



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

**„Schädigungsausmaß an ausgewählten
Polsterpflanzenpopulationen auf klimatisch
kontrastierenden Standorten am Schrankogel in Tirol“**

Verfasserin

Reingard Prohaska

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 444

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Ökologie (Stzw) UniStG

Betreuer:

Prof. Dr. Georg Grabherr

Inhaltsverzeichnis

1. Abstract	2
2. Einleitung.....	5
3. Arbeitsgebiet und Artbeschreibung	8
3.1 Arbeitsgebiet	8
3.1.1 Geographische Lage.....	8
3.1.2 Wegbeschreibung zum Arbeitsgebiet und genaue Lokalisation.....	10
3.1.3 Beschreibung der untersuchten Flächen	11
3.1.4 Geologie	12
3.1.5 Klima.....	13
3.2. Habitat- und Artbeschreibung.....	19
3.2.1 Allgemeines über Polsterpflanzen.....	19
3.2.2 <i>Saxifraga bryoides</i> L.	21
3.2.3 <i>Silene acaulis</i> (L.) Jacq. subsp. <i>exscapa</i> (All.) Braun-Blanq.	23
3.2.4 <i>Minuartia sedoides</i> (L.) Hiern	25
4. Material & Methoden	27
4.1 Sampling design.....	27
4.2 Datenerhebung.....	29
4.2.1 Temperaturerhebung	30
4.2.2 Polstererhebung.....	32
4.2.3 Vegetationsaufnahme	34
4.3 Datenverarbeitung und -auswertung	36
4.3.1 Temperaturdaten	36
4.3.2 Polsterdaten.....	37
4.3.3 Vegetationsdaten	37
4.4 Statistik.....	38
5. Ergebnisse.....	39
5.1. Übersicht über die Verteilung der Polster	39
5.2. Analyse der Beschädigung.....	40
5.2.1 Verteilung der Polster je Beschädigungsklasse	40
5.2.2 Vergleich der Arten in den Beschädigungsklassen	42
5.2.3 Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe	43
5.3 Größenklassenverteilung.....	47
5.4 Abhängigkeit der Beschädigung von Polstergröße und Exposition	49
5.5 Temperatur-Auswertung.....	54
5.5.a) Tagesverlauf der Temperatur	54
5.5.b) Temperatur-Monatsübersicht.....	56
5.5.c) Temperatur-Jahresübersicht	58
5.6 Vegetationsanalyse	60
5.6.2 Vegetationsanalyse der Aufnahmen der südexponierten Flächen	61
5.6.3 Vegetationsanalyse der Aufnahmen der nordexponierten Flächen.....	62
6. Diskussion.....	64
7. Zusammenfassung	76
8. Literaturverzeichnis	80
Anhang.....	85
Abbildungsverzeichnis.....	85
Tabellenverzeichnis.....	87
Lebenslauf.....	88
Danksagung	89

1. Abstract

Diverging climate change projections show potential species losses of around 60% of the alpine flora in some European mountain regions within this century (THUILLER et al., 2005 in GRABHERR et al., 2008). As climatic parameters have an impact on plant physiology and plant productivity plants will possibly respond sensitively to climate warming (KLÖTZLI et al., 2010). The alpine flora in particular can act as a good indicator for the impacts of climate change on plant diversity (GRABHERR et al., 2007). Due to their special growth cushion plants have special characteristics to collect warmth and are therefore suitable to study plant responses to climate change (GRABHERR, 1997).

To know more about the implication of climate change on the vegetation and in particular on cushion plants it is important to study their physiological adaptability and sensitivity. This study aims to deepen the already established knowledge of plant response and sensitivity on different climatic conditions.

Distribution, size and damage of three different cushion plants – *Silene exscapa* L., *Saxifraga bryoides* L. and *Minuartia sedoides* L. – were analyzed.

For this study a moraine (2600m.a.s.) on Mount Schrankogel in Tyrol was chosen as research site. Due to the two contrary slopes – north-slope and south-slope – and their different climatic conditions, the moraine is especially suitable for this study. For temperature measurements, five dataloggers on each slope were buried in 5-10cm soil depth. To assess plant response and sensitivity of the three different species, size and damage from each cushion found on the observation site was analyzed (Table 1).

All statistical analyses were performed with Chi-Quadrat-Test. Additionally the plant communities of each slope was analyzed. On the north-slope *Androsacion alpinae* was found (Fig.1). On the warmer south-slope a *Festuca halleri*–*Poa alpina*–Association (Dullinger, 1998) could be detected. On this slope the growth period lasts 70 days longer than on the north-slope. On the north-slope – with an estimated snow cover duration of 224 days – 70% of all analyzed cushion plants were recorded (Table 1). In particular *Saxifraga bryoides* (77%) und *Silene exscapa* cushion (78%) could be found on the colder north-slope.

The smallest cushions were rather found on the north-slope than on the south-slope. The sparsely populated north-slope seems to favour not only colonisation of cushion plants but also their rejuvenation. The biggest cushions could also be recorded on the northexposed site (Table 1). *S. bryoides* cushions in general seem to grow not as big as *S. exscapa* and *M. sedoides* cushions. But middle sized cushions of mainly *S. exscapa* were mostly found on the southexposed site.

The damage of all three species depends significantly on exposition ($p < 0,001$), but a clear difference exists between the analysed species. Contrary to *S. exscapa* and *M. Sedoides*, *S. bryoides* cushions are more often „undamaged“ on the northslope (Table 1). The nival species (Pauli et al., 2007) seems to be better adapted to the colder site with longer lasting snow cover.

80% of all analysed *S. exscapa* cushions from the southslope were found “undamaged”, on the northslope only 60% could be found “undamaged”. In the case of *M. sedoides* more cushions „undamaged“ or “with little damage” were found on the southslope than on the northslope.

The dimension of damage of *S. bryoides* and *M. sedoides* cushions depend very significantly on their size ($p < 0,001$). Little cushions were found less often damaged than big ones – on the northslope as well as on the southslope.

Only in the case of *Silene exscapa* no dependence of damage of size could be detected by chi-square-tests. Especially on southexposition a little p-value was calculated ($p=0.89$). *S. exscapa* cushions are possibly so well adapted to this site that even the big cushions showed little damage. Compared to *Minuartia sedoides* and *Saxifraga bryoides* this species seems to have the strongest preference for the southexposed site. To find reasons for the different degree of damage one must look at their different range of distribution. Especially between the nival species *S. bryoides* (PAULI et al., 1999) and the alpin-subnivale species (PAULI et al., 2007) *S. exscapa* and *M. sedoides* a big difference exists in their climatic adaptation resulting in their different distribution.

Another explanation could be the different growth. Compact cushions – like *S. exscapa* and *M. sedoides* – may improve their own climate in the cushion, so they can reduce their loss of heat during cold spells and bear frostevents better after early snowmelt on the southslope. On top of that compact cushions have an improved ability of waterstorage in their cushion and thus can bear dry periods easier and balance warmer temperature through higher transpiration cooling. But there also exists a higher risk of heat damage (BUCHNER et al., 2007).

Following Figure (Fig. 1) and Table (Table 1) summarize the most important results of this diploma thesis.

An increasing risk of temperatur-extremes initiated by global climate change is predicted (WAGNER, 1996 in BUCHNER et al., 2007).

Therefore, it would be required to deepen knowledge about sensitivity of plant species to summer frost events and heat damage.

Further research of climate induced plant-physiological reaction and changes in distribution of plants will be necessary and could potentially be tied to this research.

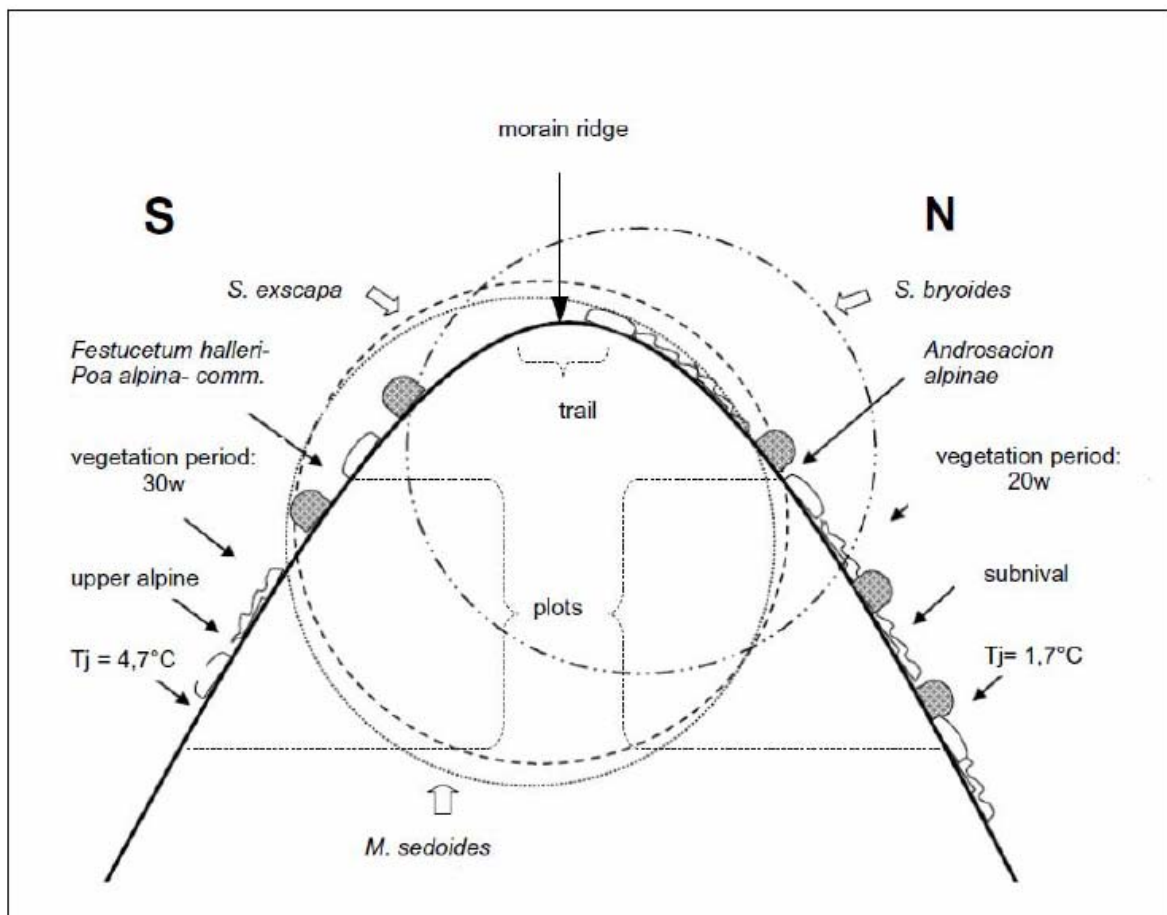


Fig. 1: Summary of the most important findings on north and south exposition: mean year temperatur (Ty), duration of vegetation period in weeks (w), plant community, site corresponding elevation and the species specific area of distribution (circles). The density of cushions on each exposition site is shown with cushion symbols.

= *Silene exscapa*,
 = *Minuartia sedoides*,
 = *Saxifraga bryoides*.

Table1: Summary of the cushion results: number of cushions per species and exposition, number of damaged cushions per species and exposition, number of big, medium and small cushions per species and exposition. <, <<, <<<...>, >>, >>>: very little - very many.

	S					N				
	n Individ.	n damaged cushion	cushion size			n Individ.	n damaged cushion	cushion size		
			big	medium	small			big	medium	small
<i>S. bryoides</i>	<<	>	<	>	<	>>	<	>	<	>
<i>S. exscapa</i>	<<	<<<	-	>>	<	>>	>>>	<	<<	>
<i>M. sedoides</i>	<	<<	<	>	<	>	>>	>	<	>

2. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurde dem Klimawandel und seiner Auswirkung auf die heimische Flora zunehmend Bedeutung beigemessen. Wissenschaftler prognostizieren mithilfe von Zukunftsmodellen Veränderungen der Temperatur und des Niederschlags in den Alpen. Bereits bis 2050 kann ein Temperaturanstieg im Sommer um 3°C und im Herbst, Winter und Frühling um 2°C erwartet werden (JONAS et al., 2008). Vor allem für die alpine und arktische Lebewelt werden Klimaveränderungen erhebliche Auswirkungen haben, da sich hier besonders viele sensible Naturräume befinden und die Erwärmung durch Rückkoppelungseffekte dort schneller verlaufen wird (GRABHERR et al., 2010a, BMU, 2007).

Für Österreich entwickelte Modelle zeigen, dass im Alpenbereich – verglichen mit dem österreichischen Durchschnitt – mit einer doppelt so hohen Erwärmung zu rechnen ist. Zudem wird das Risiko von Extremwetterereignissen zunehmen (GRABHERR et al., 2007 in BMU, 2007). Mit einer Erwärmung geht auch die Veränderung des Schneeregimes einher (GOTTFRIED et al., 2011). Je Grad Erwärmung wird ein Rückgang der Schneedauer um mehrere Wochen (auf 2000-2500m.ü.A. um rund 50-60 Tage) und eine Anhebung der Schneefallgrenze um ca. 150m erwartet (IPCC, 1997 in BMU, 2007; IPCC, 2007b in BMU, 2007 und BENISTON et al., 2003 in BMU, 2007).

Da klimatische Parameter die Physiologie und Produktivität von Arten beeinflussen, ist anzunehmen, dass klimasensitive Arten auf ein sich änderndes Klima reagieren. Auswirkungen der jüngsten Klimaänderung auf das Verhalten und die Verbreitung von Arten konnten bereits von einer Vielzahl von Studien beobachtet und dokumentiert werden. Dazu gehören z.B. Verschiebungen des Blühzeitpunkts, Veränderung der Konkurrenzkraft von Arten und damit Änderungen in der Verbreitung und in der relativen Häufigkeit von Arten, Veränderungen in der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften, Höhenverschiebung der Vegetationsgürtel und letztlich auch erhöhtes Artensterben (GRABHERR et al., 1994, NAGY, L. und GRABHERR, G. 2009, Pauli et al., 2007, KLÖTZLI et al., 2010).

Für die europäischen Hochgebirge wurde eine Aussterberate von bis zu 60% der alpinen Blütenpflanzen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts prognostiziert (THUILLER et al., 2005 in GRABHERR et al., 2008). Dies trifft vor allem in den niedrigeren Gebirgen, ohne Ausweichmöglichkeit für die höher wandernde Flora und Fauna zu. Um sichere Aussagen über ökologische Folgen treffen zu können ist das direkte Beobachten der Lebewelt eine wichtige Voraussetzung. Vor allem die alpine Flora gilt als guter Indikator für die ökologische Relevanz des Klimawandels (GRABHERR et al., 2007).

Präzise Langzeitbeobachtungen über das Reagieren natürlicher und naturnaher Ökosysteme gibt es kaum. Dabei bilden einige Hochalpengipfel in der Schweiz und Österreich die wenigen Ausnahmen. Der Schweizer Botaniker O. Heer bestieg bereits 1835 den Gipfel des Piz Linard und fand eine einzige Blütenpflanze, den Gletscherhahnenfuß (*Ranunculus glacialis*). 1947 war die Artenzahl auf 10 angestiegen (PAULI et al., 2003). Auch auf anderen Gipfeln wurde ein genereller Aufstiegstrend der Flora an der alpinen Kältengrenze höheren Pflanzenlebens festgestellt (GRABHERR et al., 1997). Dieses Höherwandern der Alpinvegetation geht einher mit einer Zunahme der globalen Oberflächentemperatur um 0,6°C im vergangenen Jahrhundert und einer zusätzlichen Steigerung in den letzten 2-3 Jahrzehnten (KLÖTZLI et al., 2010; GRABHERR et al., 2010b).

Mit der Gründung des Projekts GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments, www.gloria.ac.at, GRABHERR et al., 2000) im Jahre 1999 wurde der Empfindlichkeit hochalpiner Pflanzen bezüglich des aktuellen Klimawandels noch in größerem Stile Aufmerksamkeit gewidmet. Mittlerweile konnten in 77 Hochgebirgsregionen, auf fünf Kontinenten Langzeit-Monitoringflächen eingerichtet werden (GRABHERR et al., 2010b). Mit Hilfe dieser Monitoringflächen sollen Klimawandel induzierte Veränderungen auf alpine Ökosysteme und deren Vegetation beobachtet werden.

Auf Gebirgsstandorten sind die Pflanzen während der Vegetationszeit, also im stoffwechsel- und wachstumsaktiven Zustand, einer außergewöhnlich großen Wechselhaftigkeit des Mikroklimas unterworfen. In der alpinen und besonders in der nivalen Vegetationszone treten auch im Sommer Fröste auf, gleichzeitig erwärmen sich Gebirgspflanzen auf windgeschützten Stellen bei starker Einstrahlung erheblich über die Lufttemperatur. Über die sommerliche Kälteresistenz von Gebirgspflanzen gibt es eine Reihe von Untersuchungen (z.B. LARCHER et al., 2010, KÖRNER, 2003), über die Hitzeresistenz und die Temperaturgrenzen der CO₂-Aufnahme, also über die Einschränkung des photosynthetischen Stoffwechsels, liegen hingegen nur wenige Angaben vor (LARCHER, 1994). Für Studien über mögliche Reaktionen von Pflanzen auf Klimaveränderungen eignen sich so genannte „Polsterpflanzen“ (Kapitel 2.2.1) besonders gut, da sie durch ihren polsterförmigen Wuchs spezielle wärmesammelnde Eigenschaften besitzen (GRABHERR, 1997).

Als Ausdruck der extremen Konditionen im Hochgebirge können deutlich sichtbare Schäden und abgestorbene Teile an Polsterpflanzen beobachtet werden.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, mit Hilfe der drei folgenden Polsterpflanzenarten die Zusammenhänge zwischen klimatisch unterschiedlicher Standorte und Schadenshäufigkeit und -ausmaß der Vegetation zu untersuchen. Diese Arbeit soll eine Ergänzung der bereits bestehenden Forschungsarbeiten im Hochgebirge und

insbesondere am Schrankogel darstellen, wobei die Untersuchungen sich auf die folgenden drei Polsterpflanzenarten beschränken:

- *Saxifraga bryoides* L., Saxifragaceae,
- *Silene acaulis* L. subsp. *exscapa* (All.) Braun-Blanq. (*Silene exscapa*), Caryophyllaceae und
- *Minuartia sedoides* L., Caryophyllaceae.

Als Untersuchungsfläche wurde eine Moräne mit süd- und nordexponierten Flanken ausgewählt und die oben genannten Arten bezüglich Polstergröße und Beschädigungsausmaß und deren Abhängigkeit von der Exposition untersucht.

3. Arbeitsgebiet und Artbeschreibung

3.1 Arbeitsgebiet

Als Untersuchungsstandort wurden Flächen am Schrankogel in Tirol (Österreich) ausgewählt. Der Schrankogel ist der erste Modellberg der internationalen Forschungsinitiative Global Observation Research Initiative in Alpine Environments (GLORIA, <http://www.gloria.ac.at>) und wird seit 1994 einem Langzeitmonitoring unterzogen (GOTTFRIED et al., 1998, GOTTFRIED et al., 1999, PAULI et al., 1999).

3.1.1 Geographische Lage

Der Schrankogel ist mit seinem 3497m hohen Gipfel der zweithöchste Berg der Stubaier Alpen und liegt in der Gemeinde Längenfeld im Ötztal (Tirol), von wo er auch – über Gries im Sulztal – am schnellsten erreicht wird (Abb.1).

Er ist ein für die zentralen Ostalpen typischer Berg, dessen Gipfel sich bis in die oberste Vegetationszone – die nivale Höhenstufe erstreckt (PAULI et al., 1999). Der Schrankogel steht relativ isoliert und wird im Osten durch den Schwarzenbergferner, im Süden durch dessen Gletscherbach und im Norden durch den Karboden des Schrankars begrenzt. Seine Westflanke reicht bis auf 2100m.ü.A. hinunter ins Sulztal (DULLINGER, 1998).



Abb. 1: Österreich – Übersichtskarte mit Tirol (grau gefärbt) und Ausschnitt: Ötztal-Detailansicht.
 (Quellen: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_at_längenfeld.png,
<http://maps.google.at>)

3.1.2 Wegbeschreibung zum Arbeitsgebiet und genaue Lokalisation

Um von der Ortschaft Gries ausgehend den Gipfel des Schrankogels zu erreichen, überquert man auf der Höhe der Amberger Hütte (2135m.ü.A.) den Sulzbach und folgt diesem flussaufwärts auf der orographisch rechten Uferseite weiter ins Sulztal hinein. Der Weg auf den Schrankogel führt dann östlich in Serpentine die Schwarzenbergferner-Moränenflanke aufwärts und anschließend parallel zum Schwarzenbergbach weiter. Ab einer Höhe von ca. 2550m.ü.A. führt die Route am Moränenrücken des Schwarzenbergferners entlang zum Ostgrat des Schrankogels. Auf dieser Seitenmoräne befinden sich die Aufnahmeflächen, von denen die Daten für diese Arbeit stammen. Diese beginnen bei einer Höhe von 2615m.ü.A mit den Koordinaten N47°01'57,1'' nördlicher Breite und E11°05'42,1'' östlicher Länge und ziehen sich 120m lang auf der Moräne von West-Südwest nach Ost-Nordost bis zu 2645m.ü.A. Der Endpunkt besitzt die Koordinaten N47°01'58,3'' nördliche Breite und E11°05'46,4'' östliche Länge.

