikrorelief (5-teilige Skala; Abb. 3), Exposition, Hangneigung und pH-Wert einer Mischprobe aus 0–10 cm Bodentiefe, gesammelt mittels Bohrstock. Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen richtet sich nach ADLER et al. (1994), die der Moose nach FREY et al. (1995) und jene der Flechten nach WIRTH (1995).

Mit Hilfe des Programms TWINSPAN (HILL 1979) wurde eine Vegetationstabelle erstellt. Die vom Programm ausgewiesenen Indikatorarten wurden für die Differenzierung der Ausbildungen verwendet. Die Namengebung der Ausbildungen erfolgte nach der im Gelände aspektprägenden Indikatorart. Für die Stetigkeitstabelle wurden die Aufnahmen der jeweiligen Ausbildungen zu Stetigkeitsklassen zusammengefasst: I = in 1 – 20%, II = 21 – 40 %, III = in 41 – 60 %, IV = in 61 – 80 %, V = in 81 – 100 % der Aufnahmen vorkommend. Für die Ordination wurde das Programm CANOCO 4.5 for Windows (TER BRAAK & ŠMILAUER 1998) verwendet.

Die Daten wurden einer Detrended Correspondence Analysis (DCA) unterzogen. Die Gradientenlänge der ersten Achse (3 SD) erlaubte die Verwendung sowohl einer DCA als auch einer CCA (Canonical Correspondence Analysis). Beide Modelle wurden verwendet, aber die DCA lieferte bessere Ergebnisse. Das Diagramm dazu wurde mit dem Programm CANODRAW 4 (TER BRAAK & ŠMILAUER 1998) erstellt.

Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programm SPSS 13.0. Für normalverteilte Daten wurden parametrische Tests (T-Test, Einfaktorielle Varianzanalyse) verwendet, für nicht normalverteilte Daten nicht-parametrische Tests (Mann Whitney- und Kruskal-Wallis-H-Test).

3.2. Boden

Im August 2003 wurden Bodenprofile jeweils von Bult und Senke im Bereich der O-Bülden ((B 1 = Bult 1, S 1 = Senke 1) und der W-Bülden (B 2, B 3 = Bult 2 und 3, S 2 = Senke 2) sowie ein Bodenprofil im *Caricetum curvulae* (C) gegraben. Die Probenentnahme für die Korngrößenbestimmung erfolgte horizontabhängig. Korngrößen > 0,5 mm wurden nass gesiebt. Korngrößen < 0,5 mm wurden mit Hilfe eines Laser-Korngrößenanalyse-Gerätes (Mastersizer 2000 – Hydro 2000MU, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire) bestimmt. Die Klassifizierung der Korngrößen ist in Tab. 1 beschrieben.

Die Bestimmung der Bodentypen erfolgte nach der Österreichischen Bodensystematik 2000 (NESTROY et al. 2000). Zur Messung der Bodentemperatur wurden Tidbit-Datenlogger (Onset Computer

Tabelle 1: Bezeichnung der Korngrößenfraktionen und Klassifizierung nach Partikelgröße (mm).

Table 1: Description of the grain size fractions and classification of the particle sizes (mm).

Fraktionen	Bodenart	Beschreibung	Durchmesser mm	
Bodenskelett	Schotter	Blöcke	> 256	
		Steine	256	– 64
		Kies	64	4
		feiner Kies	4	– 2
Feinboden	Sand	sehr grob	2	1
		grob	1	0,5
		mittel	0,5	0,25
		fein	0,25	0,125
		sehr fein	0,125	– 0,0625
	Schluff	grob	0,0625 – 0,031	
		mittel	0,031 – 0,0156	
		fein	0,0156 – 0,0078	
		sehr fein	0,0078 – 0,0039	
	Ton		< 0,0039	



Abb. 4: Montage der Tidbit-Datenlogger (Onset Computer Corporation, Pocasset, USA) in 10 und 50 cm Bodentiefe. Die Logger wurden in perforierten PVC-Rohren versenkt und am höchsten Punkt des Bults bzw. am tiefsten Punkt der Senke eingegraben.

Fig. 4: Mounting of the Tidbit-data loggers (Onset Computer Corporation, Pocasset, USA) at soil depths of 10 and 50 cm. The data loggers were installed within perforated PVC-tubes at the highest point of the hummocks and the lowest point of the troughs.

Corporation, Pocasset, USA) jeweils in 10 und 50 cm Bodentiefe in perforierten PVC-Rohren installiert (Abb. 4), und zwar im Bereich der O-Bülten und W-Bülten jeweils am höchsten Punkt der Bülten (Kuppe) und im Zentrum der angrenzenden Senken (KEUSCHNIG 2005). Weitere Messungen erfolgten im *Caricetum curvulae* (C, Abb. 2) und am Südrand des Moores (die Moordaten werden hier nicht weiter ausgeführt). Die Temperaturregistrierung erfolgte von Juli 2003 bis August 2005 in stündlichen Intervallen.

4. Ergebnisse

4.3. Vegetation

Die TWINSPAN-Analyse differenziert sehr klar zwischen zwei Aufnahmegruppen: einer Gruppe mit *Carex curvula*, welche die Kuppenzone bzw. den alpinen Rasen charakterisiert und einer Gruppe mit *Luzula alpinopilosa* im Bereich der Senken (Tab. 2). Die Aufnahmegruppe mit *Carex curvula* ist durch die Charakterarten der *Caricetea curvulae* Br.-Bl. 1948, wie z. B. *Leontodon helveticus*, *Phyteuma hemisphaericum*, *Avenula versicolor*, *Agrostis rupestris*, *Primula minima* und *Leucanthemopsis alpina* gut gekennzeichnet. Die Gesellschaft kann daher als *Caricetum curvulae* Rübel 1911 eingestuft werden. Eine Untergliederung in drei Ausbildungen lässt sich durchführen.

Eine kleinere Anzahl von Aufnahmen (36 Aufnahmen, Tab. 2) aus dem Bereich der Bultkuppen wird von der *Loiseleuria procumbens*-Ausbildung bestimmt. Diese Gesellschaft zeigt eine deutliche floristische Ähnlichkeit mit der Assoziation *Loiseleurio-Caricetum curvulae* Pitschmann et al. 1980. Dafür sprechen die Trennarten *Loiseleuria procumbens* und *Vaccinium gaultheroides*, sowie die typischen Arten *Cetraria islandica*, *Cladonia gracilis*, *Leontodon helveticus* und *Phyteuma hemisphaericum* (GRABHERR 1993).

Tabelle 2: Stetigkeitstabelle der Pflanzengesellschaften im Bereich des Peischlachtörls (2484 m Meereshöhe, Nationalpark Hohe Tauern, Österreich): 1–3 = *Caricetum curvulae*; 1 = *Loiseleuria procumbens*-Ausbildung, 2 = *Oreochloa disticha*-Ausbildung, 3 = *Ligusticum mutellina*-Ausbildung; 4 = *Luzula alpino-pilosa*-Ausbildung. Die Artenliste wird angeführt von den Differentialartenblöcken der vier Gesellschaften.

Table 2: Constancy table of the plant communities at the study site Peischlachtörl (2484 m a.s.l., Hohe Tauern National Park, Austria): 1–3 = *Caricetum curvulae*; 1 = *Loiseleuria procumbens* type, 2 = *Oreochloa disticha* type, 3 = *Ligusticum mutellina* type; 4 = *Luzula alpino-pilosa* type. The order of the species list starts with the differential species groups of the four communities.