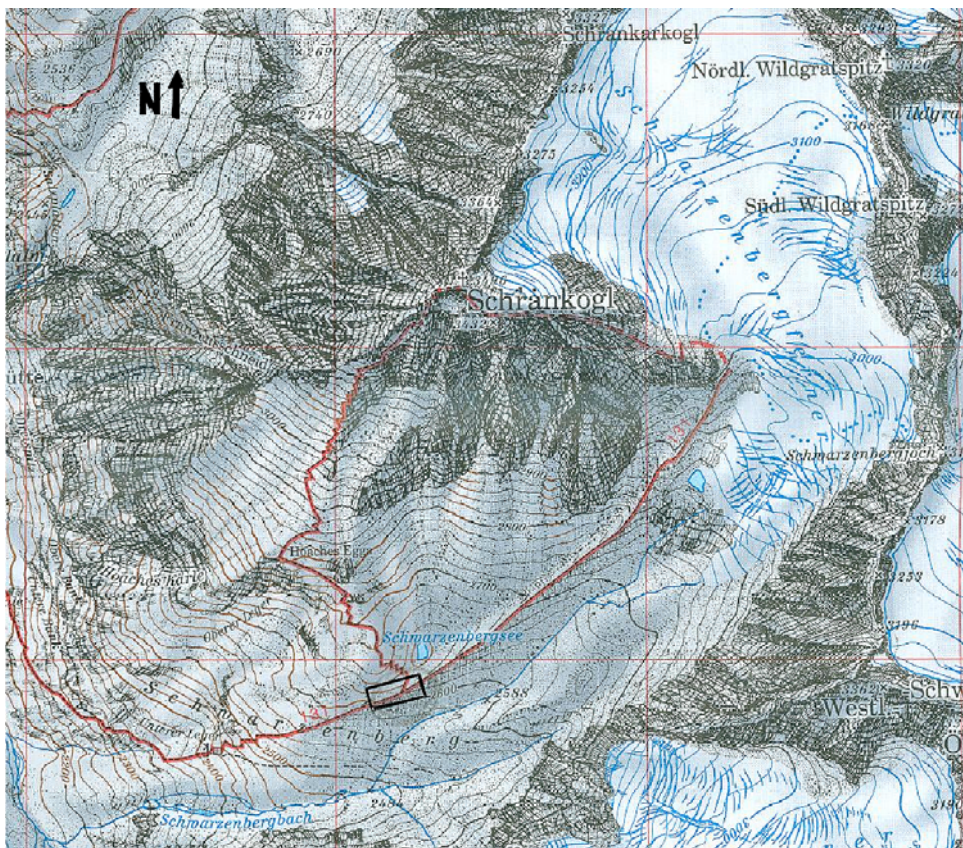


Abb. 2: Detailansicht des Untersuchungsgebiets: Ausschnitt aus der Alpenvereinskarte 31/1, Stubai Alpen/Hochstubai (Maßstab 1:25.000). Arbeitsgebiet gekennzeichnet (□), Abbildung maßstabgetreu.

Wie in Abb. 2 ersichtlich, zieht sich die Moräne von West-Südwest nach Ost-Nordost. Die Untersuchungsflächen dieser Forschungsarbeit befinden sich sowohl auf der

Nordwest- als auch auf der Südostflanke dieser Moräne. Zur Vereinfachung wird jedoch im weiteren Verlauf dieser Arbeit die nordwestexponierte Seite als „nordexponiert“, bzw. „Nordflanke“ und die südostexponierte Seite als „südexponiert“, bzw. „Südflanke“ bezeichnet.

3.1.3 Beschreibung der untersuchten Flächen

Die Untersuchungsflächen dieser Arbeit wurden subjektiv ausgewählt. Es wurden jene Moränenabschnitte gewählt und markiert, die die größte Homogenität aufwiesen und durch den Wanderweg wenig gestört wurden.

Sowohl die Nordflanke der Seitenmoräne als auch die Südflanke sind im Abschnitt, in dem das Arbeitsgebiet liegt, durch weitestgehend homogene Inklinen auszeichnet. Beide Hänge besitzen eine Neigung von etwa 40°, wobei die Südflanke stellenweise eine etwas geringere Neigung aufweist als die Nordflanke.

3.1.3.1 Südexponierte Flächen

Charakteristisch für die Flächen der Südflanke ist eine dichte Vegetation mit vereinzelt Felsblöcken unterschiedlicher Größe. Die Vegetationsbedeckung in diesen Flächen beträgt um 75% (zwischen 60% und 90%), von denen im Mittel nur 40% von Phanerogamen (15% bis 70%) und 30% von Moosen (5% bis 50%) und Flechten (1% bis 25%) eingenommen werden. Diese kommen oft eng verzahnt mit den Polsterpflanzen bzw. als Polstergäste vor. Insgesamt ist die Vegetation, verglichen mit der Vegetation der Nordflanke, stark von Gräsern dominiert.

3.1.3.2 Nordexponierte Flächen

Die Nordflanke ist durch einen hohen Anteil an lockerem, noch beweglichem Schuttmateriel mit sehr variabler Korngröße gekennzeichnet. Größere Felsblöcke von >50cm Durchmesser sind in fast jedem Plot vorhanden, auch kleinere von der Vegetation mehr oder weniger stabilisierte Steine sowie Feinmaterial sind zu finden.

In den Plots der Nordflanke ist die Vegetationsdecke geringer als auf der Südflanke, sie beträgt im Mittel ca. 45% (25% bis 85%). Die Vegetation zeichnet sich durch dicht am Boden wachsende krautige Pflanzen aus. Selbst die wenigen Grasartigen erreichen selten eine Vegetationshöhe von >20cm. Ein hoher Anteil (im Mittel 10%) der Vegetationsdecke wird von Flechten eingenommen (2% bis 60%). Die Plots der Nordflanke sind im Allgemeinen (besonders unter den Steinen) durch hohe

Feuchtigkeit charakterisiert. Moose sind mit einem mittleren Anteil von 9% der Gesamtvegetation vertreten.

3.1.4 Geologie

Der Schrankogel liegt zentral im Ötz-Stubai Massiv und damit im Bereich des kristallinen Ostalpins (Abb. 3).

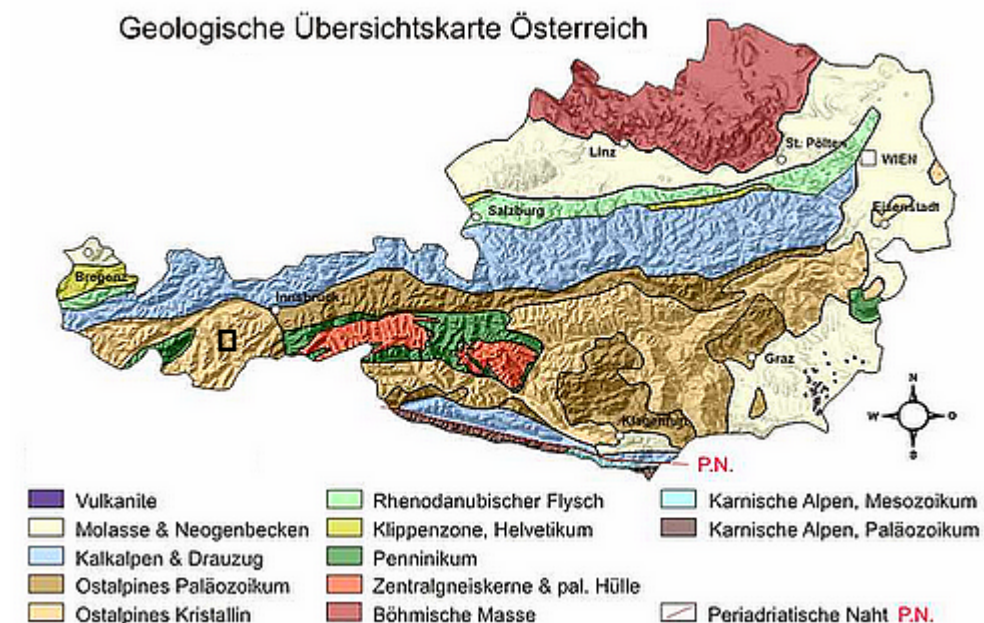


Abb. 3: Geologie von Österreich. Untersuchungsgebiet gekennzeichnet (□).
 Quelle: http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/geologie_und_landschaft.htm

Dominierender Gesteinsbestand in den Hochzonen des kristallinen Ostalpins sind monotone Paragneise, metamorphe Abkömmlinge von tonigen und sandigen Sedimenten, von Grauwacken und Tuffen, häufig durchsetzt von Amphiboliten, die aus Basalten entstanden sind. Weiters finden sich in diesen Gesteinsgesellschaften Orthogneise.

Während der frühalpidischen Gebirgsbildung wurden alle Kristalline Gebiete durch metamorphe Prozesse unterschiedlich stark umgewandelt und in Decken gestapelt. Ein Teil der permomesozoischen Hülle wurde zu Marmoren, Quarziten und Schiefen umgewandelt und markiert als "Zentralalpines Permomesozoikum" die internen Deckengrenzen des Ostalpinen Kristallins (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2002).

Anhand der „Profile durch die Ötztal und Stubai Alpen“ von R. Klebelsberg (TOLLMANN, 1977) (Abb. 4), lassen sich für den Schrankogel als dominierende Gesteine Amphibolit und Granatamphibolit, sowie Biotitgranitgneis feststellen. Aus dem relativ hohen Basengehalt der genannten Gesteine erklärt sich das Auftreten basiphiler Pflanzenarten, wie z.B. *Elyna myosuroides*, *Aster alpinus* und *Saxifraga paniculata* auf Teilflächen des Schrankogels (z.B. Ostgrat).

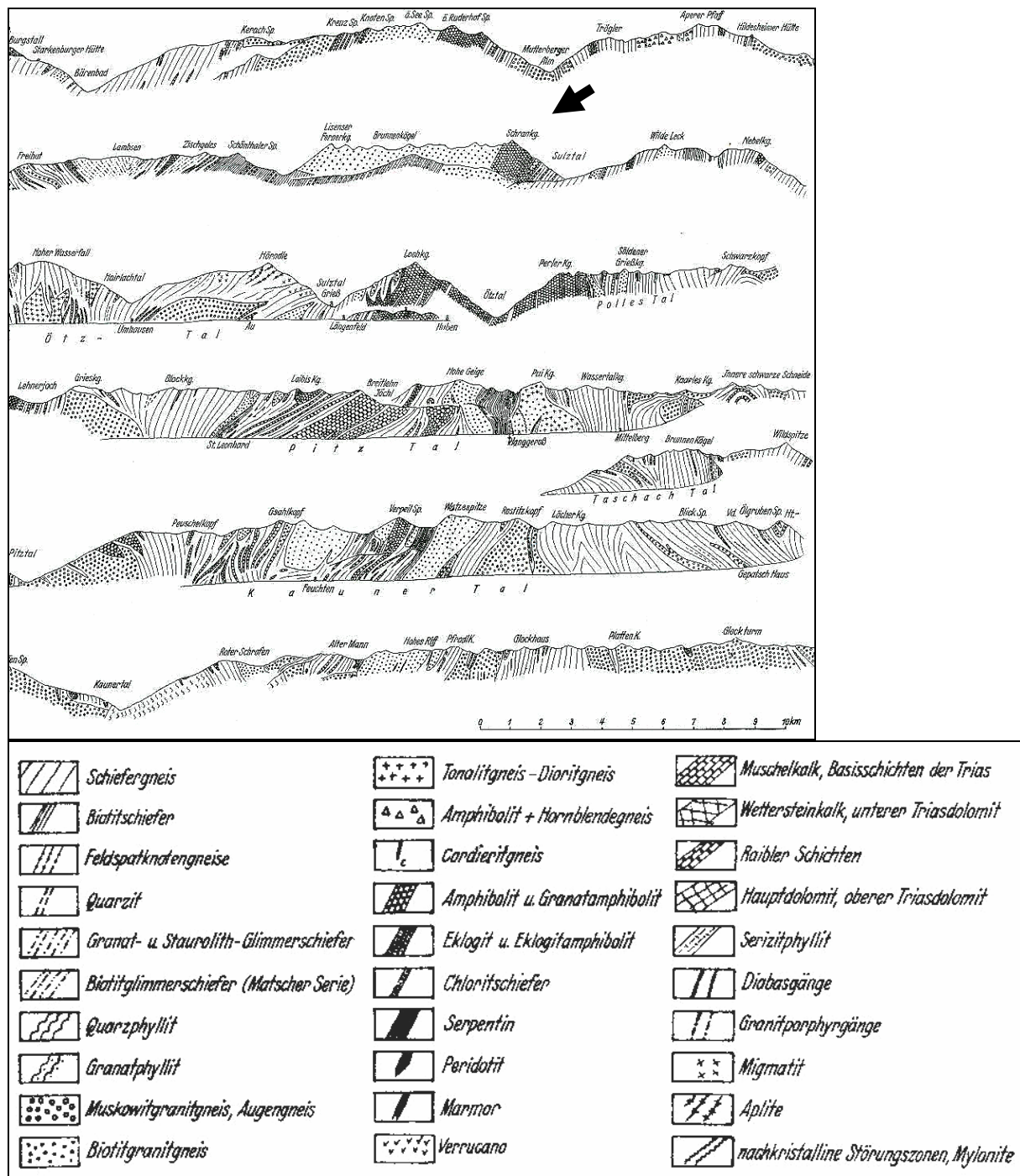


Abb. 4: Profile durch die Ötztaler und Stubai Alpen, und die Legende dazu, nach R. Klebelsberg aus TOLLMANN, 1977.

3.1.5 Klima

Der Schrankogel liegt am Nordrand der inneralpin-kontinentalen Zone des nemoralen, kühl gemäßigten mitteleuropäischen Klimas, im Bereich des Klimatyps VI (X) 2 nach Walter & Lieth (1960 -67) (PAULI et al., 1999).

Das Klimadiagramm von Längenfeld im Ötztal (Abb. 5) zeigt neben den charakteristischen Niederschlagsverhältnissen mit deutlichem Sommermaximum auch

für die Höhenlage relativ trockene Verhältnisse. Die vorgelagerten randalpinen Gebirgsketten schirmen die zentralalpinen Massive gegen feuchtigkeitsbringende Winde aus Nordwest ab (OZENDA, 1988) und verursachen somit die relative Trockenheit der Inneralpen. In Tirol erreicht der Alpenbogen nach Fliri (1975) seine größte Nord-Süd- Erstreckung von 240km. Demnach ist die klimatische Situation am Schrankogel durch – im Vergleich zu den ozeanisch geprägten Randalpen –geringere Niederschlagssummen, geringere Bewölkungshäufigkeit und stärkere Besonnung gekennzeichnet (FLIRI, 1975 in DULLINGER, 1998).

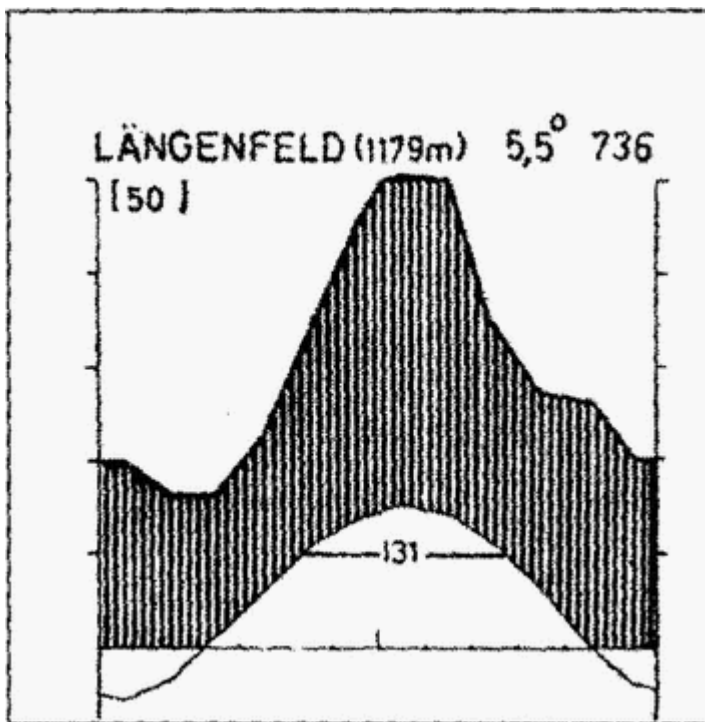


Abb. 5: Klimadiagramm von Längenfeld im Ötztal.
Die untere Kurve zeigt den Verlauf der mittleren Monatstemperaturen, die obere Kurve die mittleren monatlichen Niederschläge. Weiters angegeben sind: Höhe von Längenfeld (1179 m.ü.A.), mittlere Jahrestemperatur (5,5°C), mittlere jährliche Niederschlagsmenge (736mm) und Zahl der Beobachtungsjahre (50). Aus WALTER & LIETH, 1960-67.

Die Jahresmittel-Temperatur an der Bodenoberfläche (1-3cm Höhe) kann nach Daten aus GOTTFRIED et al. (1999) rückgerechnet auf 2600m.ü.A. mit +5°C angegeben werden. Als groben Schätzwert für den Niederschlag geben PAULI et al. (1999) 1250mm Jahresniederschlag für niedrigere Höhen und 2000mm für die höchsten Höhen an.

Nach KÖRNER (2003) lassen sich die Klimafaktoren, die für das Leben der Pflanzen in alpiner Umgebung ausschlaggebend sind, auf drei Hauptkomponenten zurückführen, die Einstrahlung, die Neigung und Exposition des Standorts und die Wuchsform der Pflanzen selbst. Weitere beeinflussende Faktoren sind z.B. Windgeschwindigkeit,

Umgebungslufttemperatur, Niederschlag und Bodeneigenschaften, wie Oberflächenstruktur, Feuchte, Wärmeleitfähigkeit, etc. Aus dem Wechselspiel zwischen den Klimafaktoren, dem Standort und der Wuchsform der Pflanze ergibt sich für die Pflanzen ein spezifisches Mikroklima und daraus wiederum leitet sich unter anderem die Vegetationszeit ab. Im folgenden Teil werden die wichtigsten Klimafaktoren und ihre Auswirkungen auf Mikroklima und Vegetationszeit der Pflanzen erläutert.

3.1.5.1 Strahlung

Die Strahlung sorgt im Allgemeinen für Energiezufuhr und ermöglicht damit lebensnotwendige physiologische Prozesse für Flora und Fauna. Da die direkte Sonnenstrahlung an klaren Tagen mit der Höhe aufgrund der geringeren Lufttrübung zunimmt und die diffuse Strahlung geringer wird, werden die Wärmeunterschiede zwischen Nord- und Süd- Exposition mit steigender Höhe verstärkt (BURGA et al., 2004; WALTER, 1984; LARCHER, 1994). Bei heiterem Wetter treten daher große, bei trübem Wetter geringe Expositionsunterschiede auf. Unterschiedliche Hangneigung und Exposition führen zur Ausbildung von Mikroklimaten (ELLENBERG, 1996).

Unter bestimmten Bewölkungszuständen kann die Solarstrahlung die „Solarkonstante“ übersteigen. Wenn durch eine Lücke in der Wolkenschicht am Himmel die direkte Sonnenstrahlung (z.B. 1000W/m^2) plus die zusätzliche diffuse Strahlung (z.B. 500W/m^2) von den Wolken oder durch Reflexion von umliegendem Schnee auf der Oberfläche auftrifft, kann sich für die Vegetation eine Strahlung von 1500W/m^2 ergeben. Dies entspricht tatsächlich gemessenen Werten von KÖRNER (2003) in den Alpen auf 2600m. Die alpine Vegetation muss solchen kurzfristigen Extremwerten gewachsen sein (KÖRNER, 2003).

Nach MÜLLER in WINKLER (1963) wird nur 1-2% der aufgenommenen Strahlungsenergie für die Photosynthese verwendet, die übrige Strahlung dient der Erwärmung des Bodens, der Luft und der Pflanzen.

3.1.5.2 Temperatur

Die Lufttemperatur nimmt mit zunehmender Meereshöhe im Mittel um $0,6^\circ\text{C}/100$ Höhenmeter (NAGY und GRABHERR, 2009; KÖRNER, 2003) ab. Im Sommer ist dieser Gradient steiler als im Winter (OZENDA, 1988, ELLENBERG, 1996). Im Gegensatz dazu konnten GOTTFRIED et al. (1999) den Jahresmittel-Temperaturgradienten (gemessen an der Bodenoberfläche) am Schrankogel mit $0,95^\circ\text{C}/100$ Höhenmeter bestimmen. Weiters stellten sie fest, dass dieser Temperaturgradient im Winter steiler ist als im

Sommer und erklären dies mit den häufigen lokalen Temperaturinversionen im Sommer.

Neben der Meereshöhe existieren weitere Temperatureinflussfaktoren, wie z.B. Windexponiertheit, Neigung und Exposition. Auf der Messstelle der 6km (Luftlinie) entfernten Dresdner Hütte im Stubaital (2290m.ü.A.) wurde im Jahr 2007 ein Jahresmittel von 1,5°C gemessen, wobei mit 16,8°C am 19. Juli 2007 das höchste Tagesmittel dieses Jahres und mit -17,5°C am 26. Januar 2007 das niedrigste Tagesmittel verzeichnet wurde (LEBENSMINISTERIUM, 2009).

Für die Vegetation ist die freie Lufttemperatur – die standardmäßig in 2m Höhe gemessen wird – weniger von Bedeutung als die der bodennahen Luftschicht. Diese kann im stark reliefierten Hochgebirgsgelände an strahlungsbegünstigten und zugleich windgeschützten Stellen stark von der freien Lufttemperatur abweichen. Reliefbedingte Standortsunterschiede können daher stellenweise beträchtliche Höhendifferenzen kompensieren. Vor allem im Winter – unter einer Schneedecke – ist die bodennahe Temperatur von der Umgebungstemperatur stark entkoppelt (OZENDA, 1988).

3.1.5.3 Niederschlag

Das Niederschlagsregime ist vor allem vom Temperaturklima, von den Luftströmungen und der Topographie abhängig. Auf der Messstelle der Dresdner Hütte im Stubaital wurde auf 2290m.ü.A. eine Niederschlags-Jahressumme von 1183mm gemessen, wobei der meiste Niederschlag (206mm) im August gefallen ist (LEBENSMINISTERIUM, 2009). Nach Winkler (1963) fallen im Zentralalpenraum ca. 60% der Niederschläge im Sommerhalbjahr und ca. 40% im Winterhalbjahr.

In den Alpen werden die Feuchtigkeitsverhältnisse auch durch die Größe des Gebirges reguliert. Die Randketten bewirken eine Abschirmung der Inneralpen vor Niederschlag und in weiterer Folge eine Niederschlagsabnahme nach innen hin.

Eine große Bedeutung im Hochgebirge nimmt die Dauer und Mächtigkeit der Winterschneedecke ein. Auch hier besteht ein klarer Zusammenhang mit der Meereshöhe. Auf der Messstelle der Dresdner Hütte im Stubaital wurde auf 2290m.ü.A. im Winter 2006/ 07 Schnee vom 5.10.2006-11.7.2007 notiert, wobei die dauerhafte Schneedecke vom 09.12.-26.4. reichte. Die größte Schneehöhe dieses Winters betrug 114cm, am 01.04.2007 (LEBENSMINISTERIUM, 2009).

Nach REISIGL et al. (1958) fallen im Winter sowohl auf 2044m.ü.A. als auch auf 3106m.ü.A 100% des Niederschlags in Form von Schnee. Im Sommer hingegen fallen auf 2044m.ü.A. 60% und auf 3106m.ü.A 88% des Niederschlags als Schnee. Die Schneemächtigkeit und Schneedauer wird jedoch sehr stark durch das Relief, die Windrichtung und die Exposition bestimmt und spiegelt sich meist in der Vegetation

wider. Auf einem schattenseitigen Hang fehlt die Erwärmung durch die Sonneneinstrahlung, wodurch die Aperizeit stark reduziert werden kann (WALTER, 1984). Die Schneedecke bildet sowohl eine Wasserreserve für die Vegetationsperiode als auch eine thermische Isolation im Winter (OZENDA, 1988) und im Sommer während Kälteeinbrüchen (GOTTFRIED et al, 2011). Unter einer isolierenden Schneedecke von 50cm Mächtigkeit sinkt die Temperatur selten tiefer als 0°C (ELLENBERG, 1996).

3.1.5.4 Wind

Die Windverhältnisse prägen die Alpenflora durch abkühlende, austrocknende und wärmende Effekte, sowie durch die Beeinflussung der Schneeverteilung. Die Windgeschwindigkeit wird hauptsächlich topographisch beeinflusst, weniger durch die Höhenlage (KÖRNER, 2003).

WINKLER (1963) hat in einem Experiment im Laboratorium die Temperaturbeeinflussung durch den Wind überprüft. Dabei konnte eine Überwärmung über die Lufttemperatur durch Windstille bei einem schwachen Luftzug mit 0,3m/s auf 70 – 80% gesenkt werden, bei 0,5m/s bereits auf 16-30%. Bei Wind mit 5m/s konnte bereits keine Überwärmung über die Lufttemperatur mehr festgestellt werden.

3.1.5.5 Mikroklima

Aus den oben genannten das Klima beeinflussenden Faktoren geht hervor, dass es in der alpinen Stufe im Hinblick auf die Vegetation kein Standardklima gibt, sondern das jeweilige so genannte Mikroklima die Vegetationsausbildung stark mitbestimmt. Dieses kann innerhalb kürzester Distanzen sehr unterschiedlich sein, beispielsweise auf der Sonnen- und Schattenseite eines Felsblocks. Auch die Vegetation kann das Mikroklima sehr stark beeinflussen. So wirkt sich eine geschlossene Vegetationsdecke durch die verringerten Wärmeverluste in der Nacht auf den Temperaturhaushalt des Bodens aus (GEIGER, 1950).

Vor allem der Wind in Interaktion mit dem Relief hat einen starken Einfluss auf das Mikroklima (REISIGL et al., 1958). Eine förderliche Überwärmung von Pflanzen kann nur dann entstehen, wenn einerseits die Pflanzen gleichzeitig voll besonnt und windgeschützt stehen und andererseits die Windgeschwindigkeit in Bodennähe auf mindestens ein Drittel der freien Windgeschwindigkeit absinkt (WINKLER, 1963). Durch den Effekt auf die aerodynamische Grenzschicht kann sich der Wind z.B. auf Wärmeverluste durch Konvektion, Verdunstungskühlung oder auch auf die Verteilung des Niederschlags, vor allem des Schnees auswirken.

Auf folgende zwei topographische Effekte soll wegen ihrer Relevanz für diese Arbeit näher eingegangen werden:

- der direkte Einfluss der Exposition auf das Mikroklima während der Vegetationsperiode und
- der indirekte Effekt des Reliefs auf die Kombination Schneeverteilung und hangsspezifische Einstrahlung.

Die Muster der Schneeverteilung in alpinem Gelände sind die augenscheinlichsten Folgen des Reliefs und seinem Zusammenspiel mit Klimafaktoren. Abschmelzmuster sind über die Jahre ein eher konservatives Phänomen, im Gegensatz zur variierenden Winterschneetiefe und zum jährlich variierenden Ausaperungszeitpunkt. Diese hängen meist von der Windrichtung während der letzten Schneefallereignisse ab. Friedel (1961 in KÖRNER, 2003) formulierte das Gesetz der „Konstanz der räumlichen Muster trotz variierender zeitlicher Muster“.

Schnee spielt für die Vegetation eine wichtige Rolle. Einige Pflanzenarten profitieren von seiner Schutzwirkung gegen Kälte und Transpirationsverluste (ELLENBERG, 1996), andere leiden unter einer langen Schneebedeckung (KÖRNER, 2003).

3.1.5.6 Vegetationsperiode

Temperatur und Wasserangebot, sowie die Schneeverhältnisse bestimmen die Dauer der Vegetationsperiode in der Alpin- und Nivalstufe. Die Vegetationsperiode beginnt meist mit der Schneeschmelze und endet mit der neuerlichen Ausbildung einer dauerhaften Schneedecke im Herbst (BURGA et. al, 2004; DULLINGER, 1998).

Nach Gensler (1946 in BURGA et al., 2004) erfolgt auf der Nordseite der Schweizer Alpen eine Verkürzung der Vegetationsperiode um 7 Tage/100m zunehmender Höhe, auf der Südseite um 6 Tage. Tagesmitteltemperaturen von mindestens 5°C werden z.B. in den Schweizer Alpen in 2000m.ü.A. nur an 85-120 Tagen erreicht (BURGA et al., 2004).

3.2. Habitat- und Artbeschreibung

3.2.1 Allgemeines über Polsterpflanzen

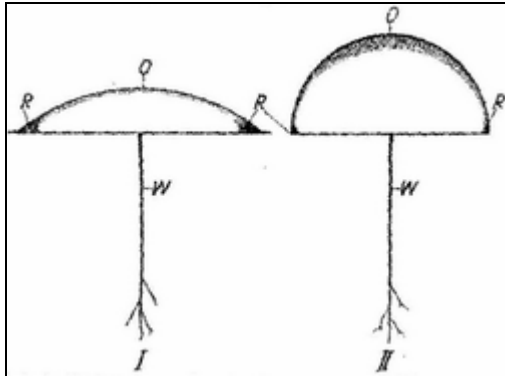


Abb. 6: schematische Wachstumsverteilung in einem Radialflachpolster (li.) und einem Radialkugelpolster (re.). Stärker wachsende Stellen dunkel punktiert, R = Randwachstum, O = Oberflächenwachstum. Aus Rauh, 1939.

Polsterpflanzen sind perennierende, krautige oder verholzte, meist immergrüne Gewächse (Chamaephyten nach Raunkiaer (LARCHER, 1994)) mit kräftigem, allorhizem Wurzelsystem und gehören neben Grasartigen und Rosettenförmigen zu den charakteristischsten Wuchsformen im alpinen Raum (RAUH, 1939; NAGY & GRABHERR, 2009; KÖRNER, 2003; FRANZ, 1979).

Als oberirdische Vegetationsorgane besitzen sie ein reich verzweigtes von einem kurzen Primärspross ausgehendes System gestauchter, $\pm$ orthotroper (aufwärts wachsender) Sprosse, die sich radiär nach allen Seiten ausbreiten.

Sie sind dicht mit kleinen, zumeist einfach gestalteten, oft sich dachziegelartig überlappenden Blättern besetzt, von denen vor allem die obersten, die in jeder Vegetationsperiode neu gebildeten, assimilieren können (RAUH, 1939). Die dichte Anordnung der Blätter ist genetisch determiniert und keine phänotypische Anpassung an die Umwelt (KÖRNER, 2003). Diese Wuchsform erlaubt eine Minimierung der Polsteroberfläche und eine geringe Erhebung über der Bodenoberfläche (FRANZ, 1979). Alle Seitenäste haben einen annähernd gleichen Jahreszuwachs, der wenige Millimeter bis mehrere Zentimeter betragen kann. Polsterpflanzen können sehr langlebig sein und bis zu 300 Jahre alt werden (Nagy & Grabherr, 2009). Nach RAUH (1939) kann allgemein zwischen Flachpolster (wie z.B. *Saxifraga bryoides* L.) und Kugelpolster (wie z.B. *Silene exscapa* L.) unterschieden werden (Abb.6). Flachpolster besitzen eine flach-deckenförmig ausgebreitete Oberfläche, die sich nur wenige Zentimeter über die Bodenoberfläche erhebt. Die Oberfläche von Kugelpolstern ist stark aufgewölbt und nimmt die Gestalt einer dem Boden aufliegenden Halbkugel an.

Die Laubblätter überdauern nur eine Triebperiode und fallen dann entweder ab (Hohlpolster) oder bleiben lange Zeit an der Sprossachse sitzen, wobei sie später zu einem homogenen, das Polsterinnere erfüllenden Humus (Vollpolster) verwittern, in den feine – von den Zweigen ausgehende – Nährwürzelchen eindringen (RAUH, 1939). Die Mineralstoff- und Wasserversorgung wird von einer kräftigen Hauptwurzel übernommen, die bei den Vollpolstern von den sprossbürtigen Nährwurzeln in ihrer Funktion unterstützt wird (RAUH, 1939).

Die unterirdischen Vegetationsanteile können bei den Polsterpflanzen bis zu dreimal so groß sein wie jene über dem Boden (OZENDA, 1988). Von der Kompaktheit der Polster ist das Ansammeln einer Füllmasse abhängig. Diese Füllmasse verleiht dem Polster nicht nur erhöhte Festigkeit, sondern spielt auch für seinen Wasserhaushalt eine bedeutende Rolle. Sie ist mit einem Schwamm zu vergleichen, der Wasser und Feuchtigkeit aufsaugt, aber nur schwer wieder an die Umgebung abgibt. Sie stellt somit ein Wasserreservoir für niederschlagsarme Zeiten dar (RAUH, 1939).

Ein weiterer Vorteil kompakter Lebensformen kann auch die Sicherung von Pflanzennährstoffen sein. Nährstoffanreicherung und Nährstoffrückhalt kann in windigen Lagen ein ernsthaftes Problem sein, da die Blattstreu durch den Wind regelmäßig verfrachtet und der lokale Nährstoffkreislauf des Mikrohabitats unterbrochen wird. Von diesen warmen, feuchten „Inseln“, die im Vergleich zur Umgebung reich an Detritus sind, profitieren neben den wichtigen Bodenmikroben die Bodenfauna, als auch so genannte „Polstergäste“ – Pflanzen, die innerhalb eines Polsters wachsen (KÖRNER, 2003).

Gausla (1984 in KÖRNER, 2003) fand in seinen Messungen an *Silene acaulis* – Polstern in Norwegen einen maximalen Temperaturgradienten von 24,5K zwischen Blatttemperatur und Lufttemperatur (45,5°C Blatttemperatur bei 21°C Lufttemperatur). Diesem Ergebnis zufolge vermuteten sowohl Gausla (1984) als auch Dahl (1951) (beide in KÖRNER, 2003), dass solche niederliegende Pflanzen in geringeren Meereshöhen nicht überlebensfähig wären (KÖRNER, 2003).

Außerdem wird angenommen, dass diese Wuchsform neben positiven auch negative Effekte einbringt. Für den Gasaustausch bei Pflanzen können extreme Temperaturen schädlich wirken, da sie vor allem während der inaktiven Jahreszeit eher Atmungsverluste als photosynthetische Gewinne bewirken. Auch Hitzeschäden können die Folge sein (LARCHER und WAGNER, 1967 in KÖRNER, 2003).

Positive Auswirkungen treten während Perioden hoher Bewölkung auf, wenn die Photosynthese durch niedrige Temperaturen limitiert ist und geringfügig wärmere Temperaturen von 2-3 °C über der Lufttemperatur den Kohlenstoffhaushalt erheblich verbessern.

Polsterpflanzen sind durch ihr dicht wachsendes Laub und ihre geringe Wuchshöhe fähig, Wärme zu speichern (NAGY & GRABHERR, 2009). Daraus können Vorteile für

Wachstum und Entwicklung, aber vor allem für Reproduktionsprozesse, die stärker von warmen Temperaturen abhängig sind, entstehen. Deshalb können sie noch in Höhen existieren, in denen andere Lebensformtypen nicht mehr vorzufinden sind, weil zum Teil die Temperaturverhältnisse unter der – für Wachstum und generell für Produktion – nötigen Temperatur liegen (NAGY & GRABHERR, 2009; KÖRNER, 2003).

3.2.2 *Saxifraga bryoides* L.

Saxifragaceae, „Moos-Steinbrech“, „Moosartiger Steinbrech“

Synonym: *Saxifraga aspera* L. subsp. *bryoides* (L.) Gaud.



Abb. 7: *Saxifraga bryoides*, Polster und Blüten im Detail. Fotos: Harald Pauli

Artbeschreibung

Saxifraga bryoides bildet dichtrasige Flachpolster (Abb. 7) mit einer Polsterhöhe von 2-5(8)cm. Die Polster können bis zu 20-50cm große, dichte flachpolstrige Rasen bilden, deren periphere Äste sich ausläuferartig verlängern und radial nach allen Richtungen ausstrahlen (RAUH, 1939). Seine zahlreichen, moosartigen, lang- oder kurz kriechenden, dicht gedrängten Stämmchen sind dicht besetzt mit 2-6mm langen, grannig zugespitzten Laubblättern, die in dichten, fast kugeligen Rosetten von höchstens 2cm Durchmesser angeordnet sind. Die Stengel sind aufrecht, 3-6cm hoch und meist einblütig.

Die gelb-weißen Blüten blühen im Juli oder August und haben einen Durchmesser von 10-15mm (AESCHIMANN et al., 2004). Sie sind ausgesprochen proterandrisch und werden durch Insekten (Fliegen) bestäubt (OBERDORFER, 1949; HEGI, 1950). Die Wurzeltiefe von *Saxifraga bryoides* - Polster kann bis zu 25cm betragen, die Speicherorgane sind jedoch wenig auffällig (BRAUN BLANQUET, 1922).

Erreichen *Saxifraga bryoides* - Polster eine gewisse Größe, lockern sie an der Peripherie auf und senden nach allen Seiten ausläuferartige, wurzelnde Äste aus, die bei Isolierung von der Mutterpflanze der vegetativen Vermehrung dienen können. Die

rosettenträgenden Ausläufer können sehr weit vordringen und Felsspalten, Risse und schmale Rinnen überbrücken, ohne sich von der Mutterrosette unabhängig zu machen (BRAUN - BLANQUET, 1922).

Habitatscharakterisierung und Verbreitung

Saxifraga bryoides ist eine kalkmeidende Felspflanze der Silikatalpen, die mit Vorliebe zeitweise von Wasser überrieselte Felsköpfe, Spalten und Moränenböden in Höhen von 2000-4000m besiedelt (RAUH, 1939).

Die Verbreitung der Art ist auf die europäischen Gebirge beschränkt. Sie kommt ausser in den Alpen auch in den Pyrenäen, im Französischen Zentralmassiv, in den Karpaten und in den Gebirgen der Balkanhalbinsel vor (AESCHIMANN, 2004; JALAS, J. et al., 1986; BRAUN BLANQUET, 1922). In Österreich ist die Pflanze häufig und kann in den Zentralalpen und in den Bundesländern Steiermark, Kärnten, Salzburg, Tirol und Vorarlberg gefunden werden (FISCHER et al., 2008). Sie hat ihren Verbreitungsschwerpunkt oberhalb der geschlossenen Rasen in der alpinen bis nivalen Höhenstufe. Am Schrankogel ist *Saxifraga bryoides* eher in der subnival-nivalen Zone vertreten (PAULI et al., 1999).

Die Art besiedelt als Chasmophyt windexponierte Felsen und Felsschuttfluren sowie sicker-frische, ± basenreiche, kalkarme, humusarme, feinteilchenreiche Steinschuttböden und lockere Rasenbestände des Hochgebirges. Sie bildet einen Hauptbestandteil der obersten Pionierrasenpolster der Nivalstufe in den Alpen und zählt damit zu den Arten, die die obere Verbreitungsgrenze der Gefäßpflanzen in den europäischen Hochgebirgen erreichen (GRABHERR et al., 2001; KAPLAN, 1995 in LADINIG et al., 2009).

S. bryoides wird von OBERDORFER (1949) als sehr „kältefest“ beschrieben, wächst oft an wintersüber schneefreien Graten und hält dort unbeschadet Temperaturen von bis -40°C aus (BRAUN BLANQUET, 1922).

Die Art kann in hochalpinen und subnivalen offenen Steinschutt- Pioniergesellschaften vorgefunden werden, vor allem im *Androsacetum alpinae*, weniger im *Oxyrietum digynae*, wobei *Saxifraga bryoides* als *Androsacion alpinae*-Verbandscharakterart gilt. Sie kann auch in *Androsacion vandellii*-Gesellschaften vorkommen (OBERDORFER, 1949).

3.2.3 *Silene acaulis* (L.) Jacq. subsp. *exscapa* (All.) Braun-Blanq.

Caryophyllaceae, „Kiesel-Stengellooses Leimkraut“, „Silikat-Polsternelke“.

Synonyma: *Silene exscapa* All.; *Silene acaulis* (L.) Jacq. subsp. *bryoides* (Jord.) Nyman



Abb. 8: *Silene acaulis* subsp. *exscapa*, Polster und Blüten im Detail, Fotos: Reingard Prohaska

Artbeschreibung

Silene acaulis subsp. *exscapa* (im Weiteren „*Silene exscapa*“ genannt) bildet maximal 0,40-1m im Durchmesser große und 1-3cm hohe deckenförmige Flachpolster, die im Lauf der Entwicklung die Form eines Kugelpolsters annehmen können (RAUH, 1939; AESCHIMANN et al., 2004).

Die dicht und aufrecht stehenden Laubblätter werden 3-6mm, die Blütenstiele zur Blütezeit (im Juli/August, LANDOLT (2010)) höchstens 2mm lang (Unterscheidungsmerkmal zu *Silene acaulis* s. str.). Auf den Blütenstielen sitzt eine 4-7mm große purpurrosa Blüte, aus der sich eine kugelige Frucht entwickelt.

Silene exscapa wird bei RAUH (1939) mit folgenden Worten beschrieben: „wie *S. acaulis*, nur festere und kompaktere Polster bildend, da *S. exscapa* höher hinaufsteigt und exponiertere Standorte besiedelt. Auch nehmen die Polster eher kugelige Gestalt an als die von *S. acaulis*.“ (RAUH, 1939; HEGI, 1979).

Ein *Silene exscapa* - Keimling bietet das charakteristische Bild aller Polsterpflanzen-Keimlinge und lässt eine kräftige, wenig verzweigte Hauptwurzel und einen kurzen orthotropen Primärspross erkennen. Dieser erreicht in der ersten Vegetationsperiode nur die geringe Länge von 0,5cm. Die Terminalknospe, wie auch alle Vegetationspunkte der später entstehenden Seitenäste, überdauert, ohne jeden Schutz, d.h. ohne von besonders gestalteten, als Knospenschuppen zu bezeichnenden Blattorganen eingehüllt zu werden, die klimatisch ungünstige Jahreszeit.

Auch der Längenzuwachs des zweiten und der folgenden Jahre ist ausserordentlich gering, so dass der Hauptspross zeitlebens kurz bleibt, kaum in Erscheinung tritt und sich nach wenigen Jahren in einer terminalen Blüte erschöpft.

Vielfach wird er aber schon vorher von Seitensprossen übergipfelt. Bereits im zweiten oder dritten Jahr beginnt der Primärspross sich zu verzweigen und zwar in einer ganz bestimmten, für die meisten Polsterpflanzensämlinge charakteristischen Weise: Nur die Knospen der obersten Laubblätter des ersten Jahrganges werden zu Seitenästen, während jene der basalen Laubblätter und Kotyledonen in Ruhe verbleiben. Man spricht hier von akrotoner Förderung.

Die primären Seitenäste setzen am Primärspross an und strahlen radial nach allen Seiten aus, wobei sie dem Substrat aufliegen und je nach Beschaffenheit (Fels oder Mattenboden) mit feinen sprossbürtigen Wurzeln befestigt werden.

Alle Seitensprosse wachsen mit gestauchten Internodien zunächst einige Jahre unverzweigt monopodial fort. Erst nach genügender Erstarkung tritt auch an ihnen Verzweigung ein, die ebenfalls akroton gefördert ist (RAUH, 1939).

Silene exscapa kann eine Wurzeltiefe von 25–50cm erreichen und eine dicke verholzte Hauptwurzel als Speicherorgan ausbilden (LANDOLT, 2010).

Habitatscharakterisierung und Verbreitung

Silene acaulis, ein bodenvager Formationsubiquist, bildet auf Matten, wasserführenden Felsen, Blockfeldern, Moränen und winddominierten Gipfelfluren große deckenförmige Flachpolster (RAUH, 1939). Die Unterart *Silene acaulis* subsp. *exscapa* ist im Gegensatz zu *S. acaulis* s. str. kalkmeidend und findet sich ausschließlich auf sauren Böden auf nährstoffarmen, mäßig frischen Standorten und ist oft an windexponierten Graten oder anderen im Winter schneearmen Plätzen in lückigen Rasen zu finden. Ihr Schwerpunkt der Höhenverbreitung liegt in der oberen alpinen bis subnivalen Stufe.

Im Gegensatz zu *S. acaulis* s. str. – eine weit verbreitete arktisch-alpine Gebirgspflanze, die sowohl in Nordamerika als auch in Eurasien vorkommt – ist *Silene exscapa* auf die europäischen Gebirge (Pyrenäen, Alpen, Karpaten und Balkan) beschränkt (AESCHIMANN, 2004). In Österreich ist die Pflanze häufig bis zerstreut, in den Zentralalpen und in den Bundesländern Steiermark, Kärnten, Salzburg, Tirol und Vorarlberg zu finden (FISCHER et al., 2008).

Silene exscapa kommt oft in bodensauren Gesellschaften (*Caricetum curvulae*) sowie in Polsterpflanzengesellschaften (*Androsacion alpinae*) auf Silikatfels und auf wenig gefestigtem Felsschutt vor (HEGI, 1979).

3.2.4 *Minuartia sedoides* (L.) Hiern

Caryophyllaceae, „Zwerg-Miere“, „Polster-Miere“

Synonyma: *Alsine sedoides* (L.) Kittel (RAUH, 1939), *Cherleria sedoides* L. (Aeschimann, 2004)



Abb. 9: *Minuartia sedoides*, Polster und Blüten im Detail. Fotos: Harald Pauli

Artbeschreibung

Minuartia sedoides bildet dichte, ausdauernde, 4-8cm hohe Polster aus, deren Grundachse reich ausgebreitet verästelt und nur wenig verholzt ist. Die kahlen Sprosse tragen zahlreiche, oberwärts meist dicht besetzte 3-5mm lange und kaum 1mm breite Laubblätter.