Gesellschaften	1	2	3	4
Anzahl der Aufnahmen	36	161	108	75
<i>Loiseleuria procumbens</i>	IV	I	I	I
<i>Vaccinium gaultherioides</i>	I	-	-	-
<i>Oreochloa disticha</i>	I	II	I	I
<i>Cladonia arbuscula</i>	-	IV	I	II
<i>Avenula versicolor</i>	-	II	I	I
<i>Ligusticum mutellina</i>	IV	II	IV	V
<i>Cladonia symphycarpa</i>	II	I	IV	I
<i>Luzula alpinopilosa</i>	I	I	I	III
<i>Geum montanum</i>	I	I	I	III
<i>Anthoxanthum alpinum</i>	-	I	I	III
<i>Agrostis capillaris</i>	I	I	I	II
<i>Potentilla aurea</i>	I	I	I	II
<i>Festuca nigrescens</i>	-	I	I	II
<i>Carex curvula</i>	III	V	V	III
<i>Leontodon helveticus</i>	IV	V	V	V
<i>Primula minima</i>	V	V	V	II
<i>Cetraria islandica</i>	V	V	V	III
<i>Cladonia gracilis</i>	III	V	V	II
<i>Soldanella pusilla</i>	II	III	III	V
<i>Dicranum elongatum</i>	II	IV	III	III
<i>Barbilophozia floerkei</i>	II	III	IV	III
<i>Homogyne alpina</i>	I	IV	III	II
<i>Phyteuma hemisphaericum</i>	III	II	III	II
<i>Polytrichum sp. *</i>	III	I	II	I
<i>Euphrasia minima</i>	I	I	III	II
<i>Cetraria ericetorum</i>	II	I	II	I
<i>Leucanthemopsis alpina</i>	I	II	II	I
<i>Salix herbacea</i>	I	I	II	I
<i>Avenella flexuosa</i>	I	II	I	I
<i>Agrostis rupestris</i>	I	I	I	I
<i>Campanula barbata</i>	I	I	I	I
<i>Juncus jacquinii</i>	I	I	I	I
<i>Baeomyces rufus</i>	I	I	I	I
<i>Moerckia blyttii</i>	I	I	I	I
<i>Nardus stricta</i>	-	I	I	I
<i>Cladonia rangiferina</i>	-	I	I	I
<i>Lycopodium alpinum</i>	I	I	I	-
<i>Peltigera aphthosa</i>	-	I	I	-
<i>Diplophyllum taxifolium</i>	-	I	-	I
<i>Gnaphalium supinum</i>	-	-	I	I
Moos I **	-	-	I	I
<i>Pycnothelia papillaria</i>	I	-	I	-
<i>Alchemilla vulgaris</i> agg.	-	-	-	I
<i>Dicranum scoparium</i>	-	-	-	I
<i>Veronica alpina</i>	-	-	-	I
<i>Cladonia uncialis</i>	-	I	-	-
<i>Pulsatilla vernalis</i>	-	I	-	-
<i>Solorina crocea</i>	-	-	I	-

* *Polytrichum sp.* = *Polytrichastrum sexangulare* und *Polytrichum juniperinum*

** Moos I = *Drepanocladus uncinatus* und *Racomitrium ericoides*

Die *Oreochloa disticha*-Ausbildung charakterisiert einerseits den Großteil der Bultkuppen, andererseits repräsentiert sie auch den typischen alpinen Rasen auf gleicher Höhenlage. Als dominante und konstante Begleiter sind neben *Carex curvula* vor allem *Avenula versicolor*, *Cladonia arbuscula*, *Cetraria islandica*, *Agrostis rupestris*, *Leucanthemopsis alpina* und *Phyteuma hemisphaericum* zu nennen.

Die *Ligusticum mutellina*-Ausbildung ist in den Büldenböden vor allem im Bereich von Bultkante und -stirn (Abb. 3) vertreten. Diese Ausbildung stellt das Bindeglied zur *Luzula alpinopilosa*-Gesellschaft der Senken dar. Aufgrund der Arten *Ligusticum mutellina* und *Polytrichastrum sexangulare* sind floristische Ähnlichkeiten zum *Hygrocaricetum curvulae* Braun 1913 ersichtlich. Als typische Arten kommen *Salix herbacea*, *Leontodon helveticus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Gnaphalium supinum* und *Luzula alpinopilosa* vor.

Die Senken werden von einer *Luzula alpinopilosa*-Ausbildung charakterisiert, die eine Mischung aus Gräsern, Schneeboden- und *Caricetum curvulae*-Arten darstellt. Pflanzensoziologisch mischen sich hier verschiedenste Elemente, so z. B. die diagnostischen Arten des *Sieversio-Nardetum strictae* Lüdi 1948 (*Campanula barbata*, *Geum montanum*, *Agrostis capillaris*, *Leontodon helveticus* und *Nardus stricta*, *Agrostis rupestris*, *Festuca nigrescens*, *Potentilla aurea*) mit typischen Arten der Schneeböden (*Salicetea herbaceae* Br.-Bl. 1948: *Luzula alpinopilosa*, *Moerckia blyttii*, *Polytrichastrum sexangulare*, *Soldanella pusilla*, *Gnaphalium supinum*) und *Caricetum curvulae*-Arten (*Carex curvula*, *Leontodon helveticus*). Floristische Beziehungen ergeben sich zum *Nardo-Gnaphalietum supini* (Bartsch et Bartsch 1940) K. Müller 1948, den Bortgras-Schneerasen, die aus den Nord- und Zentralalpen bzw. den silikatischen Mittelgebirgen Deutschlands beschrieben wurden (ENGLISCH 1993). Eine relativ gute Übereinstimmung zeigt sich mit der von TEUFEL (1981) ausgewiesenen typischen Variante des *Luzuletum spadiceae* Brockm.-Jerosch 1907 aus der „Rundhöckerlandschaft des Hinteren Schafbichls“ (= Schafbühel, Weisssee/Rudolfshütte, Hohe Tauern). TEUFEL (1981) beschreibt diese Variante als Gesellschaft, die „zwischen Schneeböden und *Curvuleten* an Standorten mit längerer Schneebedeckung auftritt“

Der Gradient von den Kuppen zu den Senken im Bereich der Büldenböden wird im CCA-Diagramm entlang der ersten Ordinationsachse verdeutlicht (Abb. 5). Die einzelnen Umweltvariablen korrelieren unterschiedlich gut mit den Ordinationsachsen. Entlang der ersten DCA-Achse (Eigenwert 0,247) erfolgt die Auftrennung nach dem Mikrorelief: von der Kuppe zur Senke. Die zweite DCA-Achse (Eigenwert 0,174) korreliert am stärksten mit dem pH-Wert und der Neigung. Entlang dieser Achse wird die Abtrennung des alpinen Rasens (*Caricetum*) von den Bülden (Kuppe, Kante) deutlich.

4.2. Boden

Im Bereich der O-Bülden fiel eine pseudovergleyte Braunerde auf, die mit zunehmender Tiefe stärker werdende Marmorierungen im Verwitterungshorizont zeigte (Abb. 6). Im Bereich der W-Bülden wurde eine Podsolierung mit einzelnen Bleichlinsen und Sesquioxidanreicherungen verzeichnet (Semipodsol, Abb. 7). Die Böden der Senken wurden als Pseudogley angesprochen (Abb. 8). Der deutlich trockenere Boden des *Caricetum curvulae* zeigte das typische Profil eines Eisen-Humus-Podsols mit einem ausgeprägten B_h- und B_s-Horizont (Abb. 9).

Die pH-Werte der Aufnahmeflächen variieren zwischen 3,1 und 4,2. Sie sind damit nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1992) als sehr stark sauer bzw. stark sauer einzustufen. Mittlere pH-Werte von 3,7 bzw. 3,8 charakterisieren Bult und Senke. Im *Caricetum curvulae* herrschen deutlich saurere Verhältnisse bei einem durchschnittlichen pH-Wert von 3,3. Entlang des Mikroreliefs der W-Bülden und O-Bülden ist von der Kuppe zur Senke eine Zunahme des pH-Wertes von 3,5 und 3,7 (Kuppen) auf 3,8 und 3,9 (Senken) festzustellen (Abb. 10).

Die Bodenskelett- und Feinbodenanteile variieren vor allem zwischen Büldenböden und *Caricetum curvulae* (Abb. 11). Im Detail ist die Korngrößenverteilung in Tab. 3 dargestellt.

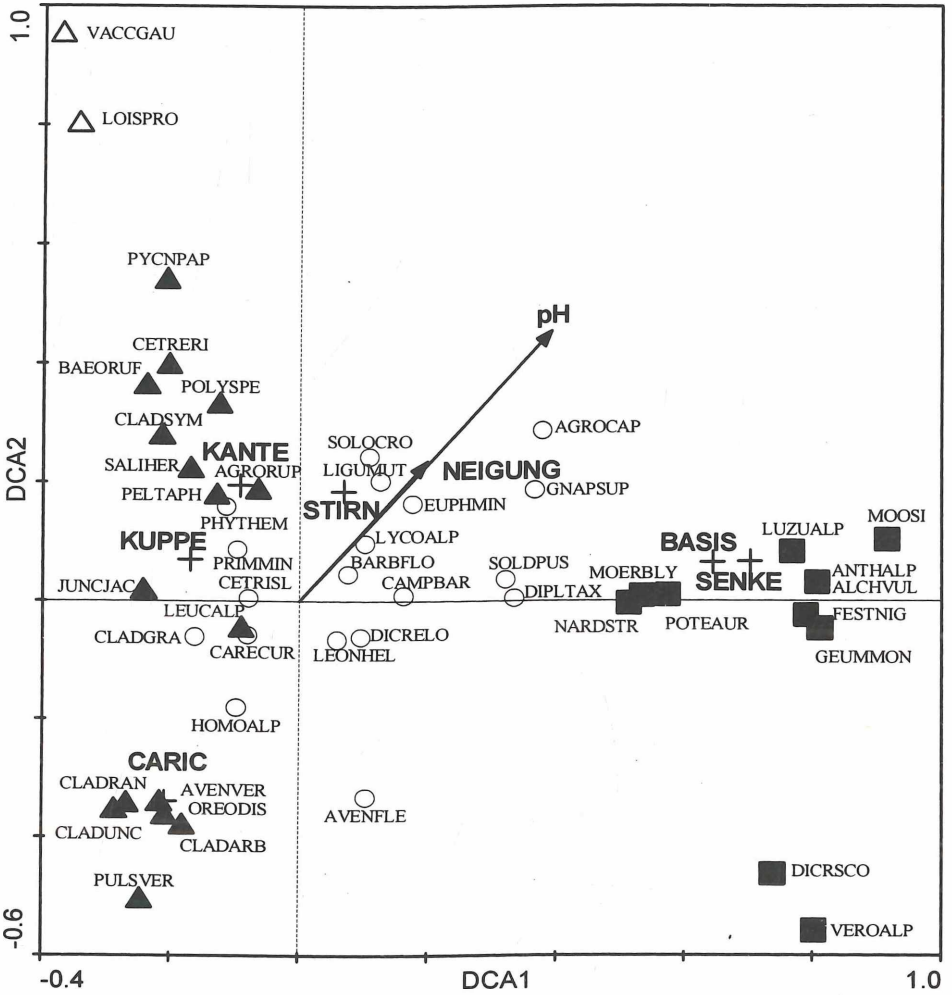


Abb. 5: Ordination (DCA Detrended Correspondence Analysis) der Vegetationsdaten. Dargestellt sind nur die signifikanten numerischen Daten, u. z. als Pfeile (pH: $p = 0,055$; Neigung: $p = 0,015$). Die nominalen Daten (= Zonen entlang des Gradienten Bult-Senke, s. Abb. 3, bzw. alpiner Rasen = CARIC) sind mit einem Kreuz gekennzeichnet. Arten, die in allen Aufnahmen vorkommen, werden durch einen Kreis verdeutlicht. Abkürzungen der Arten: die ersten vier Buchstaben des Gattungsnamens und die ersten drei des Artnamens. Schwarze Dreiecke: *Caricetum curvulae*, weiße Dreiecke: *Loiseleuria procumbens*-Ausbildung, schwarze Quadrate: *Luzula alpinopilosa*-Ausbildung.

Fig. 5: Ordination diagram (DCA Detrended Correspondence Analysis) of the vegetation. Only the significant numerical data are shown as arrows (pH: $p = 0.055$; inclination: $p = 0.015$). Nominal data (= zones along the gradient top - trough, see Fig. 3, and the alpine grassland = CARIC, respectively) are marked by a plus sign (+). Species occurring in all relevés are marked by a circle. Abbreviations of the species: the first four letters of the genera and the first three of the species names. Black triangles: *Caricetum curvulae*, white triangles: *Loiseleuria procumbens*-type, black quadrats: *Luzula alpinopilosa*-type.

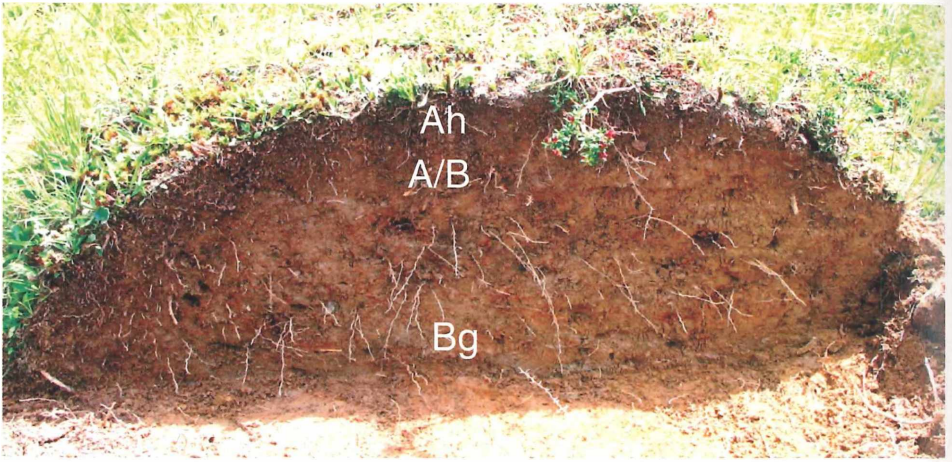


Abb. 6: Bodenprofil eines Bults des östlichen Büldenbodens (Durchmesser 75 cm, Höhe 25 cm): Braunerde mit Pseudovergleyung, A_h = 0–5 cm, Humushorizont; A/B = 5–8 cm, Übergangshorizont; B_g = Verwitterungshorizont mit Anzeichen von Pseudogley.

Fig. 6: Soil profile of a top of the easterly earth hummocks (diameter 75 cm, height 25 cm): 'pseudogleyic brown earth', A_h = 0–5 cm, mineral horizon with accumulation of organic matter; A/B = 5–8 cm, transitional horizon; B_g = weathering horizon with pseudogleyic properties.

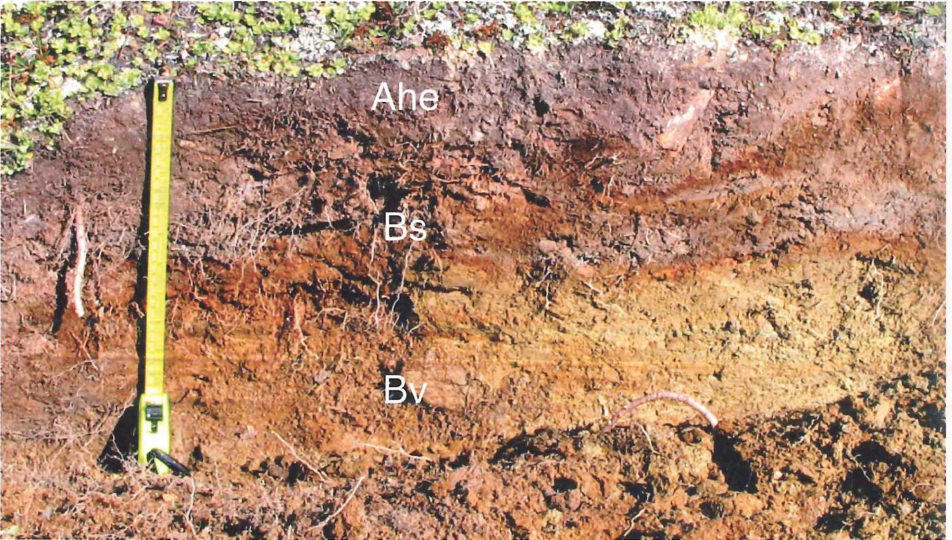


Abb. 7: Bodenprofil eines Bults der westlichen Büldenböden (Durchmesser 100 cm, Höhe 30 cm): Semipodsol, A_{he} = 0–5 cm, Humushorizont mit einzelnen Bleichlinsen; B_s = 5–20 cm, Verwitterungshorizont mit Sesquioxidanreicherung; B_v = 20–30 cm, brauner Verwitterungshorizont.