Die hellgrünen 3-6mm großen Blüten sind einzeln, sitzend oder kurz gestielt und überragen die Polsteroberfläche nur um wenige Millimeter (Abb. 9). Sie sind zwittrig bis zweihäusig, werden von Fliegen bestäubt und können von Juni bis August/September blühen (HEGI, 1979).

Ein Keimling entwickelt eine lange, verzweigte Hauptwurzel und einen kurzen orthotropen Primärspross, der zu Beginn der zweiten Vegetationsperiode Seitenäste erzeugt. Diese verzweigen sich alljährlich unter akroton-hypotoner Förderung und erzeugen als Resultat einen runden 1-2cm hohen Flachpolster. Im Zentrum dieses Polsters pressen sich die orthotropen Triebe eng aneinander und bilden zusammen mit abgestorbenen Blättern und mineralischem Füllmaterial eine harte Polstermasse. Dies macht *Minuartia sedoides* in hohem Grade unempfindlich gegen Austrocknung und ziemlich widerstandsfähig gegen Windschliff, wodurch sie auf windgepeitschten Graten in Höhen über 3000m zu existieren vermag (HEGI, 1979).

Verfolgen wir die Entwicklungsgeschichte eines *Minuartia sedoides* - Polsters, so ist festzustellen, dass *Minuartia sedoides* „in der Jugend fast immer flachpolstrig wächst und sich erst ziemlich spät zu einem Kugelpolster aufwölbt“ (RAUH, 1939).

Habitatscharakterisierung und Verbreitung

Minuartia sedoides gilt als pH-indifferenter Formationsubiquist der oberen alpinen bis subnivalen Stufe der Alpen. Nach BACKHUYS (1968 in LARCHER et al., 2010) kann die Art in einem Höhenbereich von 2200 bis 2800m.ü.A mit einem Höhenlimit von 3300m.ü.A. gefunden werden. Die Pflanze wächst in lückigen Steinrasen felsiger Hänge, an windgefegten Graten, auf Moränenschutt, vorzugsweise auf mäßig sauren oder neutralen silikatischen, aber auch kalkhaltigen – von saurem Humus überlagerten – Böden. *Minuartia sedoides* zählt zu jenen Arten, die auch auf im Winter schneefreien, winddominierten Standorten zu finden sind (RAUH, 1939). Die Verbreitung beschränkt sich auf Gebirge Europas (Pyrenäen, Alpen, Karpaten, Dinariden) (AESCHIMANN et al., 2004). In Österreich kommt die Pflanze häufig bis zerstreut in allen Bundesländern ausser Wien und Burgenland vor (Fischer et al., 2008). *M. sedoides* gilt als Pionierpflanze alpiner Rasengesellschaften und wächst zudem gerne in Initialstadien auf Moränenböden mit *Luzula spicata* sowie im Elynetum (Elynion), Androsacion alpinae und im Caricetum firmae. Sie bildet einen wesentlichen Bestandteil in den Caricetalia curvulae-Gesellschaften und ist eine Charakterart im Caricetum curvulae (FISCHER et al., 2008; OBERDORFER, 1949; AESCHIMANN et al., 2004; HEGI, 1979).

4. Material & Methoden

4.1 Sampling design



Abb. 10: Seitenmoräne des Schwarzenbergferners mit nord- und südexponierten Flanken. Foto: Sophie Nießner.

Der Standort der 120 Plots befindet sich Entlang einer Seitenmoräne des Schwarzenbergferners mit Ost-West-Ausrichtung (Abb. 10), die am Normalweg zum Gipfel des Schrankogels auf ca. 2550-2650m.ü.A. liegt.

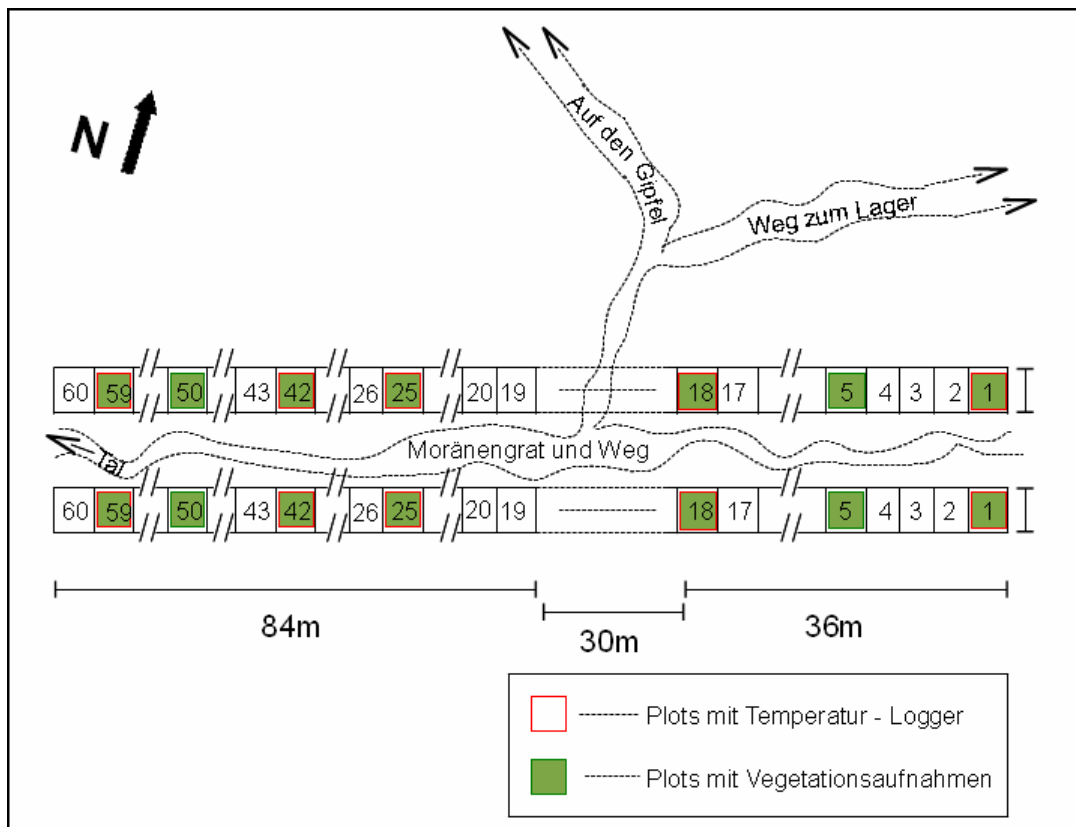


Abb. 11: schematisch Skizze der Aufnahmeflächen:
 60 Plots zu je 2x2m, auf jeweils nord- und südexponierter Flanke einer Moräne am Schrankogel in Tirol. Plots mit roter Umrandung wurden mit einem Temperaturlogger versehen, in den grünen Plots wurde, ergänzend zum Standardprogramm, die gesamte Vegetationsstruktur erhoben.

Auf der nord- und auf der südexponierten Flanke wurden jeweils 60 Plots mit einer Größe von je 2x2m eingerichtet. 50cm unterhalb der Abbruchkante des Moränengrates wurde – parallel zum Grat – ein Transekt mit insgesamt 120m Länge festgelegt. Begonnen wurde dabei bei ca. 2630m.ü.A., von wo aus das erste Teilstück des Transekts – mit einer Länge von 36m – parallel zur Moräne abgesteckt wurde. Aufgrund des kreuzenden Weges wurde eine Strecke von 30m freigelassen. An diese Freifläche angrenzend wurde das zweite Teilstück des Transekts mit 84m Länge entlang der Moräne abgesteckt. Entlang dieses Transekts wurden 60 Plots verortet (Abb. 11). Das Schema wurde auf gleiche Weise auf der nord- und südexponierten Moränenseite angewandt. Die Nummerierung der Plots wurde, beginnend vom höchstgelegenen zum tiefstgelegenen Plot, mit 1-60 festgesetzt und zur Unterscheidung der beiden Expositionen ein N oder S (Abb. 12 und Abb. 13) vorangestellt.



Abb. 12: Beispielfoto für einen Plot der nordexponierten Moränenfläche. Plot N6. Auf der Tafel wurde neben Plotnummer und Exposition auch das Datum notiert. Foto: Reingard Prohaska



Abb. 13: Beispielfoto für einen Plot der südexponierten Moränenfläche. Plot S6. Auf der Tafel wurde neben Plotnummer und Exposition auch das Datum notiert. Foto: Reingard Prohaska

4.2 Datenerhebung

Die Freilandarbeit wurde im Sommer 2009 vom 28. Juli – 1. September durchgeführt. Nach der Errichtung der Transekte wurden in 10 Plots Temperaturlogger angebracht. Für jeden untersuchten Plot erfolgte eine qualitative und quantitative Aufnahme der drei ausgewählten Polsterarten *Saxifraga bryoides*, *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* und eine Schätzung der Gesamtdeckung der Vegetation, sowie der Deckung der Gefäßpflanzen, der Moose und der Flechten. Ergänzend wurde in 14 Plots die gesamte Vegetationsstruktur erhoben.

4.2.1 Temperaturerhebung

Für die Temperaturerhebung wurden auf beiden Flanken der Moräne jeweils 5 Temperaturlogger in ca. 5-10cm Tiefe eingegraben. Die 10 Logger wurden an 5 Positionen in jeweils zwei gegenüberliegenden Plots angebracht, wobei auf eine homogene Verteilung über den gesamten Transekt geachtet wurde (Abb. 11). Die exakten Positionen wurden anschließend mittels GPS und Fotodokumentation festgehalten (Abb. 14).



Abb. 14: Logger-Einrichtung in Plot N01.

Der Temperaturfühler des Loggers wurde in ca. 10cm Tiefe angebracht. Das Grabwerkzeug zeigt auf die Position des Loggers im Plot. Nach der Photographie wurde die Substratsäule oberhalb des Loggers wiederhergestellt. Auf der Tafel ist die Bezeichnung des Loggers (REI N01, A511A0), das Datum, die Uhrzeit und ein Nordpfeil abzulesen. Foto: Reingard Prohaska.

Die Messung der Temperatur erfolgte im Stundentakt über einen Zeitraum von 13 Monaten und 16 Tagen, vom 03. August 2009, 00:00 Uhr bis zum 19. September 2010, 24:00 Uhr. Die Daten wurden erstmals am 1. September 2009 ausgelesen. Bei der zweiten Temperaturdatenauslesung im September 2010 konnte ein Logger nicht angesprochen werden. Für den Zeitraum vom 1. September 2009 bis zum 19. September 2010 standen daher nur die Temperaturdaten von 4 Plotpaaren zur Verfügung. Die Temperaturlogger wurden für weitere Forschungsaktivitäten im Boden belassen.

Logger - Beschreibung:

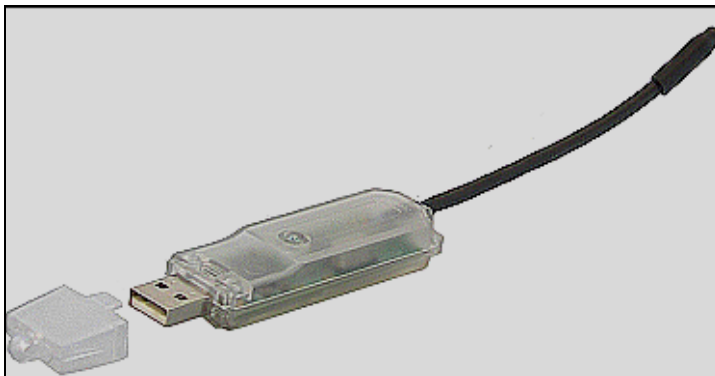
Die Temperaturlogger mit der Bezeichnung „M-Log5W-SIMPLE“ der Firma „GeoPrecision“ befinden sich in einem Kunststoffgehäuse, das die Logger vor mechanischen Einflüssen schützt (Abb. 15). Die Sensorspitze ist ein Metallpunkt am Gehäuseende. Der Sensor selber trägt die Bezeichnung „PT1000“ und misst mit einer Genauigkeit von $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ und einer Auflösung von 0.01°C (www.geoprecision.com). Die Logger sind am hinteren Ende mit einem Code gekennzeichnet.



**Abb. 15: Temperaturlogger der Firma GeoPrecision:
M-Log5W-SIMPLE mit der Nummer M-Log A51141
Quelle: <http://www.geoprecision.com>**

Datenübertragung

Die Übertragung der gemessenen Temperaturdaten auf den PC erfolgte durch einen USB-Auslese-Dongle (Abb. 16). Dieser dient als Schnittstelle zum PC und ermöglicht den Datenaustausch zwischen Computer und Funk-Mini-Logger. Der Auslese-Dongle wird mittels USB-Anschluss am Laptop angesteckt und kann mit einer Übertragungsfrequenz von 433Mhz und einer Reichweite von 50-200m (abhängig von Gelände und Loggertyp) Daten, die sich am Logger befinden auf den PC übertragen (<http://www.geoprecision.com/>). In der Praxis erwies sich die erreichbare Übertragungsweite (ca. 2m) als wesentlich niedriger, da die Logger im Substrat vergraben sind.



**Abb. 16: USB-Auslese – Dongle der Firma GeoPrecision
Quelle: <http://www.geoprecision.com>**

4.2.2 Polstererhebung

Abwechselnd wurde ein Plot der Nordflanke und ein Plot der Südflanke untersucht, wobei die 10 Loggerflächen – als Flächen mit höchster Priorität – zuerst aufgenommen wurden. Danach wurde jeder zehnte Plot dazwischen, jeder fünfte Plot dazwischen und zum Schluss Lücken füllend von Ost nach West jeder Plot aufgenommen. Jeder einzelne Plot wurde mit dem Auge abgescannt (von oben nach unten und von links nach rechts) und alle Polster der drei ausgewählten Arten notiert. Zur Ermittlung der Beschädigung und der Größe wurde ein Klassifizierungssystem entwickelt (Tab. 1 und Tab. 2). Jene Polster mit einem Durchmesser $< 3\text{cm}$ wurden nur quantitativ gezählt und in einer Liste festgehalten, alle anderen Polster wurden durch Abschätzen der Größe qualitativ und durch Klassifizieren der Beschädigung quantitativ aufgenommen (Tab. 1 und 2, bzw. Abb. 17ff).



Abb. 17: *Silene exscapa*, Beispielfoto für einen Polster der Größenklasse 3, Beschädigungsklasse 0.
Foto: Sophie Nießner.



Abb. 18: *Silene exscapa*, Beispielfoto für einen Polster der Größenklasse 2, Beschädigungsklasse 1.
Foto: Sophie Nießner.



Abb. 19: *Saxifraga bryoides*, Beispielfoto für einen Polster der Größenklasse 4, Beschädigungsklasse 2.
Foto: Sophie Nießner.

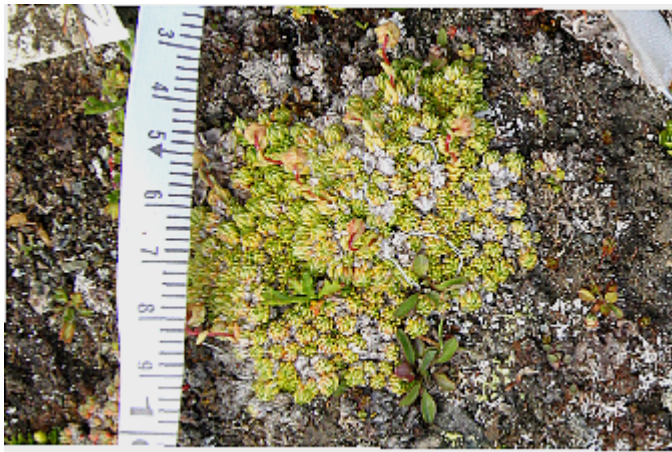


Abb. 20: *Saxifraga bryoides*, Beispielfoto für einen Polster der Größenklasse 2, Beschädigungsklasse 1.
Foto: Sophie Nießner.

Als Hilfsmittel zum Abschätzen der Polstergröße wurden runde und ellipsoide Schablonen verschiedener Durchmesser herangezogen. Sechs Größenklassen wurden definiert (Tab. 1).

Tab. 1: Einteilung der Polster in 6 Größenklassen und die dazugehörigen Polsterdurchmesser.

Größenklasse	Durchmesser (in cm)
1	< 3
2	3-7
3	>7-10
4	>10-20
5	>20-30
6	> 30

Für die Schätzung der Beschädigung wurden ebenfalls sechs Klassen definiert (Tab. 2). Dabei wurde der beschädigte Flächenanteil eines jeden Polsters in % geschätzt.

Tab. 2: Einteilung der Polsterbeschädigung in 6 Klassen.

Beschädigungsklasse	Beschädigung (in %)
0	0
1	1-24
2	25-49
3	50-74
4	75-99
5	100

Zur Ergänzung wurde von jedem Plot die Gesamtdeckung der Vegetation in % der Plotfläche sowie der jeweilige Anteil an Gefäßpflanzen, Flechten und Moosen geschätzt und Datum, Uhrzeit, Wetter und Besonderheiten, die gegebenenfalls aufgefallen sind, notiert. Zusätzlich wurde jede Aufnahme durch ausführliche Fotodokumentation des jeweiligen Plots vervollständigt.

4.2.3 Vegetationsaufnahme

Unter Vegetationsaufnahme versteht man das Verfahren pflanzensoziologischer Datenerfassung in Pflanzenbeständen. Eine Aufnahme repräsentiert den Datensatz eines Bestandes, ist also im übertragenen Sinne das Resultat des Verfahrens. Aufnahmen bilden die wesentliche Grundlage pflanzensoziologischer Arbeit. Die eigentliche Aufnahme besteht aus einer Liste aller auf der Fläche vorkommenden Sippen, getrennt nach Schichten – Baumschicht 1, Baumschicht 2, Strauchschicht, Krautschicht (DIERSCHKE, 1994).

Da in meinen Vegetationsaufnahmen jedoch nur die Krautschicht vorkommt (Moose wurden hier nicht aufgenommen), sind die Schichten vernachlässigbar und werden daher nicht angegeben.

Ebenso erwies sich auch die Frage nach der Größe der Aufnahmeflächen als hinfällig, da die Flächen bereits durch die Auswahl der Plots auf der Moräne festgelegt wurden (Kapitel 3.1).

In dem von mir entwickelten und verwendeten Aufnahmedatenblatt wurden folgende Grunddaten aufgenommen:

- Nr. und Datum der Aufnahme
- Name der BearbeiterIn
- Plotbezeichnung
- Allgemeine Charakterisierung des Geländes: Höhenlage, Exposition, Hangneigung
- Erkennbare natürliche oder anthropogene Störungen, wie z.B. Tierfraß, Tritt, Ablagerung standortsfremde Substrate u.a.

In der eigentlichen Aufnahme wird versucht, wichtige, unmittelbar erkennbare Merkmale eines Bestandes zu erfassen, wobei man zwischen qualitativen und quantitativen Bestandesdaten unterscheidet. Zumindest die Gefäßpflanzen sind vollständig zu erfassen. In vielen Vegetationstypen sind auch Moose und Flechten unverzichtbare Teile (DIERSCHKE, 1994), sie wurden jedoch in meinen Vegetationsaufnahmen nur als Lebensform quantitativ – zur Ergänzung – aufgenommen und nicht auf Taxa bestimmt.

Eine weitere Frage betrifft die Berücksichtigung von Arten, die zwar nicht in der Aufnahme­fläche wurzeln, aber von aussen in sie hineinragen. Da ein Großteil der vorkommenden Arten Polsterpflanzen sind und es gerade bei dieser Wuchsform sehr schwer ist, den Ursprungsort ihrer Wurzel festzustellen, ohne die Pflanzen zu verletzen, wurde diesbezüglich ein Kompromiss geschlossen. Ragte mehr als die Hälfte einer Pflanze in den Plot, wurde sie untersucht. Im anderen Fall wurde sie ignoriert.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der Deckungsgrad. Das ist der prozentuale Anteil der Teilflächen, die bei senkrechter Projektion aller oberirdischen, lebenden Pflanzenteile einer Sippe auf dem Boden gebildet werden (Flächenanteil der bei senkrechtem Sonnenstand von einer Sippe beschattet wird). Der Deckungsgrad ist ein relativ leicht zu erfassender Wert, der Hinweise auf die Wüchsigkeit, Konkurrenz­kraft und die bestandesbildende Bedeutung einer Sippe gibt. In der Praxis haben sich Schätzungen mit abgestuften Skalen bewährt. Den praktischen Anforderungen kommt die Deckungsgrad-Skala von Braun-Blanquet (seit 1928 in DIERSCHKE, 1994) sehr entgegen, sie bildet seit langem die Grundlage pflanzensoziologischer Arbeiten. Es gibt gleichmäßig und ungleichmäßig abgestufte Skalen (DIERSCHKE, 1994). Da viele Arten der in dieser Arbeit untersuchten Flächen eine nur geringe Deckung aufweisen, erscheint eine ungleichmäßig abgestufte Skala nützlicher. Aufbauend auf einer 25%-Stufung ist sie im unteren Bereich etwas verfeinert. Höhere Deckungsgrade bilden bei den Aufnahme­flächen dieser Arbeit eher die Ausnahme, daher reicht dort eine grobe Skalierung aus. Wesentlich häufiger als die reine Deckungsgrad-Skala wird eine kombinierte Abundanz-Dominanz-Skala – ebenfalls von BRAUN-BLANQUET (1921, 1928ff. in DIERSCHKE, 1994) – benutzt. Die Verbindung von Individuenzahl und Deckungsgrad wird als Artmächtigkeit bezeichnet. Gegenüber der reinen Dominanz-Skala erleichtert die Artmächtigkeit besonders auf größeren Flächen eine rasche Schätzung. Sie ist allerdings mit mehr subjektiven Elementen, z.B. „zahlreich“, „spärlich“, etc. belastet (DIERSCHKE, 1994).