Fig. 7: Soil profile of a top of the westerly earth hummocks (diameter 100 cm, height 30 cm): 'semipodzol', A_{he} = 0–5 cm, humus horizon with single leached lenses; B_s = 5–20 cm, weathering horizon, accumulation of sesquioxides; B_v = 20–30 cm, brown weathering horizon.

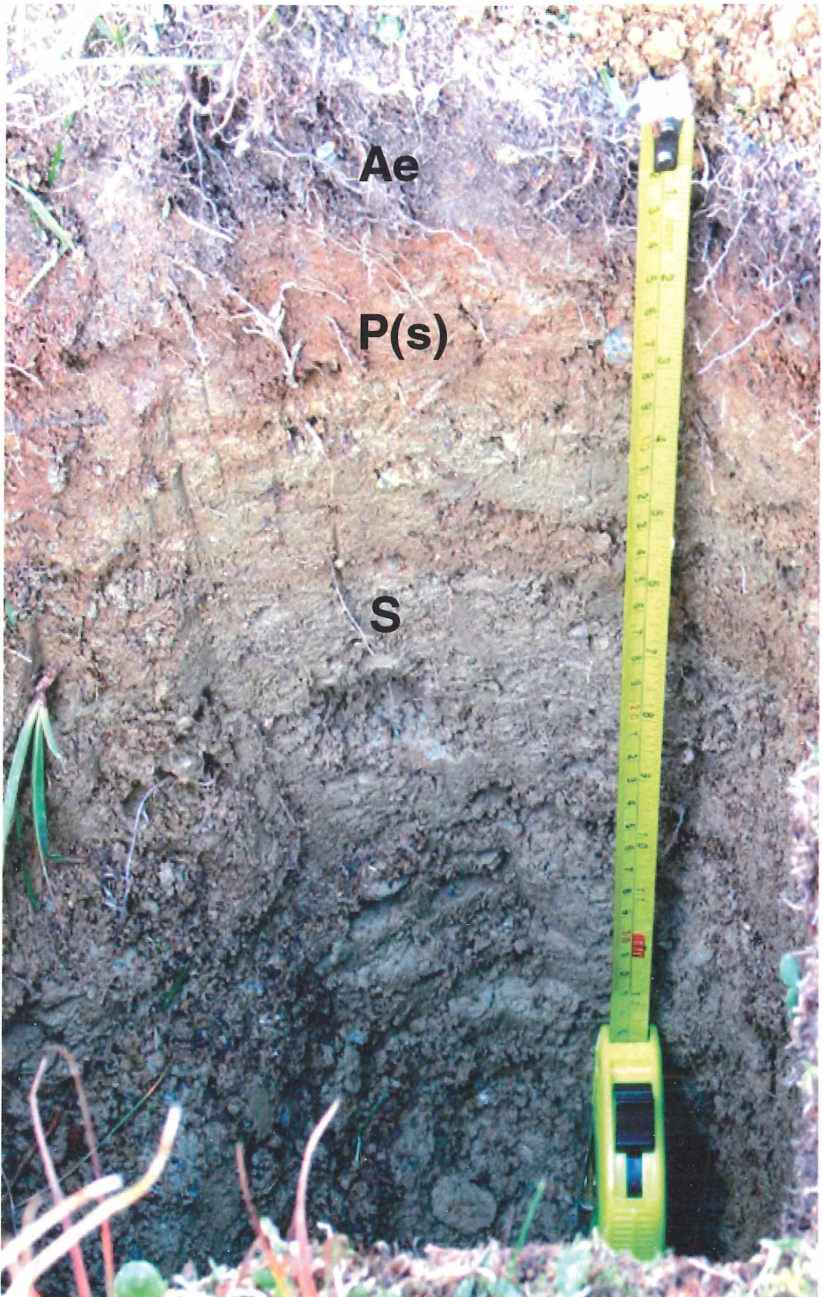


Abb. 8: Bodenprofil einer Senke der östlichen bzw. der westlichen Büldenböden: Pseudogley, $A_e = 0,5-5$ cm, gebleichter Humushorizont; $P_{(s)} = 5-15$ cm, braune Stauzone mit beginnender Sesquioxidanreicherung; $S = 15-25$ cm grauer grobkörniger Staukörper; $C_v = 25 - 40$ cm verwittertes Ausgangsgestein (im Bild nicht sichtbar).

Fig. 8: Soil profile of a trough of the easterly and westerly hummocks: 'pseudogley', $A_e = 0,5-5$ cm, leached humus horizon; $P_{(s)} = 5-15$ cm, brown slack water zone with beginning of sesquioxide accumulation; $S = 15-25$ cm greyish, coarse-sized slack water zone; $C_v = 25 - 40$ cm weathered parent material (not visible in the figure).

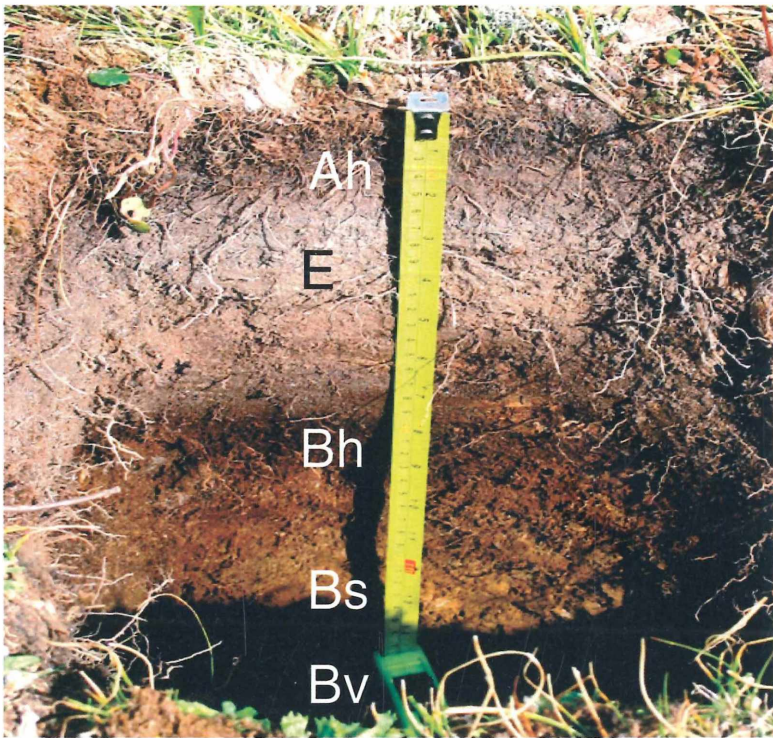


Abb. 9: Bodenprofil des alpinen Rasens (*Caricetum curvulae*): Eisen-Humus-Podsol, A_h = 2–5 cm, dunkler Humushorizont; E = 5–18 cm, fahl gefärbter Eluvialhorizont ohne sichtbaren Humus; B_h = 18–23 cm, Verwitterungshorizont mit Humusanreicherung; B_s = 23–26 cm, Verwitterungshorizont mit Sesquioxidanreicherung; B_v = 26–40 cm, hellbrauner Verwitterungshorizont.

Fig. 9: Soil profile of the alpine grassland (*Caricetum curvulae*): 'iron-humus-podzol', A_h = 2–5 cm, dark humus horizon; E = 5–18 cm, light coloured eluvial horizon without visible humus, B_h = 18–23 cm, with humus accumulation, B_s = 23–26 cm, sesquioxide accumulation, B_v = 26–40 cm, light brown weathering horizon.

Signifikante Unterschiede ergeben sich zwischen dem Boden des *Caricetum curvulae* (C) und den Bültenböden (O- und W-Bülten). Die O- und W-Bülten unterscheiden sich signifikant hinsichtlich Bodenskelett ($p < 0,001$), Sand- und Schlufffraktionen ($p < 0,05$). Zwischen den jeweiligen Bülten (B 1, 2) und Senken (S 1, 2) sind die Unterschiede größtenteils statistisch nicht signifikant, ebenso wenig innerhalb der Senken (Tab. 3). Wohl aber fällt bei den O-Bülten ein signifikanter Unterschied zwischen B 1 und S 1 hinsichtlich mittlerem Schluff- und Tonanteil auf ($p = 0,02$), während dies zwischen B 2 und S 2 der W-Bülten nicht der Fall ist.

4.3. Temperatur

Der Herbst 2003 war geprägt von einem sehr frühen Einschneitermin Anfang Oktober. Die isolierende Wirkung der Schneedecke verhinderte ein Durchfrieren des Bodens und führte so zu Bodentemperaturen knapp unter 0°C während des gesamten Winters (Abb. 12). Die mittleren Minima in 10 cm Bodentiefe lagen im Winter 2003/04 im *Caricetum curvulae* bei $-1,7^\circ\text{C}$, im Bult bei $-0,3^\circ\text{C}$. In der Senke blieb die Mitteltemperatur bis Februar über bzw. bei 0°C ; erst ab der zweiten Februarwoche 2004 sanken die Werte auf unter 0°C . Im Winter 2004/05 wurden im *Caricetum curvulae* mittlere Tagesminima von bis zu $-9,2^\circ\text{C}$ gemessen (Abb. 12, Tab. 4). Im Bereich der Bülten lagen die tiefsten Werte bei $-8,8^\circ\text{C}$. Die

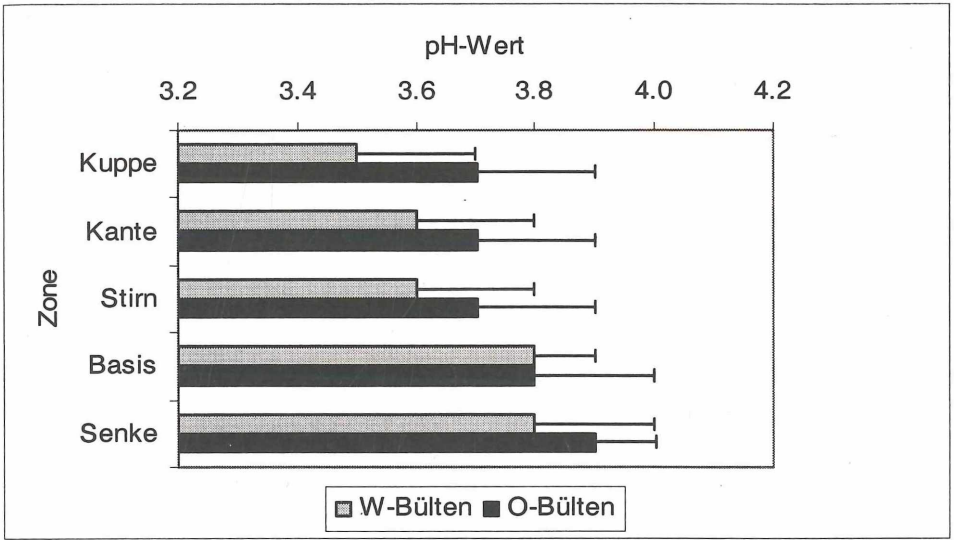


Abb. 10: Mittlere pH-Werte der einzelnen Zonen im Bereich der westexponierten (W-Bülten) und der ostexponierten Bültenböden (O-Bülten).

Fig. 10: Mean pH values of the individual zones along the westerly (W-Bülten) and easterly exposed (O-Bülten) earth hummocks.

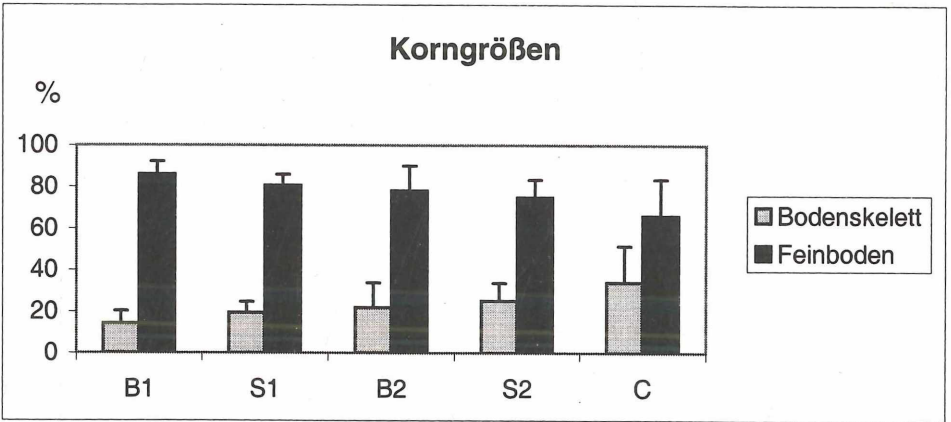


Abb. 11: Korngrößenverteilung (Bodenskelett = 2->256 mm Durchmesser bzw. Feinboden = >0,0039 – 2 mm Durchmesser) in den ostexponierten Bültenböden (B 1, S 1) und in den westexponierten Bültenböden (B 2, S 2) bzw. im alpinen Rasen (C = *Caricetum curvulae*).

Fig. 11: Grain size distribution (skeletal = 2->256 mm particle size, fine texture = >0.0039 – 2 mm particle size) of the easterly exposed earth hummocks (B 1, S 1), the westerly exposed ones (B 2, S 2), and the alpine grassland (C = *Caricetum curvulae*).

Tabelle 3: Ergebnis der Korngrößenbestimmung der Proben aus dem ostexponierten Bültenboden (B 1 = Bult 1, S 1 = Senke 1), aus dem westexponierten Bültenboden (B 2 = Bult 2, S 2 = Senke 2) und aus dem alpinen Rasen (C = *Caricetum curvulae*). Statistisch signifikante Unterschiede (p) zwischen Bültenböden (B1, B 2, S 1, S 2) und alpinem Rasen (C), zwischen den einzelnen Bülten (B 1 vs. B 2), zwischen Bult 1 und Senke 1 (B 1 vs. S 1), zwischen Bult 2 und Senke 2 (B 2 vs. S 2) und zwischen den beiden Senken (S 1 vs. S 2) sind angegeben (fett = signifikante Unterschiede).

Table 3: Results of the grain size analysis of the samples from the easterly exposed earth hummocks (B 1 = top, S 1 = trough), from the westerly exposed earth hummocks (B 2 = top, S 2 = trough), and from the alpine grassland (C = *Caricetum curvulae*). Statistically significant differences (p) between earth hummocks (B1, B 2, S 1, S 2) and alpine grassland (C), between the tops (B 1 vs. B 2), between top 1 and trough 1 (B 1 vs. S 1), between top 2 and trough 2 (B 2 vs. S 2), and between the two troughs (S 1 vs. S 2) are shown (bold = significant differences).

Probe	Boden- skelett			Sand			Schluff		Ton	
	sehr grob	grob	mittel	fein	sehr fein	grob	mittel	fein		
B 1	14,11	5,60	6,94	1,17	1,02	5,30	20,04	12,11	33,54	13,79
S 1	19,37	6,26	5,91	0,88	0,80	4,10	17,96	8,76	30,12	16,01
B 2	21,87	7,00	6,13	0,66	0,60	3,37	17,76	8,53	30,00	14,68
S 2	25,14	7,29	6,48	0,49	0,54	2,94	17,74	7,54	28,53	14,24
C	33,99	9,86	9,66	1,04	0,82	4,42	25,81	8,31	18,88	8,58
p BS/C	0,06	<0,001	<0,001	0,51	0,86	0,71	<0,001	0,24	0,001	0,002
p B1/B2	<0,001	0,008	0,28	0,04	0,04	0,001	0,10	<0,001	0,001	0,15
p B1/S1	0,16	0,24	0,41	0,46	0,54	0,22	0,37	0,02	0,10	0,02
p B2/S2	0,29	0,73	0,54	0,28	0,31	0,39	0,99	0,43	0,39	0,70
p S1/S2	0,39	0,23	0,46	0,16	0,31	0,3	0,92	0,57	0,65	0,33

Temperaturen in der Senke zeigten dagegen nur geringe Unterschiede zum Vorwinter und blieben bei $-1,1$ °C bzw. knapp darunter.