Die siebenteilige Braun-Blanquet-Skala, die für die Aufnahmen verwendet wurde – enthält folgende Abstufung:

Tab. 3: Skala für die Schätzung der Artmächtigkeit nach BRAUN-BLANQUET (1921, 1928 ff in Dierschke, 1994)

Skala	Deckung
5	mehr als 3/4 der Fläche deckend, Individuenzahl beliebig
4	1/2 - 3/4 der Fläche deckend, Individuenzahl beliebig
3	1/4 - 1/2 der Fläche deckend, Individuenzahl beliebig
2	1/20 - 1/4 der Fläche deckend oder sehr zahlreich, bei geringerem Deckungsgrad
1	reichlich, aber mit geringem Deckungsgrad oder ziemlich spärlich aber mit größerem Deckungsgrad
+	spärlich, mit sehr geringem Deckungsgrad
r / -	ganz vereinzelt (meist nur ein Exemplar)

Auf diese Weise wurde exemplarisch und als Unterstützung für die Interpretation auf 14 Plots die Vegetation erhoben (Abb. 11). Für jeden Plot wurde eine komplette Artenliste für die Gefäßpflanzen erstellt und für jede der aufgenommenen Arten die Artmächtigkeit erhoben. Die Nomenklatur der Pflanzen orientiert an FISCHER et al. (2008).

4.3 Datenverarbeitung und -auswertung

4.3.1 Temperaturdaten

Verarbeitung

Die Temperaturdaten wurden mittels USB-Auslese-Dongle auf einen Computer übertragen (3.2.1 Temperaturerhebung). Mit Hilfe der Computer-Software „GP-Shell“ konnten die Daten mit dem Programm „Microsoft Office Excel 2003“ geöffnet und bearbeitet werden. Die in Excel-Arbeitsheets gespeicherten Daten mussten als „.csv“ (comma delimited) abgespeichert werden, um die weitere Bearbeitung und Auswertung im Statistikpaket R zu ermöglichen.

Auswertung

Die Daten wurden mit R, das als freie Software erhältlich ist, ausgewertet und graphisch dargestellt. R ist eine freie Programmiersprache und bietet eine umfangreiche Auswahl an statistischen und graphischen Techniken. Es ist verfügbar unter „www.r-project.org“. Je nach Standort werden verschiedene Versionen angeboten. Die in dieser Arbeit verwendete Version kann unter

<http://cran.at.r-project.org> abgerufen werden und bezieht sich auf den Standort Österreich. Gearbeitet wurde mit den Versionen R 2.7.1 und R 2.11.1.

4.3.2 Polsterdaten

Verarbeitung

Die im Freiland mit Papier und Bleistift dokumentierten Erhebungen wurden anschließend in das Programm „Microsoft Office Excel 2003“ eingegeben.

Auswertung

Mit diesem Programm wurden die graphischen Darstellungen und Tabellen erstellt. Die statistische Auswertung erfolgte mit R, siehe Kapitel Temperatúrauswertung.

4.3.3 Vegetationsdaten

Verarbeitung

Die Eingabe erfolgte mit Hilfe der Software „TURBOVEG for Windows 1.97a“. TURBOVEG ist ein Management-Werkzeug zur Verwaltung von vegetationskundlichen Datenbanken mit drei Funktionseinheiten: Dateneingabe, Datenauswahl und Datenexport (<http://www.synbiosys.alterra.nl/turboveg>).

Auswertung

Die im „TURBOVEG“ eingegebenen Daten wurden nach der Dateneingabe exportiert und anschließend mit dem Programm „JUICE 6.5“ ausgewertet. Hierfür wurden die Vegetationsdaten mittels „TWINSPAN“ (siehe Kapitel Statistik) geordnet. Anschließend erfolgte eine Literaturrecherche und mittels MUCINA und GRABHERR (1993) die Zuweisung der Vegetationsanalysen zu Pflanzengesellschaften.

4.4 Statistik

Twinspan

Twinspan – eine „two way indicator species analysis“ – ist eine hierarchisch divisive Klassifikationsmethode, die versucht, den gesamten Datensatz zu betrachten und diesen in sukzessiv kleiner werdende Gruppen aufzuteilen. Twinspan ist die wahrscheinlich am häufigsten verwendete Ordinations-Methode in der Vegetationskunde und in der Präsentation ihrer Ergebnisse vergleichbar mit der pflanzensoziologischen Tabellenarbeit. Tatsächlich ist sie auch von Hill (1979 in LEYER & WESCHE, 2007) in Anlehnung an diese entwickelt worden und basiert wiederum auf die kurz vorher entwickelte Korrespondenzanalyse (LEYER & WESCHE, 2007).

Chi-Quadrat-Test

Der Chi-Quadrat-Test ist ein statistischer Test zur Überprüfung der Unabhängigkeit zweier Merkmale X und Y. Die Nullhypothese hierfür lautet: H_0 = X und Y sind voneinander unabhängig. In dieser Arbeit wird ein Spezialfall des Chi-Quadrat-Tests verwendet, der Vierfeldertest. Dieser beruht auf einer 2x2-Kontingenztafel, die die Häufigkeitsverteilung zweier Merkmale visualisiert.

Die Testgröße χ^2 entspricht bei einem Signifikanzniveau von 0,05 und einem Freiheitsgrad: 3,8415. Überschreitet die berechnete Teststatistik die Testgröße χ^2 , so ist die Nullhypothese, die Annahme der Unabhängigkeit der Merkmale, mit der vorher festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit zu verwerfen (BACKHAUS, 1994).

Die Berechnung der Teststatistik erfolgte mit dem Programm R (Erklärung siehe Kapitel 3.3.1), mit den Versionen R 2.7.1 und R 2.11.1.

5. Ergebnisse

5.1. Übersicht über die Verteilung der Polster

In dieser Arbeit soll unter anderem die Auswirkung von Klimafaktoren zweier kontrastierender Expositionen auf die Verteilung von drei Polsterpflanzenarten untersucht werden. Ein Überblick über die Verteilung der untersuchten Polsterpflanzen je Exposition, wie in Abb.21 dargestellt, zeigt eine deutliche Mehrheit der Polster auf der nordexponierten Moränenflanke. Von den in Summe 6913 erhobenen Polstern wurden 4856 Polster (70%) auf der nordexponierten Seite und 2057 Polster (30%) auf der südexponierten Seite verzeichnet.

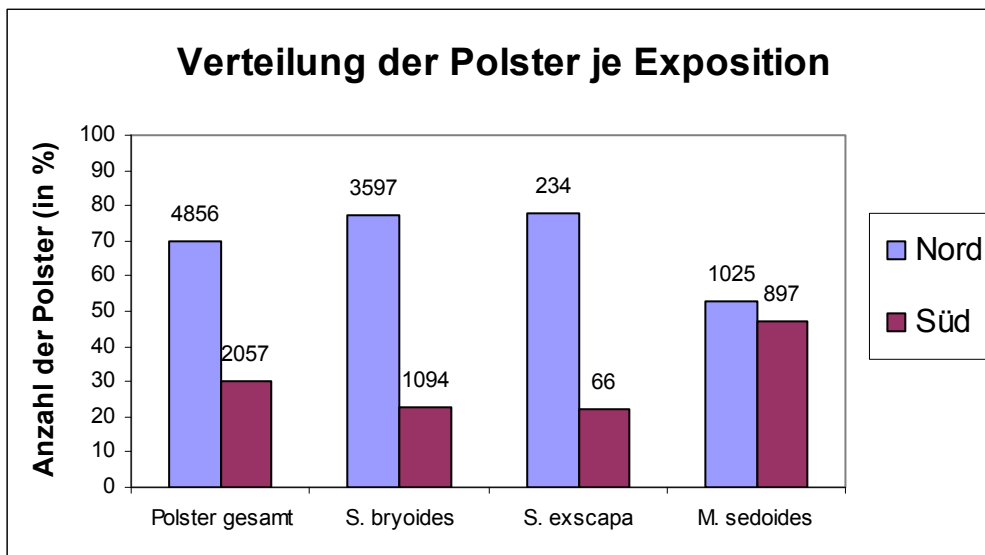


Abb. 21: Übersicht über die Verteilung der Polster jeder Art je Exposition, für jede Art wurden 100% angenommen, diese verteilen sich auf Nord und Süd. Über den Balken wurden die absoluten Polsteranzahlen angegeben.

Vor allem bei *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* folgt die Verteilung der Polster auf Nord- und Südexposition einem ähnlichen Trend. 77% aller *Saxifraga bryoides* - Polster und 78% aller *Silene exscapa* - Polster wurden auf der Nordexposition aufgefunden. Die Verteilung der *Minuartia sedoides* - Polster weist zwar in die gleiche Richtung, ist jedoch mit 53% auf nordexponiertem Hang und 47% auf südexponiertem Hang weniger ausgeprägt.

5.2. Analyse der Beschädigung

5.2.1 Verteilung der Polster je Beschädigungsklasse

Eine Darstellung der Unterschiede in der Beschädigung zwischen Polstern der nord- und südexponierten Fläche ist in Abb. 22 zu sehen. Die Polster in der jeweiligen Beschädigungsklasse werden in den kontrastierenden Expositionen Nord und Süd gegenübergestellt. Dabei werden alle Polster einer Art auf der jeweiligen Exposition (=100%) in die einzelnen Beschädigungsklassen aufgeteilt. So wurden z.B. 78,1% der *Saxifraga bryoides* - Polster der Nordexposition und 78,4% der *Saxifraga bryoides* - Polster der Südexposition in die Beschädigungsklassen 0 und 1 eingeordnet. Der Vergleich der Beschädigungsklasse 0 (0% des Polsters beschädigt (Tab.2)) ergibt, dass von allen *S. bryoides* - Polstern der nordexponierten Plots 40,7% zu dieser Klasse zählen, jedoch nur 36,5% aller *S. bryoides* - Polster der südexponierten Plots. In den Beschädigungsklassen 2, 3, 4 und 5 konnten in den nordexponierten Flächen insgesamt nur 21,9% der Polster und in den südexponierten Flächen nur 21,5% verzeichnet werden. In der Größenklasse 5 wurden auf der Nordexposition keine *Saxifraga bryoides* - Polster gefunden und auf der Südexposition nur 0,1%.

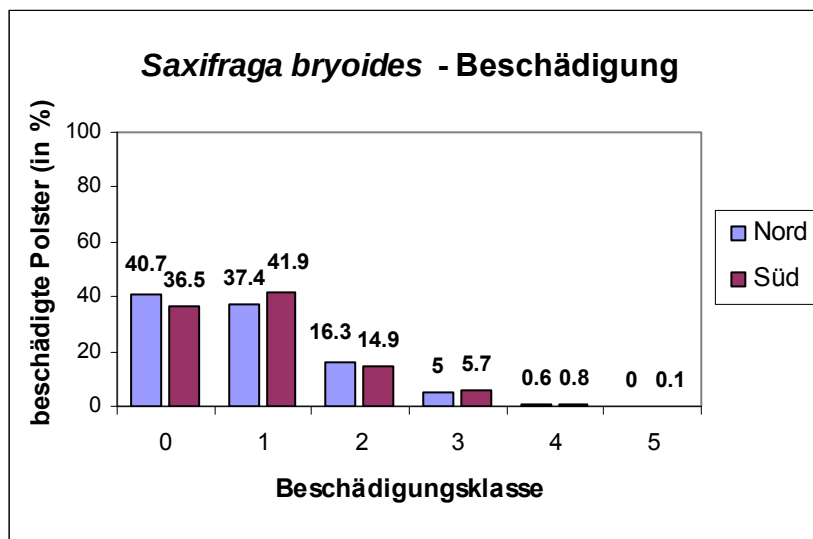


Abb. 22: Nord-Süd-Gegenüberstellung der *Saxifraga bryoides* – Polster in den jeweiligen Beschädigungsklassen.
Anzahl der Polster in % über den Balken angegeben. Alle Polster einer Art und auf einer Exposition ergeben 100%. Beschädigungsklassen 0-5: 0%, 1–24%, 25–49%, 50–74%, 75–99% und 100% der Polsterfläche beschädigt.

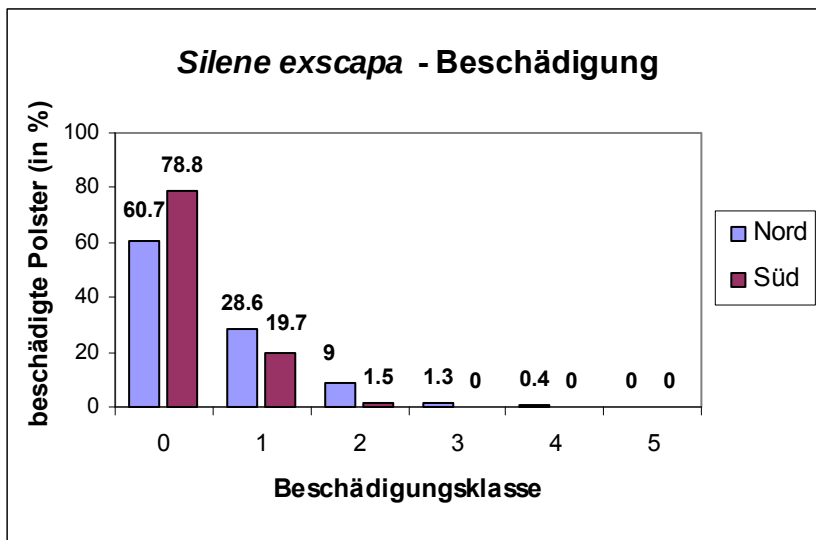


Abb. 23: Nord-Süd-Gegenüberstellung der *Silene exscapa* - Polster in den jeweiligen Beschädigungsklassen.
Anzahl der Polster in % über den Balken angegeben. Alle Polster einer Art und auf einer Exposition ergeben 100%. Beschädigungsklassen 0-5: 0%, 1–24%, 25–49%, 50–74%, 75–99% und 100% der Polsterfläche beschädigt.

Für *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* lässt sich hingegen in Abb. 23 und Abb. 24 bezüglich der Verteilung je Exposition ein umgekehrter Trend beobachten. So wurden beispielsweise bei *Silene exscapa* 78,8% aller südexponierten Polster in die Beschädigungsklasse 0 eingeteilt und nur 60,7% aller nordexponierten Polster mit 0% Beschädigung beurteilt. Wie bei *Saxifraga bryoides* konnte auch bei *Silene exscapa* der Großteil der Polster zu den Beschädigungsklassen 0 und 1 zugeteilt werden. In die Beschädigungsklassen 2, 3 und 4 fallen bei *Silene exscapa* 10,7% der Polster der Nordflanke und nur 1,5% der Polster der Südflanke.

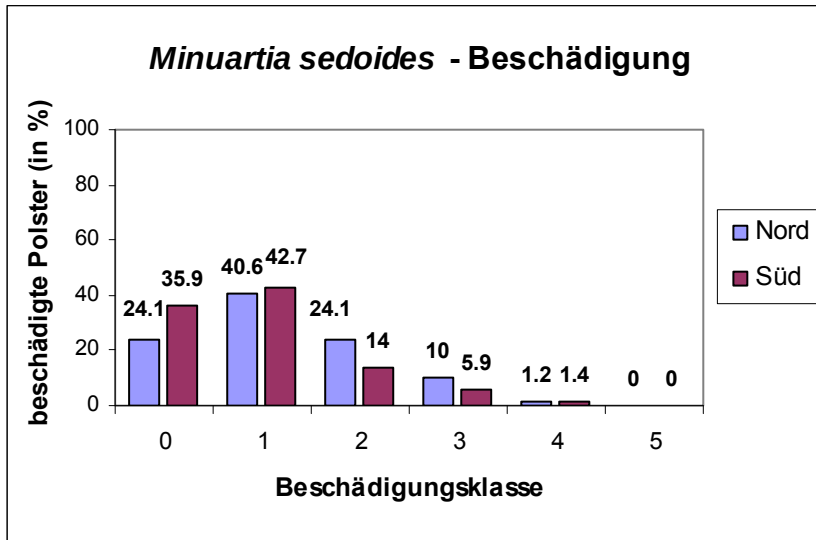


Abb. 24: Nord-Süd-Gegenüberstellung der *Minuartia sedoides* - Polster in den jeweiligen Beschädigungsklassen.
Anzahl der Polster in % über den Balken angegeben. Alle Polster einer Art und auf einer Exposition ergeben 100%. Beschädigungsklassen 0-5: 0%, 1–24%, 25–49%, 50–74%, 75–99% und 100% der Polsterfläche beschädigt.

Bei *Minuartia sedoides* weist die Beschädigungsklasse 1 mit einem ca. gleich großen Anteil der Polster der Nordflanke (40,6%) und der Südflanke (42,7%) die meisten Polster auf. Zur Beschädigungsklasse 0 zählen 24,1% der nordexponierten und 35,9% der südexponierten Polster. In der Beschädigungsklasse 2 wurde eine umgekehrte Verteilung ermittelt. Die Polster der Nordflanke haben mit 24,1% deutlich mehr Anteil in der Beschädigungsklasse 2 als die Polster der Südflanke (14%). In den Beschädigungsklassen 3 und 4 finden insgesamt 11,2% der nordexponierten Polster und 7,3% der südexponierten Polster Eingang. Keine Polster konnten mit einer Beschädigung von über 99% (Beschädigungsklasse 5) gefunden werden.

5.2.2 Vergleich der Arten in den Beschädigungsklassen

Um eine bessere Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Beschädigungsgrade zwischen den untersuchten Arten zu gewährleisten, wurde Abb. 25 erstellt. Für jede Beschädigungsklasse wurde wieder im expositionellen Vergleich der prozentuelle Anteil der gefundenen Polster der jeweiligen Art aufgetragen. So lässt sich z.B. für die Beschädigungsklasse 0 ein übermäßiger Anteil der *Silene exscapa* - Polster ablesen mit einem wiederum deutlichen Vorsprung auf der südexponierten Flanke. Dabei muss beachtet werden, dass alle Polster einer Art und auf einer Exposition 100% ergeben. In allen weiteren Beschädigungsklassen ist *Silene exscapa*, verglichen mit den beiden anderen Arten, prozentuell untervertreten.

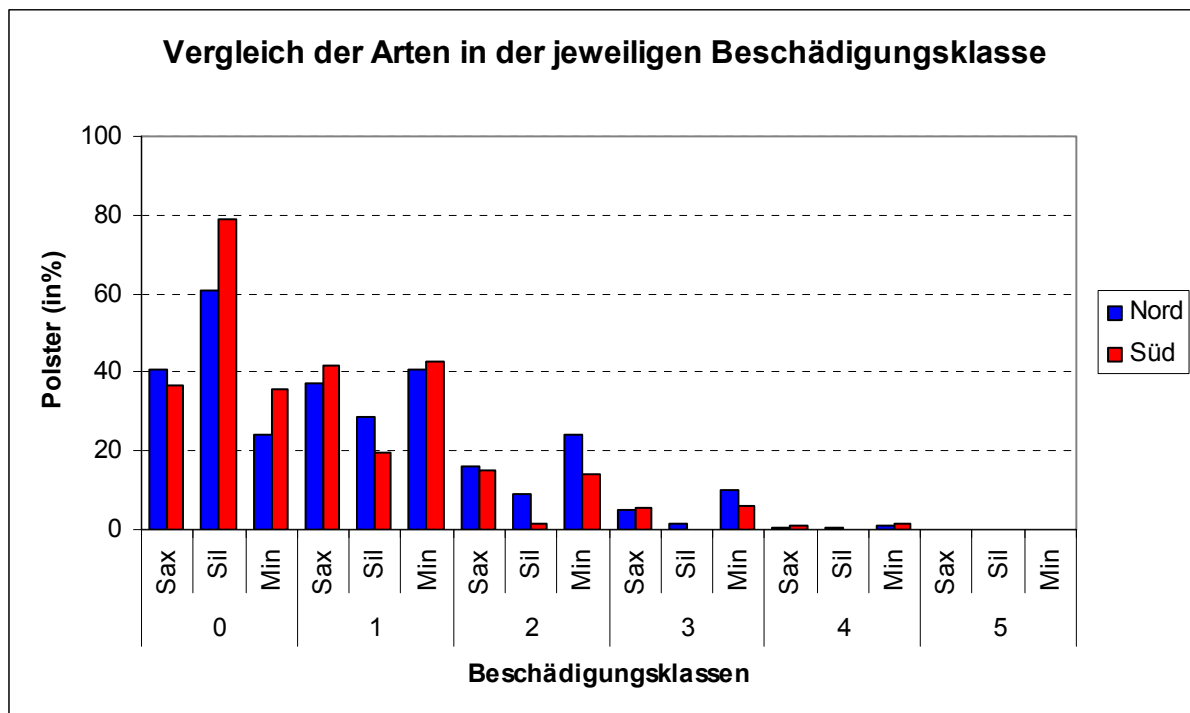


Abb. 25: Nord-Süd-Gegenüberstellung der Polster aller Arten in der jeweiligen Beschädigungsklasse. Sax = *Saxifraga bryoides*, Sil = *Silene exscapa*, Min = *Minuartia sedoides*. Alle Polster einer Art und einer Exposition ergeben 100%. Beschädigungsklassen 0-5: 0%, 1–24%, 25–49%, 50–74%, 75–99% und 100% der Polsterfläche beschädigt.

4.2.3 Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe

In der weiteren Analyse wurden zur Vereinfachung der Ergebnisse die sechs Beschädigungsklassen zu zwei Klassen zusammengefasst. Dies erfolgte in zwei verschiedenen Varianten (A und B). Variante A enthält die zwei Klassen „unbeschädigt“ und „beschädigt“. In der Klasse „unbeschädigt“ sind alle Polster enthalten, bei denen 0% der Polsterfläche beschädigt vorgefunden wurde, Klasse „beschädigt“ entspricht allen anderen Polstern. Variante B enthält die zwei Klassen „wenig beschädigt“ und „stark beschädigt“. Die Klasse „wenig beschädigt“ beinhaltet alle Polster mit < 25% der Fläche beschädigt. Die Klasse „stark beschädigt“ entspricht all jenen Polstern mit $\geq 25\%$ der Polsterfläche beschädigt.

5.2.3.a) Einteilungsvariante A: unbeschädigte/ beschädigt Polster

Um einen Eindruck davon zu bekommen wie viele Polster auf der Nord- und auf der Südexposition absolut unbeschädigt und wie viele beschädigt sind wurden die bestehenden sechs Beschädigungsklassen in die zwei Klassen „unbeschädigte Individuen“ und „beschädigte Individuen“ zusammengefasst (Tab. 4).

Tab. 4: Einteilung der Beschädigung in zwei Klassen: unbeschädigt und beschädigt.

Beschädigungsklasse 1	Beschädigungsklasse 2
0% der Fläche beschädigt	> 0% der Polsterfläche beschädigt
= unbeschädigt	= beschädigt

Aus Tab. 5 lassen sich die absoluten Zahlen sowie die prozentuellen Anteile der unbeschädigten und beschädigten Polster der jeweiligen Art ablesen. Dabei wird wiederum in Nord- und in Südexposition getrennt.

Tab. 5: Anzahl der Polster auf der jeweiligen Exposition, die unbeschädigt (0% der Polsterfläche) oder beschädigt (> 0% der Polsterfläche) sind.

	Exposition	unbeschädigt (in %)	beschädigt (in %)
<i>Saxifraga bryoides</i>	Nord	1464	40.7
	Süd	401	36.7
<i>Silene exscapa</i>	Nord	142	60.7
	Süd	52	78.8
<i>Minuartia sedoides</i>	Nord	247	24.1
	Süd	322	35.9

Um die Beschädigung auch innerhalb der drei untersuchten Arten vergleichen zu können wurde in Abb. 26 der Anteil der unbeschädigten (blaue Fläche) und der beschädigten Polster (rot-gelb schraffierte Fläche) aller Arten auf jeder Exposition in einer Abbildung dargestellt.

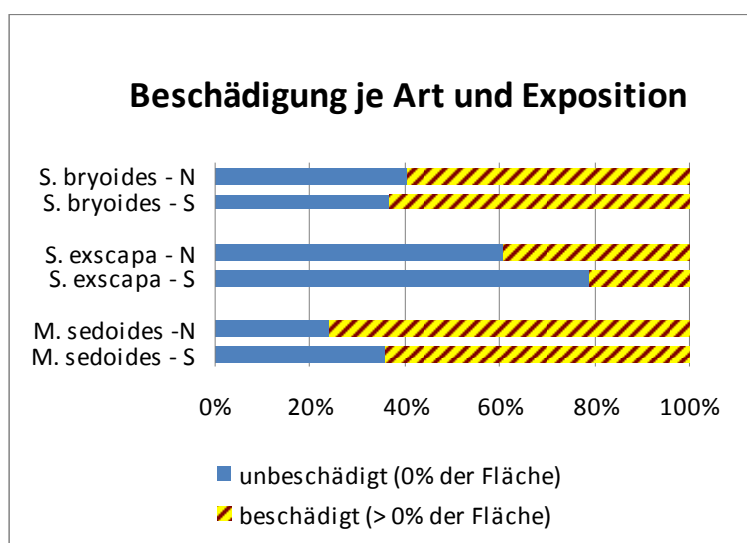


Abb. 26: prozentueller Anteil der unbeschädigten und beschädigten Polster. Vergleich von Nord- und Südexposition. 100% entsprechen allen Polstern einer Art auf einer Exposition.

Aus Abb. 26 wird offensichtlich, dass es bei *Silene exscapa* deutlich weniger „beschädigte“ Polster gibt als bei *Saxifraga bryoides* und *Minuartia sedoides*.

Am augenscheinlichsten ist die expositionelle Verteilung der *Silene exscapa* - Polster. Ähnlich ist die Verteilung der *Minuartia sedoides*- Polster. Der prozentuelle Anteil der unbeschädigten Polster ist bei beiden Arten auf der Südflanke höher als auf der Nordflanke. Bei *Saxifraga bryoides* ist die umgekehrte Situation festzustellen, die Beschädigung überwiegt auf der Südexposition.

Statistischer Test: Abhängigkeit der Beschädigung (unbeschädigt/ beschädigt) von der Exposition

Um die Abhängigkeit der Beschädigung von der Exposition statistisch zu prüfen, wurde ein Chi-Quadrat-Test verwendet (Kapitel 3.4).

Test - Ergebnis:

Aus den Ergebnissen des Chi-Quadrat-Tests (Tab. 6) ist ersichtlich, dass der p-Wert für alle drei geprüften Arten signifikant ist und daher in Folge die Nullhypothese verworfen werden kann. Dies bedeutet, dass bei allen drei Arten die Beschädigung von der Exposition abhängt.

Tab. 6: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests: Jede Art wurde einzeln getestet, df= degree of freedom, p-value = p-Wert.

Art	Chi-square (χ^2)	df	p-value
<i>Saxifraga bryoides</i>	5.5662	1	0.01831
<i>Silene exscapa</i>	6.6135	1	0.01012
<i>Minuartia sedoides</i>	31.3969	1	2.103e-08

5.2.3.b) Einteilungsvariante B: wenig beschädigte/stark beschädigte Polster

Da es vor allem bei den größeren Polstern beinahe keine Individuen gibt, die „absolut unbeschädigt“ sind wurde eine weitere Einteilung in die beiden Beschädigungsklassen „wenig beschädigt“ und „mehr als ein Viertel beschädigt“ unternommen (Tab. 7). Damit soll einem verzerrten Bild über die Beschädigungsverteilung entgegen gewirkt werden.

Tab. 7: Einteilung der Beschädigung in 2 Klassen: wenig beschädigt und stark beschädigt.

Beschädigungsklasse 1	Beschädigungsklasse 2
< 25% der Fläche beschädigt	≥ 25% der Polsterfläche beschädigt
= wenig beschädigt	= stark beschädigt

Aus Tab. 8 lassen sich die absoluten Zahlen sowie die prozentuellen Anteile der wenig beschädigten und der stark beschädigten Polster der jeweiligen Art ablesen. Dabei wird wiederum in Nord- und in Südexposition getrennt.

Tab. 8: Anzahl der Polster auf der jeweiligen Exposition, die wenig beschädigt (< 25% der Polsterfläche) oder stark beschädigt (≥ 25% der Polsterfläche) sind.

	Exposition	wenig beschädigt (in %)	stark beschädigt (in %)
<i>Saxifraga bryoides</i>	Nord	2808	78.1
	Süd	859	78.5
<i>Silene exscapa</i>	Nord	209	89.3
	Süd	65	98.5
<i>Minuartia sedoides</i>	Nord	663	64.7
	Süd	705	78.6

Um die Abhängigkeit der Beschädigung von der Exposition auch innerhalb der drei untersuchten Arten vergleichen zu können wurde in Abb. 27 der Anteil der wenig beschädigten (blaue Fläche) und der stark beschädigten Polster (rot-gelb schraffierte Fläche) aller Arten auf jeder Exposition in einer Abbildung dargestellt.

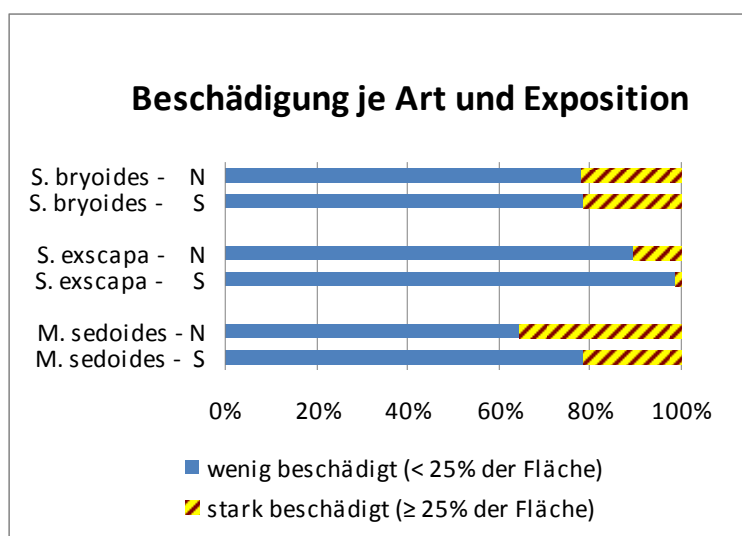


Abb. 27: prozentueller Anteil der wenig beschädigten und stark beschädigten Polster. Vergleich von Nord- und Südexposition. 100% entsprechen allen Polstern einer Art auf einer Exposition.

Bei *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* konnte ein stärkerer Unterschied in der Beschädigung je Exposition festgestellt werden. Hingegen sind der prozentuelle Anteil der „stark beschädigten“ *Saxifraga bryoides* - Polster in den Süd- und den Nordflächen wenig voneinander abweichend.

Statistischer Test auf Abhängigkeit der Beschädigung (wenig beschädigt/ stark beschädigt) von der Exposition

Wie in Punkt 4.2.3.a wurde für die statistische Prüfung der Abhängigkeit der Beschädigung von der Exposition ein Chi-Quadrat-Test verwendet.

Test - Ergebnis:

Die Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests wurden in Tab. 9 zusammengefasst. χ^2 - und p-Werte geben Auskunft über die Signifikanz der Abhängigkeit der Beschädigung von der Exposition.

Tab. 9: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests:
df = degrees of freedom (Freiheitswerte), p-value = p-Wert.

Art	Chi-square (χ^2)	df	p-value
<i>Saxifraga bryoides</i>	0.0765	1	0.782
<i>Silene exscapa</i>	4.3702	1	0.03657
<i>Minuartia sedoides</i>	44.4557	1	2.602e-11

Bei der Einteilung in „wenig beschädigt“ und „stark beschädigt“ ist die Verteilung der Polster je Exposition weniger signifikant. Für *Saxifraga bryoides* wurde ein p-Wert von 0,782 berechnet. Damit kann die Nullhypothese nicht verworfen werden, eine Abhängigkeit der Beschädigung von der Exposition lässt sich daher bei einer Einteilung der Beschädigung in wenig und stark beschädigt nicht bestätigen. Im Gegensatz dazu ist die Abhängigkeit von *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* von der Exposition mit einem p-Wert von 2.602e-11 signifikant.

5.3 Größenklassenverteilung

Um die Abhängigkeit der Polstergröße von der Exposition zu untersuchen, wurden in Abb. 28, Abb. 29 und Abb. 30 die Größenklasse (Tab. 1) gegen die Anzahl der Polster aufgetragen. Für jede Größenklasse wurde in einem Balkendiagramm der prozentuelle Anteil der Polster auf der Nord- und auf der Südflanke aufgetragen.

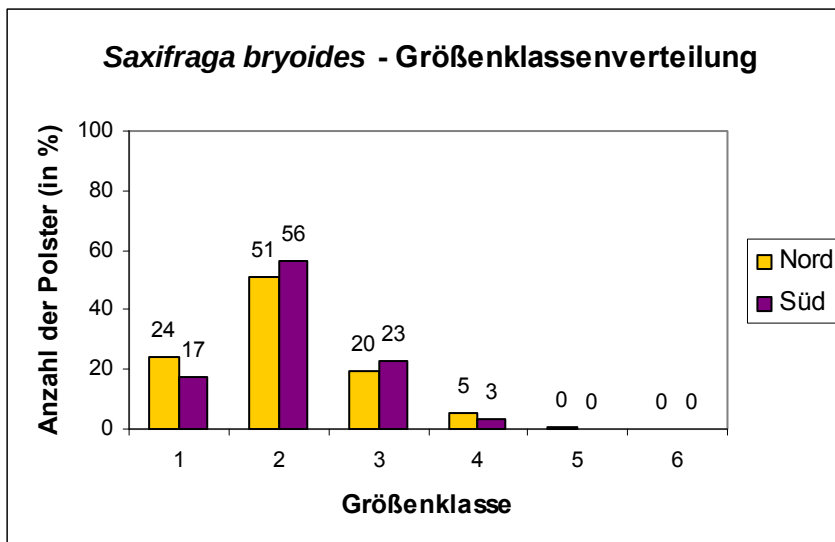


Abb. 28: Prozentueller Anteil der *Saxifraga bryoides* - Polster in den Größenklassen 1-6 mit Gegenüberstellung der Größenklassen-Verteilung auf Nord- und Südexposition. Alle Polster einer Exposition ergeben 100%.

Mehr als die Hälfte aller *Saxifraga bryoides* - Polster wurde sowohl in den nordexponierten (51%) als auch in den südexponierten (56%) Plots zur Größenklasse 2 (Durchmesser 3-7cm) gezählt. Zusammen mit den Polstern der Größenklasse 1 und der Größenklasse 3 haben 95% aller nordexponierten Polster und 96% aller südexponierten Polster einen Durchmesser < 10cm.

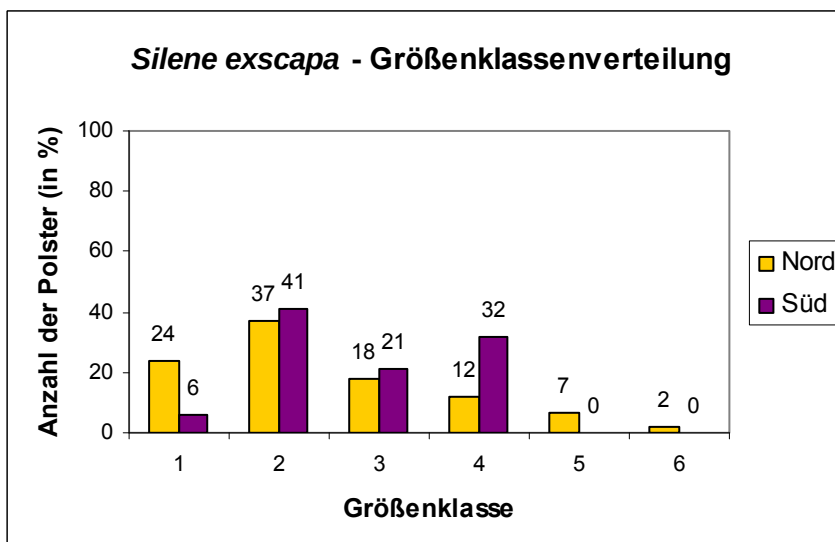


Abb. 29: Prozentueller Anteil der *Silene exscapa* - Polster in den Größenklassen 1-6 mit Gegenüberstellung der Größenklassen-Verteilung auf Nord- und Südexposition. Alle Polster einer Exposition ergeben 100%.

Auch bei *Silene exscapa* konnten in der Größenklasse 2 die meisten Polster verzeichnet werden. Die Verteilung der *Silene exscapa* - Polster ist jedoch breiter gefächert als die der *Saxifraga bryoides* - Polster. Vor allem bei den Polstern der

Größenklasse 4 (Polsterdurchmesser >10-20cm) konnte – mit 32% der südexponierten Polster und nur 12% der nordexponierten Polster – ein bedeutender Unterschied zwischen den Expositionen festgestellt werden. Polster der Größenklasse 5 (Polsterdurchmesser >20-30cm) konnten nur auf der Nordflanke festgestellt werden (7%) und immerhin konnte auch bei 2% der Polster der Nordflanke ein Durchmesser > 30cm gemessen werden.

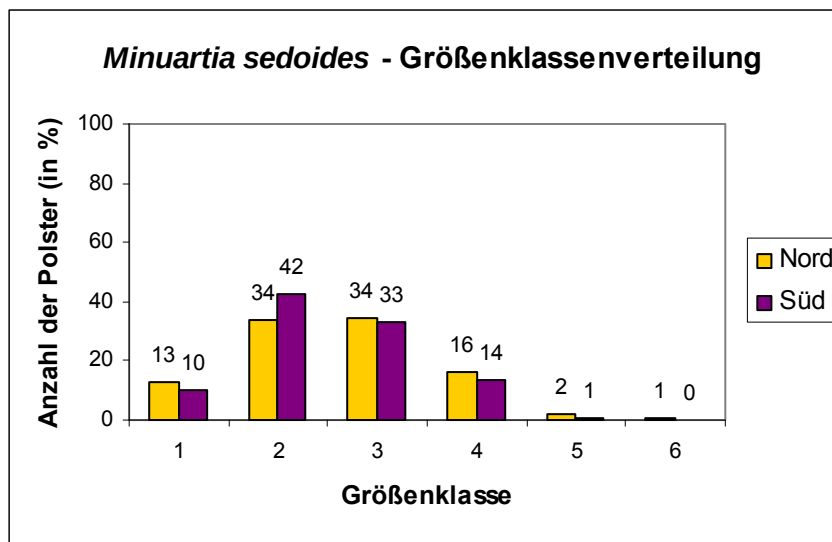


Abb. 30: Prozentueller Anteil der *Minuartia sedoides* - Polster in den Größenklassen 1-6 mit Gegenüberstellung der Größenklassen-Verteilung auf Nord- und Südexposition. Alle Polster einer Exposition ergeben 100%.

Die Größenklassen-Verteilung der *Minuartia sedoides* - Polster erinnert an eine Normalverteilung mit „links-Schiefe“. Der Großteil der Polster – 68% der Polster der Nordexposition und 75% der Polster der Südexposition – zählen zu den Größenklassen 2 und 3 und besitzen somit einen Durchmesser von 3-10cm.

5.4 Abhängigkeit der Beschädigung von Polstergröße und Exposition

In diesem Kapitel wird die Abhängigkeit der Beschädigung von den beiden Merkmalen Größe und Exposition untersucht. Für eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Stichprobengrößen wurden die sechs Größenklassen zu zwei Größenklassen zusammengefasst. Dabei bilden jene Polster mit einem Durchmesser von 3-7cm die Größenklasse 1 und jene Polster mit einem Durchmesser ≥ 7 cm die Größenklasse 2. Für die Polster mit einem Durchmesser < 3cm wurde im Freiland keine Beschädigung gemessen, sie werden daher in diese Analyse nicht mit einbezogen.

Die Beschädigung wurde ebenfalls in zwei Klassen unterteilt. „Wenig beschädigt“ sind Polster, deren Beschädigungsanteil weniger als 25% der Polsterfläche betrug. „Stark beschädigte“ Polster wiesen auf mehr als 25% der Polsterfläche Beschädigungen auf.

5.4.1 *Saxifraga bryoides*

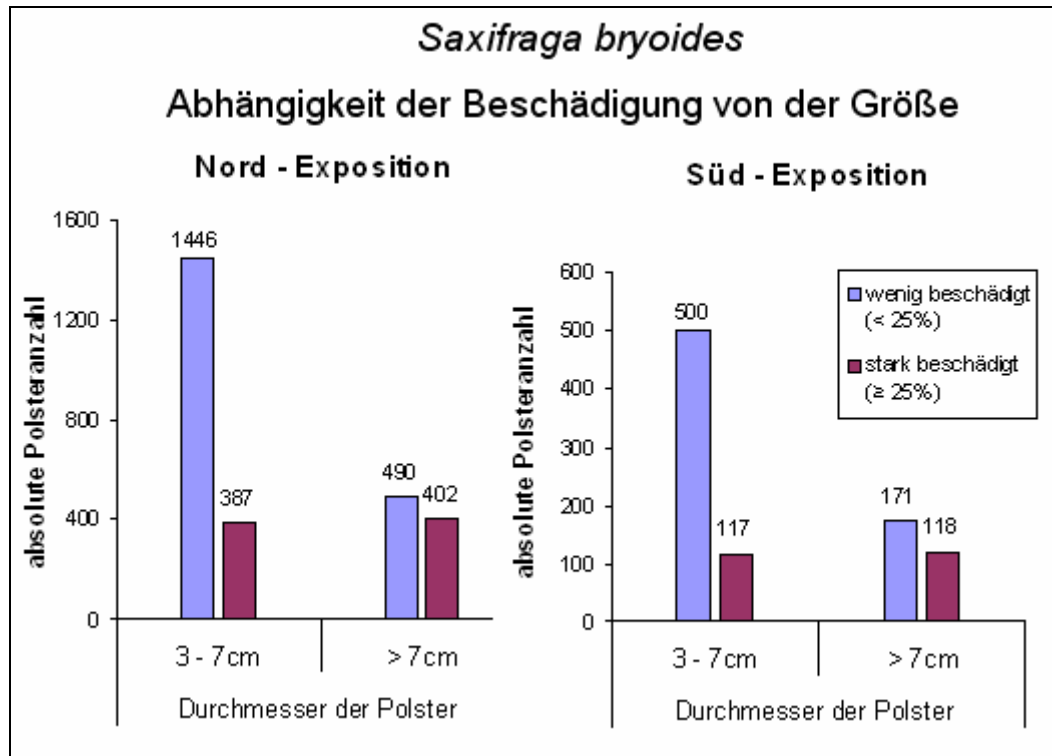


Abb. 31: *Saxifraga bryoides* - Polster: Gegenüberstellung der „kleinen“ (Polsterdurchmesser 3-7cm) und „großen“ (Polsterdurchmesser >7cm) Polster auf Nord- und Südexposition und deren jeweiliges Beschädigungsausmaß.

Aus Abb. 31 geht deutlich hervor, dass die Beschädigung von der Größe der *Saxifraga bryoides* - Polster abhängt. Sowohl in den Plots der Nordexposition als auch der Südexposition sind ca. 3mal so viele Polster der Größenklasse 1 (3-7cm) „wenig beschädigt“ (blauer Balken) als in der Größenklasse 2. Die Verteilung der „stark beschädigten“ Polster hingegen ist sowohl auf den nord- als auch auf den südexponierten Flächen in den beiden Größenklassen ausgeglichen.

5.4.2 *Silene exscapa*

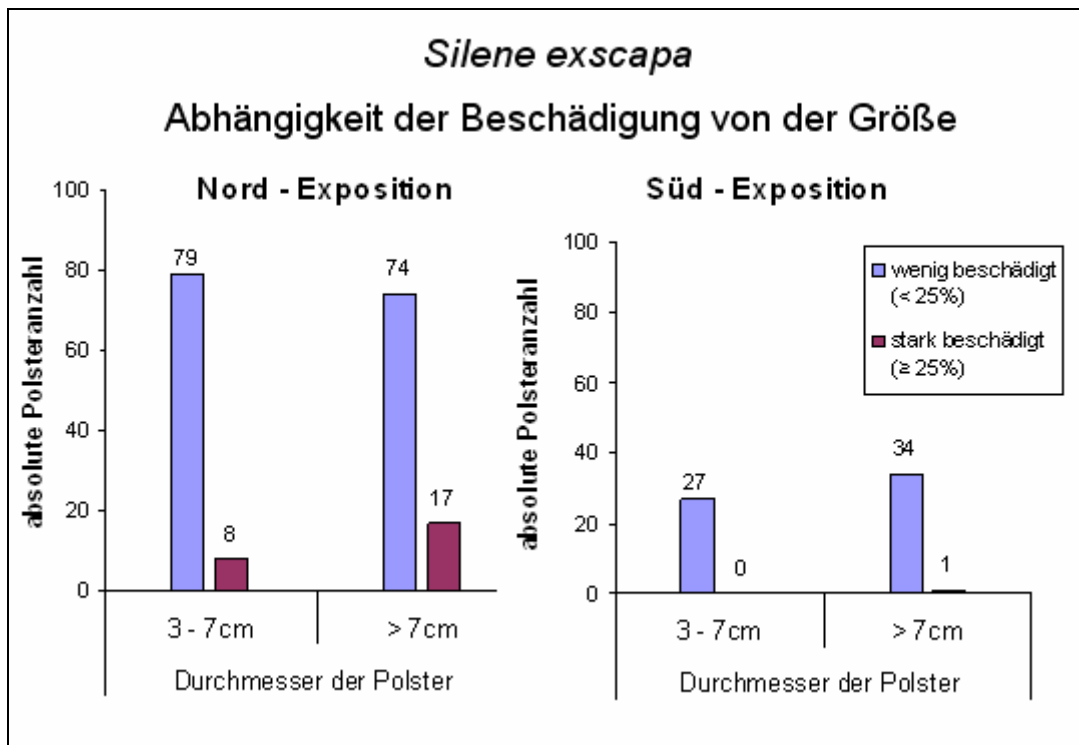


Abb. 32: *Silene exscapa* - Polster: Gegenüberstellung der „kleinen“ (Polsterdurchmesser 3-7cm) und „großen“ (Polsterdurchmesser >7cm) Polster auf Nord- und Südexposition und deren jeweiliges Beschädigungsausmaß.