In 50 cm Bodentiefe konnten im Sommer geringere Temperaturschwankungen, im Herbst ein langsamerer Temperaturrückgang und im Frühjahr ein späteres Auftauen des Bodens beobachtet werden. Im Bult sank die Tagesmitteltemperatur in 50 cm Tiefe erst ab März 2004 unter 0 °C und erreichte die tiefsten Werte von $-0,2$ °C im Mai und Juni 2004. In der Senke gab es mittlere Tagestemperaturen von $-0,1$ °C bis $-0,2$ °C von April bis Juni 2004 (Abb. 12). Die Tagesmittel sanken im Bult in 50 cm Bodentiefe bereits im November 2004 wieder unter 0 °C und ab Dezember lagen sie zwischen $-0,5$ und $-2,0$ °C. Tagesminima von $-2,3$ °C (W-Bülten) und $-1,7$ °C (O-Bülten) wurden gemessen (Tab. 4). In der Senke sanken die Mittelwerte erst ab Jänner 2005 leicht unter 0 °C ($-0,2$ °C). Die Tagesminima beliefen sich hier auf $-0,5$ °C in den O-Senken bzw. $0,1$ °C in den W-Senken.

Die Auftauphase des Bodens begann 2004 am 17. Juni im Bult, 7 bis 10 Tage später im Bereich der Senke und im *Caricetum curvulae* (Abb. 12). 2005 setzte die Schmelzperiode in allen Bereichen beinahe zeitgleich Anfang Juni ein (Abb. 12).

Betrachtet man ausschließlich die Monate mit Frostereignissen (= Oktober bis Juni 2003 bzw. 2004), ergeben sich für beide Bodentiefen in beiden Jahren höchstsignifikante Unterschiede zwischen Bülten und *Caricetum curvulae* ($p < 0,001$). Zwischen Bult und Senke sind 2003 keine signifikanten Unterschiede festzustellen, wohl aber 2004 ($p < 0,001$). Generell fällt auf, dass die W-Bülten im Vergleich zu den O-Bülten im Winter tiefere Temperaturen aufwiesen, im Frühjahr, vor allem 2004, später ausaperten und im Frühsommer sich weniger schnell erwärmten.

5. Diskussion

Bultkuppe und Senke der Bültenböden unterscheiden sich sehr klar hinsichtlich Bodentyp, -temperatur und Vegetation. Hinsichtlich Körnung sind die Unterschiede allerdings nicht (W-Bülten) oder kaum signifikant (O-Bülten). Entscheidend sind der Temperaturverlauf im Herbst und die daraus resultierende Schneebedeckung. Während der frühe Ein-

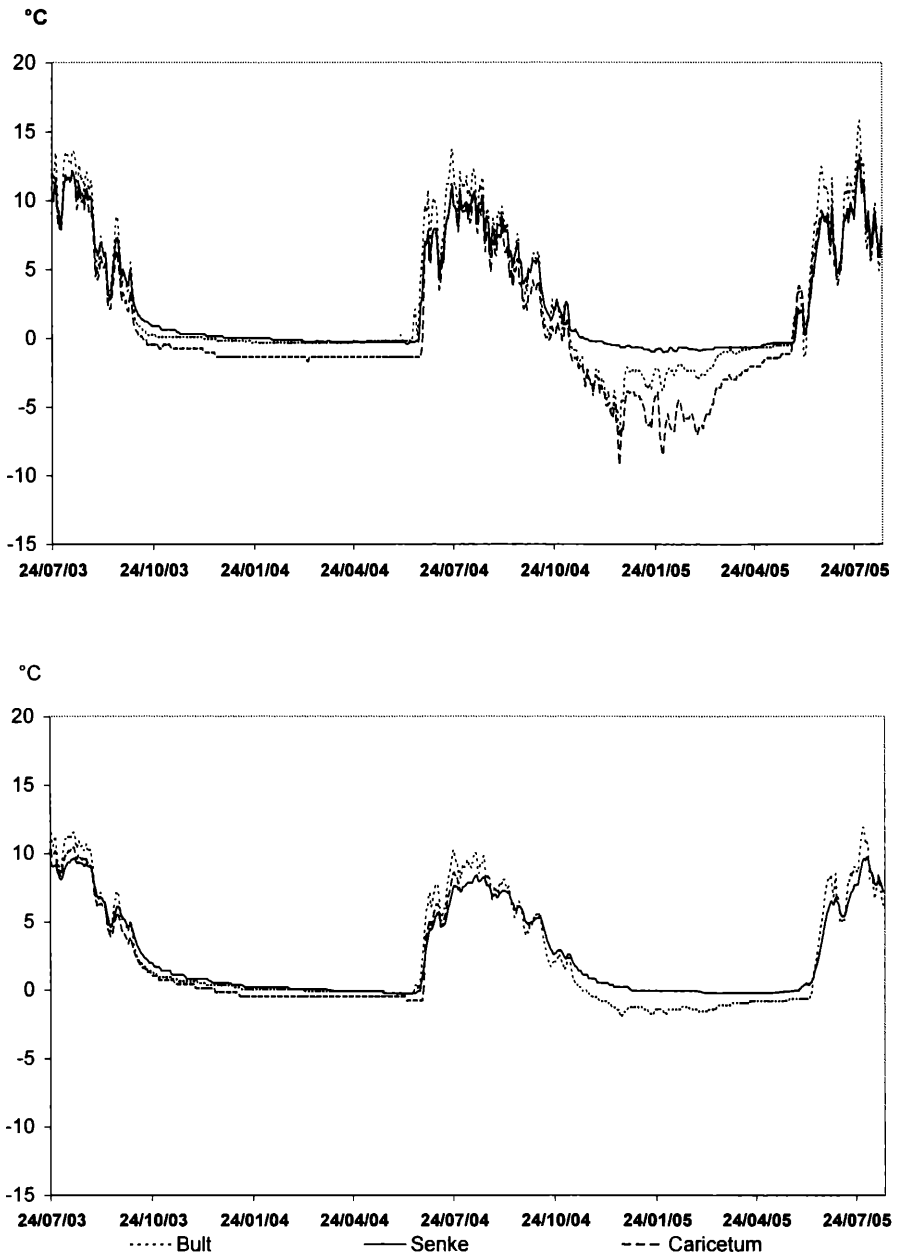


Abb. 12: Mittlere Tagestemperaturen im Bult (B1 und B 2 gemittelt), in der Senke (S 1 und S 2 gemittelt) und im alpinen Rasen (C = *Caricetum curvulae*) in 10 cm Bodentiefe (oberes Diagramm) und in 50 cm Bodentiefe (unteres Diagramm). Für das *Caricetum curvulae* fehlen die Temperaturdaten in 50 cm Bodentiefe ab Sommer 2004.

Fig. 12: Mean daily temperatures of the top (means of B 1 and B 2), the trough (means of S 1 and S 2), and the alpine grassland (C = *Caricetum curvulae*) at a soil depth of 10 cm (upper diagram) and 50 cm (lower diagram). No values are available for the 50 cm soil depth in the *Caricetum curvulae* from summer 2004 onwards.

Tabelle 4: Absolute mittlere Tagesminima (°C) im Winter 2004–2005 für die einzelnen Messpunkte in 10 bzw. 50 cm Bodentiefe. f = fehlende Werte.

Table 4: Absolute mean daily minima (°C) in winter 2004–2005 on the individual sites in 10 and 50 cm soil depth. f = missing values.

Tagesminima	10 cm	50 cm
	Bodentiefe	
Caricetum	-9,8	f
W-Bult	-8,8	-2,3
W-Senke	-1,1	0,1
O-Bult	-6,8	-1,7
O-Senke	-1,1	-0,5

schneitermin 2003 zu ähnlichen Temperaturen in Bult und Senke führte und Bodenfrost verhinderte, ergab die kalt-trockene Witterung im Winter 2004/2005 eine intensive Frostdynamik mit starkem Durchfrieren des Bodens im Bultbereich (Tagesminimum -8,8 °C in 10 cm Bodentiefe). Die Senken blieben mehr oder weniger frostfrei. Studien in Büldenböden der Südhemisphäre ergaben ebenfalls, dass die Bulte durchfrieren, während in den Senken den ganzen Winter über keine Frosteinwirkung zu verzeichnen ist (MARK 1994, GRAB 1997 und 1998 in GRAB 2005).