Bei *Silene exscapa* kann eine Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe weniger ausgeprägt festgestellt werden. Dennoch geht die Tendenz zumindest auf der Nordflanke in die gleiche Richtung. Von den „großen Polstern“ konnten mehr Polster mit „stark beschädigt“ beurteilt werden als bei den „kleinen Polstern“ und umgekehrt konnten mehr „wenig beschädigte“ Polster unter den „kleinen Polstern“ festgestellt werden als unter den „großen Polstern“.

Auf der Südexposition konnten hingegen bei den Polstern der Größenklasse 1 (3-7cm) kein einziger Polster mit einer Beschädigung $\geq 25\%$ verzeichnet werden und bei den „großen Polstern“ mit > 7cm Durchmesser nur ein einziger Polster.

5.4.3 *Minuartia sedoides*

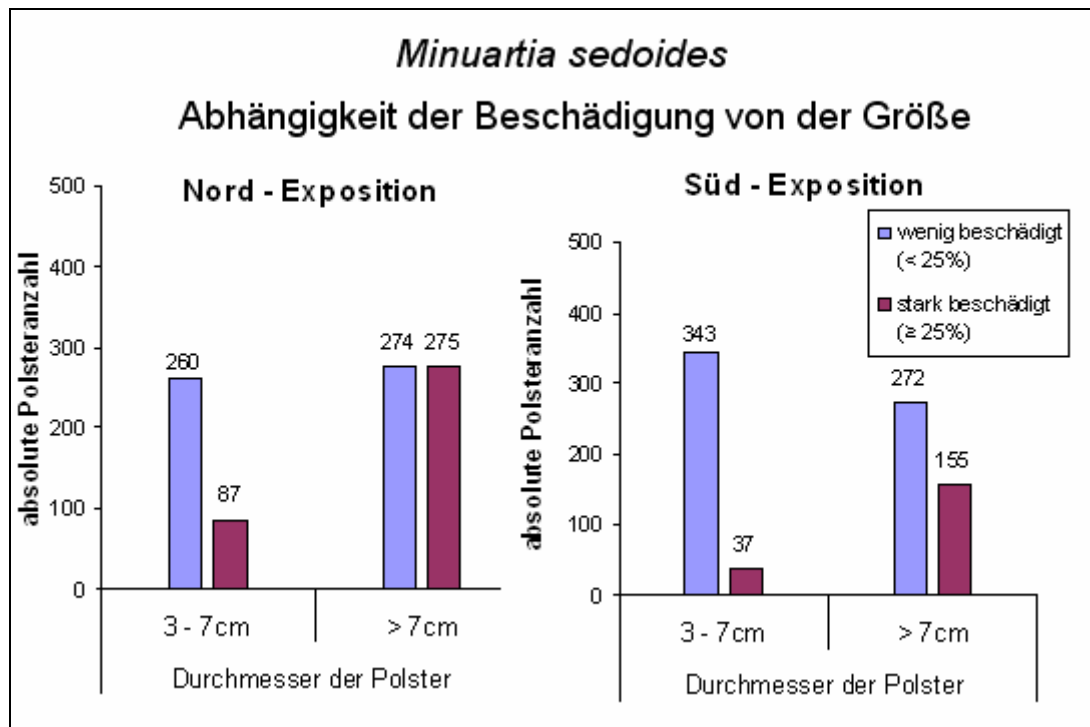


Abb. 33: *Minuartia sedoides* - Polster: Gegenüberstellung der „kleinen“ (Polsterdurchmesser 3-7cm) und „großen“ (Polsterdurchmesser >7cm) Polster auf Nord- und Südexposition und deren jeweiliges Beschädigungsmaß.

Bei *Minuartia sedoides* kann auf der Südexposition ein ähnlicher Trend festgestellt werden, wie bei *Saxifraga bryoides*. Die Polster mit einem Durchmesser von 3-7cm weisen weniger Beschädigung auf (343 von 380 Polstern sind „wenig beschädigt“) als die Polster mit einem Durchmesser >7cm. Auch sind die „stark beschädigten“ Polster vor allem unter den größeren Polstern zu finden.

Auf der Nordexposition ist das Verhältnis der Beschädigung bei den Polstern der Größenklasse 2 mit 274 „wenig beschädigten“ Polstern und 275 „stark beschädigten“ Polstern relativ ausgewogen.

Statistischer Test auf Abhängigkeit der Beschädigung (wenig beschädigt/stark beschädigt) von der Größe

Für die statistische Prüfung der Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe wurde ein Chi-Quadrat-Test durchgeführt. In Tab. 10 ist die Anzahl der Polster angegeben, die die beiden Merkmale Beschädigung (<25%/≥25%) und Größe (<7cm/≥7cm) beinhalten. Es wurde jeweils für eine Art auf einer Exposition ein eigener Test durchgeführt.

Tab. 10: Vierfeldertafel für Chi-Quadrat-Tests im R: Abhängigkeit der Beschädigung von der Polstergröße

Art + Exposition	Beschädigung	Größe des Polsters (in cm)	
		< 7	≥ 7
<i>Saxifraga bryoides</i> - Nord	< 25%	1446	490
	≥ 25%	387	402
<i>Saxifraga bryoides</i> - Süd	< 25%	500	171
	≥ 25%	117	118
<i>Silene exscapa</i> - Nord	< 25%	79	74
	≥ 25%	8	17
<i>Silene exscapa</i> - Süd	< 25%	27	34
	≥ 25%	0	1
<i>Minuartia sedoides</i> - Nord	< 25%	260	274
	≥ 25%	87	275
<i>Minuartia sedoides</i> - Süd	< 25%	343	272
	≥ 25%	37	155

Test - Ergebnis:

Aus den Ergebnissen des Chi-Quadrat-Tests (Tab. 11) geht hervor, dass der p-Wert sowohl für *Saxifraga bryoides* als auch für *Minuartia sedoides* hoch signifikant ist und daher die Nullhypothese verworfen werden kann. Für diese beiden Arten konnte die Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe eindeutig nachgewiesen werden. Bei *Silene exscapa* hingegen scheint eine solche Abhängigkeit nicht vorhanden zu sein. Vor allem auf der Südexposition wurde ein hoher p-Wert ($p=0.8956$) errechnet.

Tab. 11: Ergebnisse der Chi – Quadrat – Tests: Jede Art wurde einzeln getestet, df = degree of freedom, p-value = p-Wert.

Art und Exposition	Chi-square (χ^2)	df	p-value
<i>Saxifraga bryoides</i> - Nord	166.2083	1	2.2e-16
<i>Saxifraga bryoides</i> - Süd	47.8606	1	4.576e-12
<i>Silene exscapa</i> - Nord	2.576	1	0.1085
<i>Silene exscapa</i> - Süd	0.0172	1	0.8956
<i>Minuartia sedoides</i> - Nord	54.2373	1	1.777e-13
<i>Minuartia sedoides</i> - Süd	76.7875	1	2.2e-16

5.5 Temperatur-Auswertung

5.5.a) Tagesverlauf der Temperatur

In Abb. 34 wird der Verlauf der Bodentemperatur in 5-10cm Tiefe eines ganzen Tages dargestellt. Die Tagesschwankungen werden durch die Bodenschicht und die Vegetation gemildert (HÜLBER et al., 2006). Es zeigt sich jedoch ein Unterschied von ca. 3-4°C zwischen den jeweiligen Plotpaaren der beiden kontrastierenden Expositionen Nord und Süd. So lässt sich beispielsweise aus Plot 18 (Abb. 34) ein Tagesmittelwert des 25. August 2009 in 5-10cm Tiefe von 12,2°C im nordexponierten und 16,2°C im südexponierten Plot ablesen. Die maximale Tagestemperatur in 5-10cm Tiefe betrug am 25. August 2009 in Plot 18 auf der Nordflanke 16,9°C und auf der Südflanke 18,9°C.

Aus Plot 25 lässt sich für den nordexponierten Plot ein Tagesmittelwert von 11,5°C und für den südexponierten Plot ein Tagesmittelwert von 15,7°C ablesen.

In Plot 59 betrug die maximale Tagestemperatur auf der Nordflanke (N59) 14,2°C und auf der Südflanke (S59) 19,6°C.

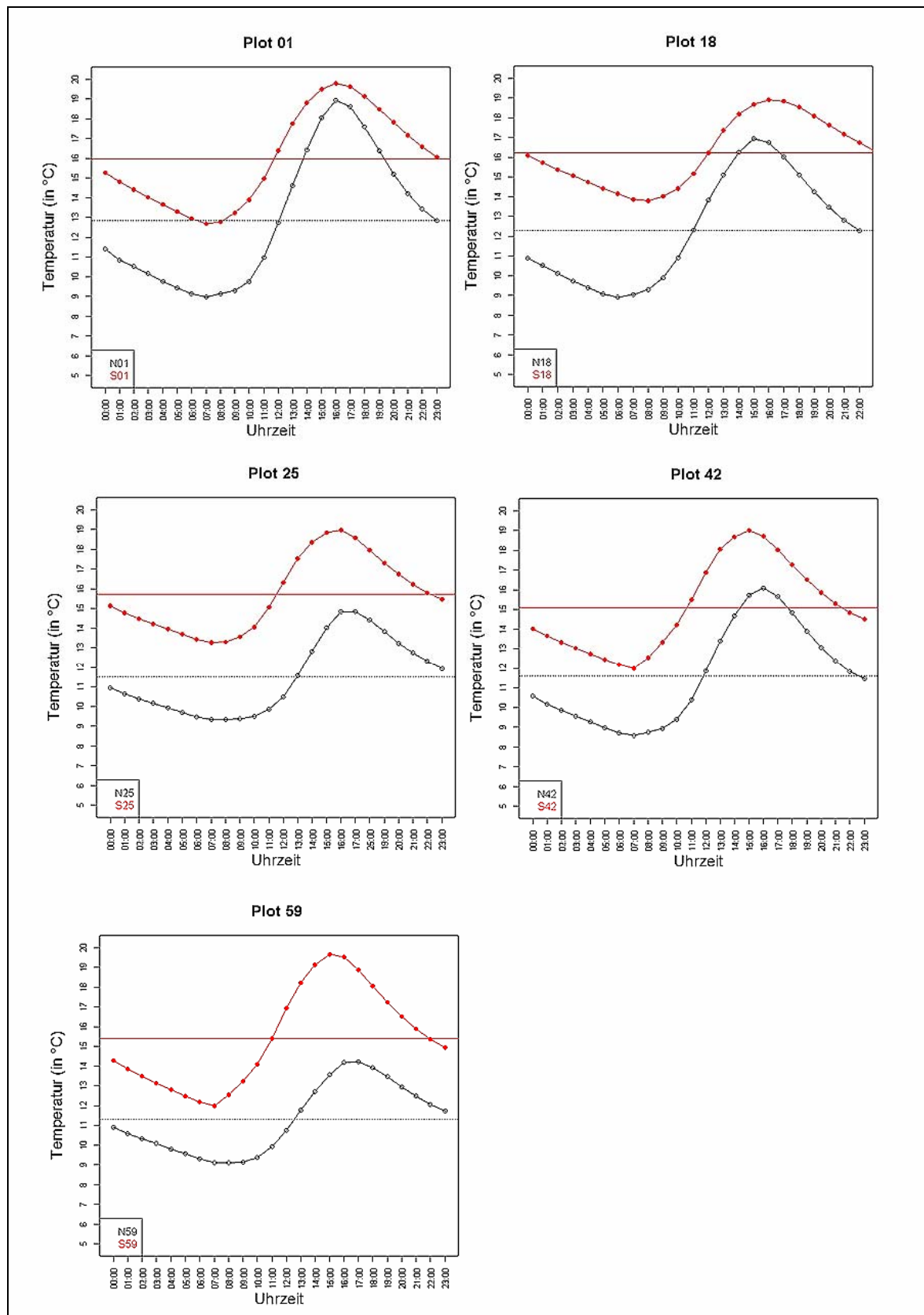


Abb. 34: Vergleich der gemessenen Temperaturen in je zwei gegenüberliegenden Plots. Temperaturdaten vom 25.8.2009, 00:00 Uhr bis 23:00 Uhr. Abgebildet sind stündliche Messwerte (●, ○) und der Tagesmittelwert (—, ---).

5.5.b) Temperatur-Monatsübersicht

Im Hochgebirge sind die Pflanzen nicht nur den Temperaturschwankungen im Tagesverlauf ausgesetzt, sondern das Klima kann sich auch innerhalb einiger Tage stark verändern. So wurde beispielsweise in Plot 01 des südexponierten Hanges in 5-10cm Tiefe am 21. Juli 2010 eine Tagesmitteltemperatur von 17,2°C und am 25. Juli 2010 von 6,8°C gemessen, ein Temperatursturz von 10,4°C innerhalb von 4 Tagen. Im nordexponierten Plot 01 konnte ein ebenfalls starker Temperaturabfall aufgezeichnet werden. Es wurde dort für den 21. Juli 2010 eine Tagesmitteltemperatur von 13,8°C und für den 25. Juli 2010 von 3,6°C gemessen.

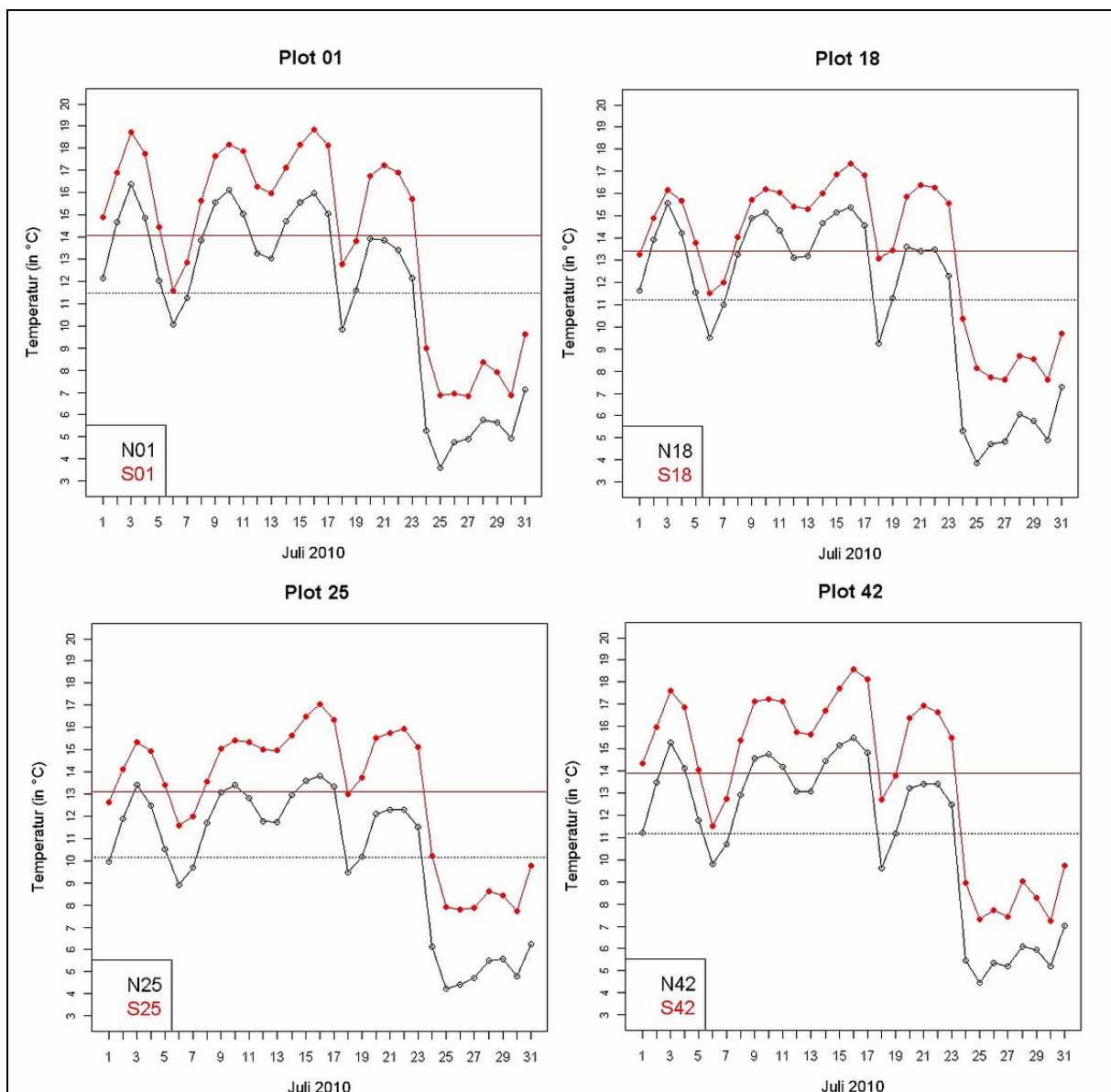


Abb. 35: Vergleich der Temperatur-Tages- und Monatsmittelwerte in je zwei gegenüberliegenden Plots. Temperaturdaten vom 1.7.2010, 00:00 Uhr bis 31.7.2010, 24:00 Uhr, abgebildet sind Tagesmittelwerte (●, ○) und Monatsmittelwerte (—, ···).

Wie in Abb. 35 ersichtlich, betrug die Monatsmitteltemperatur im Juli 2010 im nordexponierten Plot N01 11,5°C und im südexponierten Plot S01 14,1°C. Im Plotpaar 25 beträgt der Temperaturunterschied der Monatsmittelwerte zwischen nordexponiertem Plot (10,1°C) und südexponiertem Plot (13,1°C) sogar 3°C. Maximale Bodentemperaturen (in 5-10cm Tiefe) wurden im nordexponierten Plot N01 am 3. Juli 2010 um 18:00 Uhr mit 22,9°C aufgezeichnet und im südexponierten Plot S01 ebenfalls am 3. Juli 2010 um 17:00 Uhr mit 23,5°C. Minimaltemperaturen wurden im nordexponierten Plot N18 am 31. Juli 2010 um 8:00 Uhr mit 2,2°C gemessen und im südexponierten Plot S18 ebenfalls am 31. Juli 2010 um 8:00 Uhr mit 6,1°C.

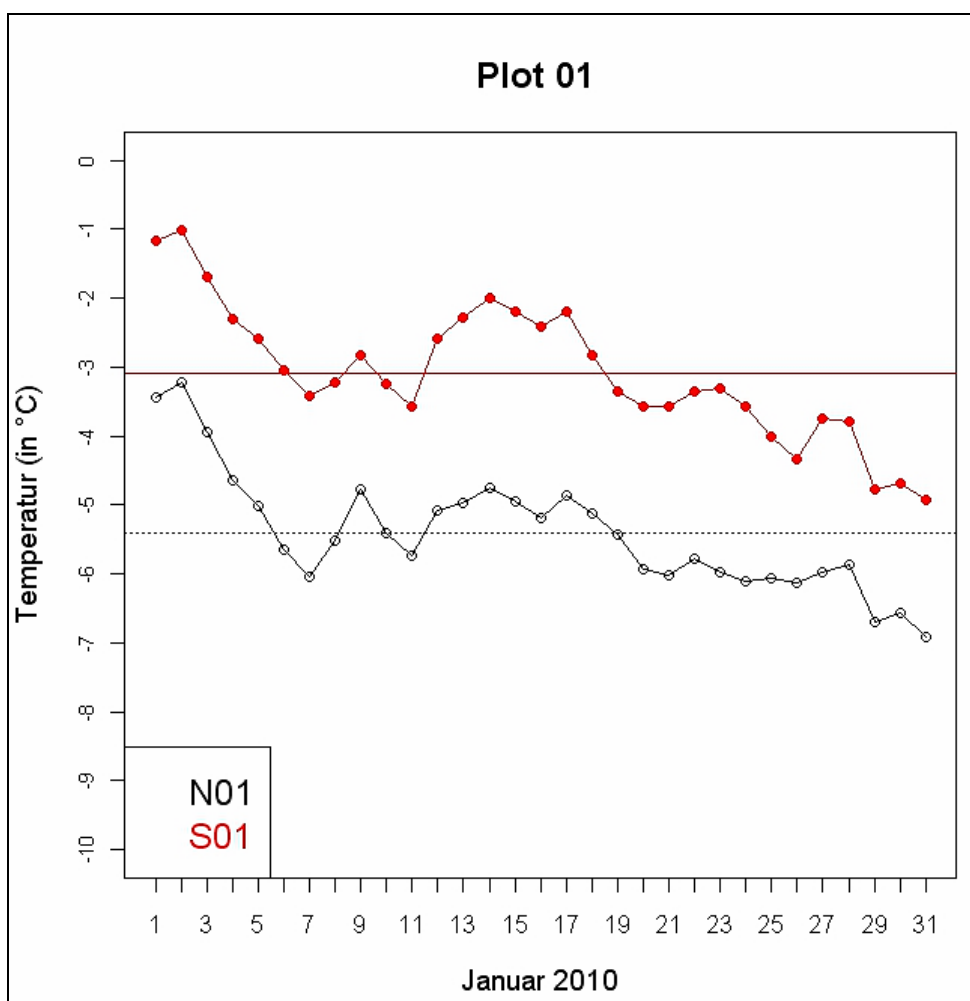


Abb. 36: Vergleich der Temperatur – Mittelwerte in Plot N01 und Plot S01. Temperaturdaten vom 1.1.2010, 00:00 Uhr bis 31.1.2010, 24:00 Uhr, abgebildet sind Tagesmittelwerte (●,○) und Monatsmittelwerte (—,---).

Für Januar konnten als Monatsmitteltemperatur in 5-10cm Tiefe im nordexponierten Plot N01 -5,4°C und im südexponierten Plot S01 -3,1°C berechnet werden.