Die Hügelform der Bulte wird traditionell als Materialanhebung (Frosthub) interpretiert, die infolge des hygrostatischen oder kryostatischen Drucks zustande kommt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1992, MÜCKENHAUSEN 1993, GRAB 2005). MACKAY (1979, 1980 in FRENCH 1996) erklärt die Bildung von Bulden in Permafrostregionen als Frieren und Tauen von Eislinsen an der Kuppe und an der Basis der aktiven Bodenschicht. Induziert durch die Schwerkraft wird eine zellförmige Bewegung hervorgerufen. Das Modell des Autors umfasst folgende Vorgänge: an der Basis und an der Kuppe des Bulds kommt es während der Gefrierphase durch die Entstehung von Bodeneis zu Hebungprozessen, während im Bult-Kern auf Grund des Wasserverlustes Kontraktionsprozesse einsetzen. Das Ausschmelzen des Bodeneises während der Auftauphase führt zur Setzung an der Basis und an der Kuppe und zur Ausdehnung des Kerns durch Wasseraufnahme (MACKAY 1980 in FRENCH 1996). JAEESCHE (1999) stellte fest, dass zeitgleich mit dem Auftreten von Bodenfrost die Flüssigwassergehalte in Solifluktuationsloben sinken und Frosthub auftritt, welcher über den gesamten Winter nahezu kontinuierlich anhalten und sogar bei geringer Frosttiefe Werte von bis zu 5 cm pro Saison erreichen kann. Im Frühjahr kann das in den Boden infiltrierende Schmelzwasser den Frosthub kurzfristig sogar intensivieren (JAEESCHE 1999).

Insgesamt betrachtet, ist das Büldenphänomen auf den Wechsel von Gefrier- und Tauprozessen zurückzuführen, der im Detail noch nicht vollständig geklärt werden konnte. Hohe Feinkörnigkeit ist neben saisonalem Frost und entsprechender Feuchtigkeit auf jeden Fall die Voraussetzung für die Bildung der Erdhügel (FRENCH 1996, DAVIS 2001). Permafrost ist jedoch nicht Voraussetzung. Dem schluffigen Substrat, wie es in den untersuchten Büldenböden vorherrscht, wird eine hohe Wasserleitfähigkeit und -kapazität zugeschrieben und dies begünstigt im Winter die Bildung von Eislinsen und -schichten (STINGL 1969, MÜCKENHAUSEN 1993). Vergleichbare Aussagen wurden für Permafrostböden in Alaska getroffen (KADE et al. 2005); auch dort sind die Frosthubstellen durch höheren Tongehalt und feinkörnigeres Material gekennzeichnet.

Es ist sicherlich nicht richtig, die Büldenbildung auf rein anthropo-zoogene Störungen wie Viehtritt oder Trittschäden durch Wanderer oder Schifahrer zurückzuführen. Ältere Arbeiten betonen allerdings, dass das Büldenphänomen durch Viehtritt entscheidend verstärkt wird (HÖLLERMANN 1967, STINGL 1969, LÖTSCHERT 1969). Ähnliches wird auch z. B. für Solifluktionen angenommen (VEIT 2002). In Island entstehen Bülden auf beweideten Flächen innerhalb von 1 – 2 Jahrzehnten (FRENCH 1996, DAVIS 2001), im Alpenraum ist der Bildungszeitraum unbekannt. Von der Entstehung her ähnlich gelagerte Geländeformen sind die Buckelwiesen im Alpenvorland (z. B. bei Mittenwald), die vermutlich durch Kryoturba-

tion und Solifluktion im ausklingenden Spätglazial oder im frühen Postglazial gebildet wurden (GUTSER & KUHN 1998).

Die Bultkuppen entsprechen pflanzensoziologisch durchaus den alpinen Rasen ohne periglaziales Mikorelief, d. h. einem typischen *Caricetum curvulae* (GRABHERR 1993). Die Senken heben sich allerdings deutlich ab: Schneebodenarten und verschiedene, eher subalpin verbreitete Gräser kommen hier zur Ausbildung, d. h. Zeigerarten für eine günstigere Wasserversorgung. Dies dürfte nicht zuletzt auf das unterschiedliche Ausaperungsmuster im Frühjahr zurückzuführen sein. Während die Bultkuppen bereits freigeapert sind, können die Senken noch bis zu 7 Tage länger vollkommen mit Schnee bedeckt sein. Die Senken unterliegen einem Stauwassereinfluss, wie der Pseudogley deutlich anzeigt. Frosthebung fehlt in den Senken, weil hier Bodenfrostphänomene kaum wirksam werden (s. Temperaturmessungen der vorliegenden Untersuchung). Das Ausaperungsmuster wird im alpinen Gelände zudem von der Umverteilung des Schnees durch den Wind sowie durch Neigung, Exposition und Abschattung beeinflusst. Diese Faktoren dürften für die Unterschiede zwischen den O- und W-Bülten hinsichtlich Bodentyp und Bodentextur verantwortlich sein.

Die pflanzensoziologische Zuordnung der Vegetation in den Senken ist problematisch, da es sich weder um einen eindeutigen Schneeboden noch um ein *Caricetum curvulae* i.e.S. oder um einen langhalmigen Rasenbestand der subalpinen Stufe handelt. Die vorläufige, ranglose Bezeichnung als *Luzula alpinopilosa*-Ausbildung unterstreicht den Schneebodencharakter, der auch durch die Temperaturmessungen belegt wird. Eine alpenweite Charakterisierung der Bültenböden unter Berücksichtigung der Aufnahme- und Auswertekriterien für Vegetationskomplexe (DIERSCHKE 1994) erscheint empfehlenswert.

Signifikante Unterschiede zwischen den Bültenböden und dem angrenzenden alpinen Rasen ohne Mikorelief wurden vor allem hinsichtlich Bodenart festgestellt. Der höhere Skelett- und Sandanteil im *Caricetum curvulae* begünstigt Auswaschvorgänge im Boden und trägt so zu einer stärkeren Versauerung bei. In diesem sauren Milieu, wo es zur Verlagerung der „Sesquioxide und niedermolekularen Huminstoffe“ in den Unterboden kommt (NESTROY et al. 2000), entsteht dann ein Eisen-Humus-Podsol. Die deutlich tieferen Temperaturen im Winter ($-9,2$ °C in 10 cm Tiefe) dürften mit der Nordwest-Exposition der Fläche und dem Einfluss des Windes in Verbindung stehen. Schlussendlich wird im Bereich des *Caricetum curvulae* aber eine wesentliche Bedingung für die Ausbildung von Bülten nicht erfüllt, nämlich ein ausreichend feinkörniges Material und damit zusammenhängend eine entsprechend hohe Feuchtigkeitsretention. Vegetationsunterschiede ergaben sich vor allem zwischen den Senken und dem alpinen Rasen, während Bultkuppe und Rasen artenmäßig sehr gut übereinstimmen.

Die Bodentypen des Untersuchungsgebietes lassen sich sehr gut mit jenen im Umkreis der Glorer Hütte vergleichen (VEIT 1988, 2002). Der Autor nimmt für die Bildung der Podsole in den Hohen Tauern den Zeitraum des früh- bis mittelholozänen Klimaoptimums an. Diese Böden sind mindestens seit der jüngeren Dryaszeit (d. h. seit ca. 11.000 Jahren) eisfrei und in klimatisch günstigen Zeiten wie dem Rotmoosstadium vor 5.000 – 6.000 Jahren gebildet worden. Die Bildung der Braunerdeböden in den Hohen Tauern fällt laut VEIT (1988, 2002) in den Zeitraum von 3.000 – 2.000 vor heute. Den Bülten in arktischen Permafrostgebieten wird ein Alter von 2.500 bis 5.000 Jahren zugeschrieben (DAVIS 2001). Palynologische Rekonstruktionen der Vegetationsgeschichte im Bereich des Peischlachtörls wären von höchstem Interesse, um das Bildungsalter der Bülten beurteilen zu können. Daher wäre eine Beprobung des dortigen Moores und eine entsprechende Pollenanalyse wünschenswert.

Danksagung

Dem Österreichischen Alpenverein (OeAV-Patenschaftsfonds Nationalpark Hohe Tauern), insbesondere Herrn Mag. Peter Hasslacher, sind wir zu Dank verpflichtet für die finanzielle Unterstützung der Diplomarbeit von Carmen Hasslacher-Keuschnig. Herr Dr. Richard Tessadri führte die Korngrößenbestimmung mit Hilfe des Laser-Korngrößenanalysators durch, Frau Mag. Dagmar Rubatscher

bestimmte die Bodentypen, Herr Mag. Wolfgang Hofbauer die kritischen Moose. Bei allen dreien möchten wir uns herzlichst bedanken. Für die konstruktiven Vorschläge zum Manuskript möchten wir uns bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Hartmut Dierschke und bei zwei anonymen GutachterInnen bedanken.

Literatur

- ADLER, W., OSWALD, K. & FISCHER, R. (1994): Exkursionsflora von Österreich. – Ulmer, Stuttgart.
- BUCHENAUER, H.W. (1990): Gletscher- und Blockgletschergeschichte der westlichen Schobergruppe (Osttirol). – Marburger Geograph. Schriften 117.
- DAVIS, N. (2001): Permafrost. A Guide to Frozen Ground in Transition. – University of Alaska Press, Fairbanks.
- DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie. – Ulmer, Stuttgart.
- ENGLISCH, T. (1993): Salicetea herbaceae. – In: GRABHERR, G. & MUCINA, L. (Hrsg.): Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil II: Natürliche waldfreie Vegetation. Fischer, Jena: 382–401.
- FREY, W., FRAHM, J.-P., FISCHER, E. & LOBIN, W. (1995): Kleine Kryptogamenflora. Bd. IV. Die Moos- und Farnpflanzen Europas. 6. Aufl. – Fischer, Stuttgart.
- FRENCH, H.M. (1996): The Periglacial Environment. 2nd Ed. – Longman, Edinburgh.
- GRAB, S.W. (2005): Earth hummocks (thüfur): new insights to their thermal characteristics and development in eastern Lesotho, southern Africa. – Earth Surf. Process. Landforms 30: 541–555.
- GRABHERR, G. (1993): *Caricetea curvulae*. – In: GRABHERR, G. & MUCINA, L. (Hrsg.): Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil II: Natürliche waldfreie Vegetation. Fischer, Jena: 343–372.
- GUTSER, D. & KUHN, J. (1998): Die Buckelwiese bei Mittenwald: Geschichte, Zustand, Erhaltung. – Verein zum Schutz der Bergwelt e.V. München: 185–214.
- HILL, M.O. (1979): TWINSpan – a FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of individuals and attributes. – Cornell University, Ithaca.
- HÖLLERMANN, P.W. (1967): Zur Verbreitung rezenter periglazialer Kleinformen in den Pyrenäen und Ostalpen (mit Ergänzungen aus dem Apennin und dem Französischen Zentralplateau). – Göttinger Geogr. Abh. 40.
- JAESCHE, P. (1999): Bodenfrost und Solifluktdynamik in einem alpinen Periglazialgebiet (Hohe Tauern, Osttirol). – Bayreuther Geowiss. Arbeiten 20.
- KADE, A., WALKER, D.A. & RAYNOLDS, M.K. (2005): Plant communities and soils in cryoturbated tundra along a bioclimate gradient in the Low Arctic, Alaska. – Phytocoenologia 35: 761–1018.
- KEUSCHNIG, C.M. (2005): Bodenstruktur und Vegetation der Büthenböden am Peischlachtlörl (Nationalpark Hohe Tauern). – Diplomarbeit Univ. Innsbruck.
- LÖTSCHERT, (1969): Pflanzen an Grenzstandorten. – Fischer Verlag, Stuttgart.
- MARK, A.F. (1994): Patterned ground activity in a southern New Zealand high-alpine cushion field. – Arctic and Alp. Res. 26: 270–280.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1993): Die Bodenkunde und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. – DLG-Verlag, Frankfurt.
- NESTROY, O., DANNEBERG, O.H., ENGLISCH, M., GESSL, A., HAGER, H., HERZBERGER, E., KILIAN, W., NELHIEBEL, P., PECINA, E., PEHAMBERGER, A., SSSCHNEIDER, W. & WAGNER, J. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs. Österreichische Bodensystematik. – Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges. 60, Wien.
- RESTLE, V. (1995): Einfluss der Solifluktion auf Vorkommen und Wuchs alpiner Pflanzenarten in den östlichen Zentralalpen. – Diplomarbeit Univ. Bayreuth.
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch für Bodenkunde. 9. Aufl. – Enke, Stuttgart.
- STINGL, H. (1969): Ein periglazialmorphologisches Nord-Süd-Profil durch die Ostalpen. – Göttinger Geogr. Abh. 49.
- TEUFEL, J. (1981): Vegetationsgliederung in der Umgebung der Rudolfshütte und des Ödenwinkelkees-Vorfeldes. – Diss. Univ. Salzburg.
- TER BRAAK, C.J.F. & ŠMILAUER, P. (1998): Canoco Reference Manual and User's Guide for Windows. Software For Community Ordination. – Centre for Biometry, Wageningen.
- TOLLMANN, A. (1977): Geologie von Österreich. Bd. I: Die Zentralalpen. – F. Deuticke, Wien.
- ULLRICH, A. (1995): Kleinräumige Vegetationsdifferenzierung auf Solifluktdynamikstandorten der südlichen Glocknergruppe, Hohe Tauern, Österreich. – Diplomarbeit Univ. Bayreuth.
- VEIT, H. (1988): Fluviale und solifluidale Morphodynamik des Spät- und Postglazials in einem zentralalpinen Flusseinzugsgebiet (südliche Hohe Tauern, Osttirol). – Bayreuther Geowiss. Arbeiten 13: 1–167.

- (1989): Geoökologische Veränderungen in der periglazialen Höhenstufe der südlichen Hohen Tauern und ihre Auswirkungen auf die postglaziale fluviale Talbodenentwicklung. – Bayreuther Geowiss. Arbeiten 14: 59–66.
- (2002): Die Alpen – Geoökologie und Landschaftsentwicklung. – Ulmer, Stuttgart.
- & HÖFNER, T. (1993): Permafrost, gelifluction and fluvial transfer in the alpine/subnival ecotone, Central Alps, Austria: Present, past and future. – Z. Geomorph. N.F., Supp.-Bd. 92: 71–84.
- STINGL, H., EMMERICH, K.H. & JOHN, B. (1995): Zeitliche und räumliche Variabilität solifluidaler Prozesse und ihre Ursachen. Eine Zwischenbilanz nach acht Jahren Solifluktionmessungen (1985–1993) an der Messstation „Glorer Hütte“, Hohe Tauern, Österreich. – Z. Geomorph. N.F., Supp.-Bd. 99: 107–122.
- WIRTH, V. (1995): Flechtenflora. Bestimmung und ökologische Kennzeichnung der Flechten Südwestdeutschlands und angrenzender Gebiete. 2. Aufl.– Ulmer, Stuttgart.

Mag. Carmen Keuschnig¹,
 Ao.Univ.-Prof. Dr. Karl Krainer² & Ao.Univ.-Prof. Brigitta Erschbamer^{3*}
¹ Pfaffenberg 1, A-9821 Obervellach
² Institut für Geologie und Paläontologie, LFU Innsbruck
^{3*} korrespondierende Autorin:
 Institut für Botanik, LFU Innsbruck, Sternwartestr. 15, A-6020 Innsbruck
 E-mail: Brigitta.Erschbamer@uibk.ac.at

Eingang des Manuskriptes am 30.09.2006, endgültig angenommen am 02.12.2006.