Maximale Bodentemperaturen (in 5-10cm Tiefe) wurden im nordexponierten Plot N01 am 2. Januar 2010 von 13:00 Uhr bis 20:00 Uhr mit $-3,1^{\circ}\text{C}$ aufgezeichnet und im südexponierten Plot S01 ebenfalls am 2. Januar 2010 von 13:00 Uhr bis 18:00 Uhr mit $-0,9^{\circ}\text{C}$. Minimaltemperaturen wurden im nordexponierten Plot N01 am 31. Januar 2010 um 22:00 Uhr mit $-7,1^{\circ}\text{C}$ gemessen und im südexponierten Plot S01 ebenfalls am 31. Jänner 2010 um 11:00 Uhr mit $-5,2^{\circ}\text{C}$.

5.5.c) Temperatur-Jahresübersicht

Im Hochgebirge können beträchtliche Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen exponierten Flächen auftreten. Dies wird anhand von Abb. 37 mittels zweier Bodentemperaturkurven der zwei gegensätzlich exponierten Moränenflanken exemplarisch erläutert. Die Temperatur wurde in 5-10cm Bodentiefe im Stundenintervall aufgezeichnet, daraus wurden die Tagesmittelwerte errechnet, welche in Abb. 37 für ein ganzes Jahr aufgetragen wurden. Die Linien verbinden jeweils den Tagemittelwert eines Tages mit dem Tagesmittelwert des nächsten Tages. Aus der Temperaturkurve des nordexponierten Plots (N01) aus Abb. 37 kann ein Jahresmittelwert von $1,7^{\circ}\text{C}$ abgelesen werden. Verglichen mit diesem ist der Jahresmittelwert des südexponierten Plots (Plot S01) von $4,7^{\circ}\text{C}$ um 3°C wärmer. Mit $-11,2^{\circ}\text{C}$ wurde im nordexponierten Plot am 9. März 2010 um 13:00 Uhr die geringste Bodentemperatur verzeichnet. Für den südexponierten Plot konnte eine minimale Temperatur von $-6,7^{\circ}\text{C}$ am 9. März 2010 um 11:00 Uhr gemessen werden.

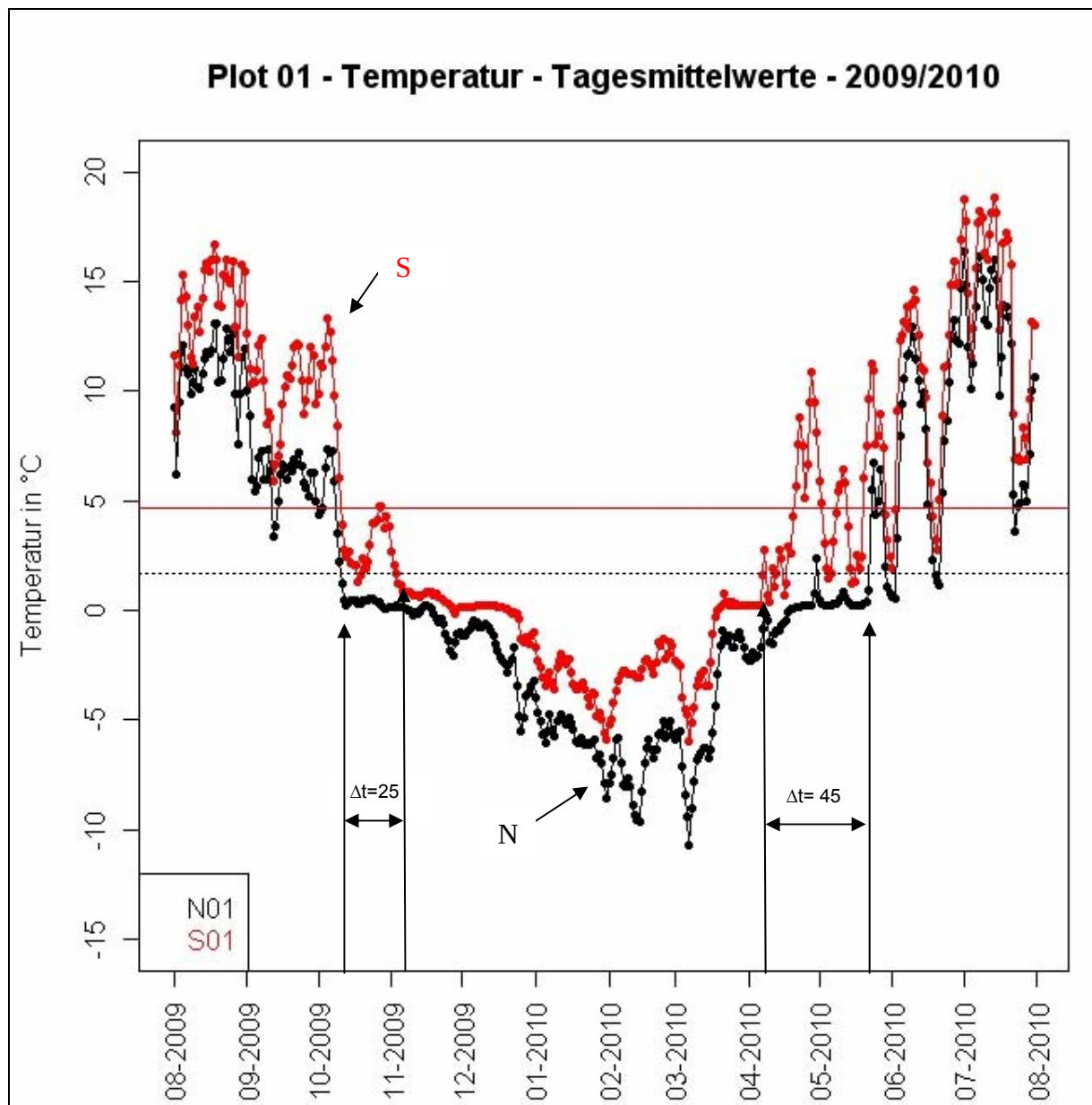


Abb. 37: Jährlicher Verlauf der Bodentemperatur vom 3.8.2009, 00.00 Uhr bis 2.8.2010, 23.00 Uhr. Vergleich der Temperatur-Mittelwerte am Beispiel Plot N01/S01. Die Temperaturlogger wurden in 5-10cm Tiefe angebracht, abgebildet sind Tagesmittelwerte (●,●) und Jahresmittelwerte (—,....), sowie unterschiedlicher Zeitpunkt des Einsetzens der dauerhaften Schneedecke und der Ausaperung auf der jeweiligen Exposition (Δt in Tagen).

5.6 Vegetationsanalyse

Tab. 12: Twinspananalyse der 14 Vegetationsaufnahmen, D= Differentialart/Trennart, Bgl.= Konstante Begleiter, K=Kennart, A=Androsacetum alpinae, S=Sieversio-Oxyrietum digynae, F=Festucetum halleri.

laufende Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Geländenummer	5	6	7	4	1	2	3	12	13	14	11	8	9	10
Plotbezeichnung	N50	N42	N25	N18	N59	N1	N5	S18	S5	S25	S1	S59	S42	S50
Aufnahmefläche (m2)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Exposition	N	N	N	N	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S
DA <i>Festuca intercedens</i>	1	1	.	1	1	2	.	.	.	.	.	.	.	+
Bgl.A <i>Minuartia sedoides</i>	1	2	2	2	1	1	1	r	1	1	+	2	1	1
Bgl.A+S <i>Achillea moschata</i>	.	.	+	+	1	+	2	2	2	2	2	2	2	2
Bgl.A+S <i>Cerastium uniflorum</i>	+	+	+	1	1	+	+	.	.	.	r	.	.	.
Bgl.A+S <i>Doronicum clusii</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bgl.A+S <i>Saxifraga bryoides</i>	2	2	2	3	1	2	2	1	1	1	+	1	1	1
Bgl.A+S <i>Trifolium pallescens</i>	.	.	+	2	.	.	.	2	2	2	2	1	2	.
Bgl.A+S <i>Leucanthemopsis alpina</i>	+	+	1	+	+	+	+	+	1	+	r	+	r	+
Bgl.A+S <i>Poa alpina</i>	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	+	+
Bgl.A+S <i>Silene exscapa</i>	2	+	+	.	1	.	1	.	+	.	+	.	1	.
DS <i>Luzula alpinopilosa</i>	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Bgl.S <i>Sedum alpestre</i>	.	+	+	.	+	.	.	+	r	.	+	+	+	+
Bgl.S <i>Agrostis rupestris</i>	.	.	.	+	.	.	+	2	2	2	2	+	1	1
KF <i>Festuca halleri</i>	.	+	+	.	1	.	1	3	3	3	2	2	2	3
Bgl.F <i>Agrostis alpina</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.
Bgl.F <i>Hieracium alpinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
Bgl.F <i>Leontodon helveticus</i>	r	.	.	+	.	.	.	+	r	+	.	+	+	+
Bgl.F <i>Phyteuma hemisphaericum</i>	+	.	.	.	+	+	.	r	.	+	.	+	r	1
Bgl.F <i>Veronica bellidioides</i>	.	r	r	.	.	.	.	1	.	+	+	1	+	1
Bgl.F <i>Avenula versicolor</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	+
<i>Persicaria vivipara</i>	+	1	.	1	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Primula glutinosa</i>	1	2	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trisetum spicatum</i>	1	+	+	+	.	+	+	.	.	r	.	.	.	.
<i>Salix herbacea</i>	.	1	+	+	2	+	1	.	.	.	.	1	1	+
<i>Euphrasia minima</i>	.	+	+	1	+	+	.	1	1	1	1	1	1	+
<i>Luzula spicata</i>	1	1	1	1	1	+	1	1	1	+	+	+	+	+
<i>Campanula scheuchzeri</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	2	+	r	r	.
<i>Botrychium lunaria</i>	.	.	.	.	.	.	.	+	+	1	+	+	1	.
<i>Cardamine resedifolia</i>	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	+	.	+
<i>Anthoxanthum alpinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	1	+	.	+	.	.	.
<i>Gnaphalium supinum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+
<i>Senecio incanus ssp. Carni.</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	r	+
<i>Kobresia myosuroides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r
<i>Leontodon incanus</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sempervivum montanum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.
<i>Minuartia gerardii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	r	+	.	.	.	.
<i>Persicaria alpina</i>	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Salix retusa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Campanula barbata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+
<i>Saxifraga androsacea</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trifolium pratense</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.
<i>Cardamine alpina</i>	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Doronicum glaciale</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.
<i>Erigeron uniflorus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.
<i>Sibbaldia procumbens</i>	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.

5.6.2 Vegetationsanalyse der Aufnahmen der südexponierten Flächen

***Festuca halleri*–*Poa alpina*–Gesellschaft**

Moränenrasen mit Felsschwingel und Alpenrispengras (DULLINGER, 1998)

Das *Festucetum halleri* hat seine Hauptentfaltung in den „lufttrockenen“ Zentralalpengebieten zwischen 2100-2600m.ü.A., unterhalb des Krummseggengürtels, aber in engem Kontakt mit diesem. Es beschränkt sich auf warme Trockenhänge, früh schneefreie Moränenbuckel und gefestigte, steile Schutthalden (nach Braun-Blanquet, 1969 in MUCINA und GRABHERR, 1993).

Es kann als primäre Initialgesellschaft Silikatrohböden besiedeln und bildet relativ artenreiche Mischrasen (MUCINA und GRABHERR, 1993).

Das *Festucetum halleri* stellt am Schrankogel ein Sukzessionsstadium der Rasenentwicklung auf Moränenstandorten dar. Die Rasen auf der Seitenmoräne des Schwarzenbergferners dürften sich im Verlauf einer etwa 120-160 Jahre dauernden Sukzession entwickelt haben, da der Gletscher 1850 seinen Höchststand hatte und seither zurückging.

DULLINGER (1998) fand in seiner Arbeit den Großteil der *Festuca halleri*-Aufnahmen auf der Seitenmoräne des Schwarzenbergferners, da *Festuca halleri* auf der südexponierten Moränenflanke durch lange Aperzeit und stärkere Sonneneinstrahlung günstige Standortsbedingungen vorfindet. Sie baut hier gemeinsam mit *Poa alpina* krautreiche Rasen auf, denen andere Grasartige ansatzweise beigemischt sind (DULLINGER, 1998; ABRATE, 1998).

Festuca halleri, die Kennart des *Festucetum halleri*, kommt in mehr als 50% der Aufnahmen mit dem Deckungsgrad 3, in den restlichen mit dem Deckungsgrad 2 vor, ist jedoch für die Aufnahmen dieser Arbeit physiognomisch nicht prägend. Dagegen spielen vor allem Krautige eine wichtige Rolle, so z.B. *Achillea moschata* (in allen Aufnahmen Deckungsgrad 2) und *Trifolium pallescens* (größtenteils Deckungsgrad 2). Aber auch *Saxifraga bryoides*, *Euphrasia minima*, *Leucanthemopsis alpina*, *Minuartia sedoides*, *Veronica bellidioides* sind in fast allen Aufnahmen der südexponierten Flächen vertreten, wenn auch mit nur geringer Deckung (Tab. 12). Weitere in den Aufnahmen vorkommende Gräser sind *Poa alpina* und *Agrostis rupestris*, die zwar deckungsmäßig kaum von Bedeutung sind, jedoch mit ihren rot-violetten Blüten das Bild der Vegetation prägen.

Von den dominanten und konstanten Begleitern, die in „Die Pflanzengesellschaften Österreichs“ (MUCINA und GRABHERR, 1993) für die *Festucetum halleri*-Gesellschaft genannt werden, kommen *Agrostis alpina*, *Avenula versicolor*, *Hieracium alpinum*, *Leontodon helveticus*, *Phyteuma hemisphaericum* und *Veronica bellidioides* in den Aufnahmen vor. Neben der durch die Vegetationsentwicklung bedingten, starken

Präsenz einiger *Androsacetalia alpinae*-Kennarten (*Achillea moschata*, *Cardamine resedifolia*) und -Trennarten (*Anthoxanthum alpinum*, *Cardamine alpina*, *Sedum alpestre* und *Sibbaldia procumbens*) sind ausserdem charakteristische Arten des *Poion alpinae* in den Aufnahmen. Beispiele hierfür sind *Trifolium pratense*, *Campanula scheuchzeri* und die subdominante *Poa alpina*. Aus diesem Grund benennt DULLINGER (1998) diese Aufnahmen mit der Bezeichnung ***Festuca halleri-Poa alpina***-Gesellschaft.

5.6.3 Vegetationsanalyse der Aufnahmen der nordexponierten Flächen

Androsacion alpinae Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926 (in MUCINA und GRABHERR, 1993).

Alpin-nivale Silikatschuttgesellschaften der Alpen

Die Vegetationsaufnahmen der Nordexposition der Seitenmoräne des Schwarzenbergferners sind dem in den zentraleuropäischen Hochgebirgen endemischen Verband ***Androsacion alpinae*** zuzuweisen. Für die Kenn taxa lassen sich *Achillea moschata*, *Cerastium uniflorum*, *Festuca intercedens* und *Saxifraga bryoides* nennen. *Agrostis rupestris* und *Leucanthemopsis alpina* zählen zu den Trennarten des *Androsacion alpinae*.

Eine weitere Zuweisung zur Vegetationsgesellschaft ist nicht eindeutig möglich.

Einerseits ist eine Zuordnung zur Assoziation ***Sieversio-Oxyrietum digynae*** wegen der fehlenden Kennarten fraglich und auch bei den Trennarten ist nur eine Art (*Luzula alpinopilosa*) in nur einer Aufnahme vertreten. Bei den konstanten Begleitern lassen sich *Agrostis rupestris*, *Cerastium uniflorum*, *Leucanthemopsis alpina*, *Poa alpina*, *Saxifraga bryoides*, *Sedum alpestre* und *Silene exscapa* nennen.

Andererseits konnten in den Aufnahmen auch einige Arten der diagnostischen Arten des ***Androsacetum alpinae*** festgestellt werden, wie z.B. *Festuca intercedens* als Kenn taxa und *Cerastium uniflorum*, *Minuartia sedoides*, *Poa alpina*, *Saxifraga bryoides*, *Silene exscapa* und *Leucanthemopsis alpinum* als konstante Begleiter.

Aus standörtlichen Gründen liegt eine weitere Zuweisung zum *Sieversio-Oxyrietum digynae* dennoch nahe, da Alpen-Säuerlingsfluren typisch für junge Sukzessionsstadien auf Gletschervorfeldern und schneeбетonten Schuttstandorten der alpinen bis subnivalen Stufe der Silikatalpen sind (MUCINA und GRABHERR, 1993).

Die Standorte sind von Schneefeuchte gekennzeichnet, da sich der Schnee auf Schutt etwas länger hält und auch durch gestaute Kaltluft zwischen den Grobblöcken geringere Temperaturen erzeugt werden (ABRATE, 1998). Diese Umstände fördern das Vorkommen einer Gruppe von *Salicetea herbaceae*-Kennarten als konstante Begleiter

der Säuerlingsfluren, wie *Salix herbacea*, *Sibbaldia procumbens*, *Cardamine alpina*, *Cerastium cerastioides*, *Luzula alpinopilosa* und *Gnaphalium supinum*.

Leucanthemopsis alpinum, *Luzula spicata*, *Poa alpina*, *Saxifraga bryoides*, *Cerastium uniflorum* und *Salix herbacea* bilden einen floristischen Kern von Arten, die in fast keiner Aufnahme der Nordexposition fehlen.

Da die Besiedlung von Moränenflächen in der Regel von oben nach unten erfolgt (MUCINA und GRABHERR, 1993), ist ein Eintrag von oben und daher vom *Caricetum curvulae*, vom *Carici curvulae-Nardetum* und vom *Poetum alpinae-supinae* kaum verwunderlich. Das Vorkommen von *Avenula versicolor*, *Phyteuma hemisphaericum* und *Veronica bellidioides* (dominante Begleiter des *Caricetum curvulae*) lässt sich vermutlich davon ableiten. *Leontodon helveticus* und *Phyteuma hemisphaericum* können möglicherweise aus dem weiter oben gefundenen *Carici curvulae-Nardetum* eingetragen worden sein.

6. Diskussion

Auswirkungen des Klimas auf die Pflanzen

Das Wachstum alpinen Pflanzen wird hauptsächlich durch klimatische Faktoren wie Lufttemperatur, Niederschlag sowie Beginn und Dauer der Schneebedeckung beeinflusst (GOTTFRIED et al., 2011; JONAS et al., 2008).

Die nord- und südexponierten Untersuchungsflächen dieser Forschungsarbeit unterscheiden sich nicht nur in ihrem Temperaturregime und ihrer Vegetation, sondern es wurden auch unterschiedliche Verteilungen der Polstergrößen und Polsterbeschädigungen beobachtet. Die unterschiedlichen Temperaturschwankungen der Flächen beider Expositionen sowie der berechnete Jahresmittelwert können Abb. 37 entnommen werden.

Die auf der Südflanke gemessene Temperatur ist, verglichen mit der Temperatur der Nordflanke, im gesamten Jahresverlauf um 3-4 Grad wärmer.

Der gleichmäßige Temperaturverlauf um 0°C (in 5-10cm Bodentiefe) während der Winterjahreszeit (Abb. 37) spiegelt die Schneebedeckung wieder. Eine Schneedecke kann die Pflanzen zwar vor niedrigen Lufttemperaturen und schädigenden Winden schützen (Abb. 38), gleichzeitig reduziert sie jedoch auch die Menge des für die Photosynthese notwendigen Lichtes (JONAS et al., 2008). Ihre Dauer ist somit ausschlaggebend für Wachstum und Reproduktion.

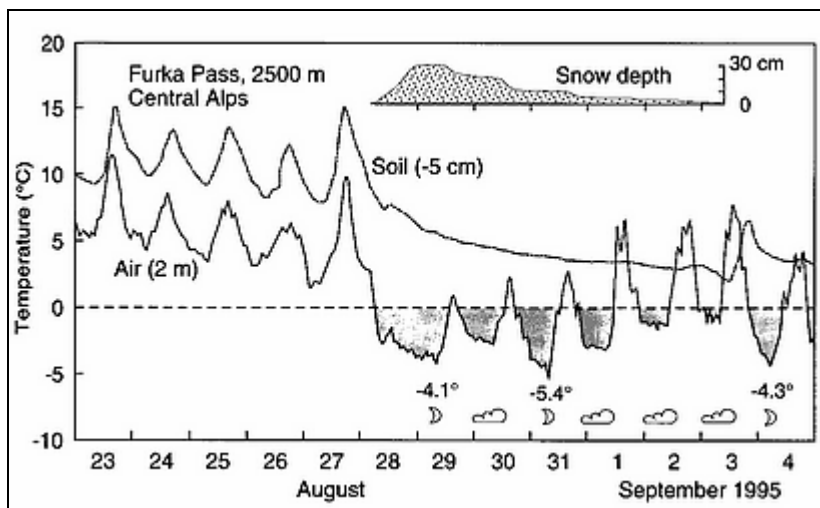


Abb. 38: ein frühes Frostereignis in den Zentralalpen in der Nacht von 27. auf 28. August 1995. Heftiger Schneefall gefolgt von klarem Wetter. Minimum Luft-Temperatur in 2m Höhe sank auf -4,1°C während die Bodentemperatur in 5cm Tiefe um 2-3°C abnahm und die Schneebedeckung (rechts oben) widerspiegelt.
Aus Körner (2003).

Der Zeitpunkt der Ausaperung im Frühjahr sowie der Beginn einer dauerhaften Schneedecke im Herbst bestimmen die Dauer der Vegetationsperiode und wirken sich

daher auf die Samenreife und den Reproduktionserfolg der Pflanzen aus (HÜLBER et al., 2006).

Vegetationsperiode

Eine geschlossene Schneedecke bewirkt durch die Reduktion der täglichen Temperatur-Schwankungen einen gleichmäßigen Temperaturverlauf um 0°C (HÜLBER et al., 2006). Aus Abb. 37 und den zur Verfügung stehenden Daten kann für die nordexponierte Untersuchungsfläche der Beginn der dauerhaften Schneedecke mit 13. Oktober 2009 vermutet werden. Ab diesem Zeitpunkt wurde die Temperaturgrenze von 1°C bis zum Beginn der Vegetationsperiode des nächsten Jahres – 24. Mai 2010 – mit Ausnahme des 2. Mai 2010 nicht mehr überschritten. Damit ergibt sich für die Nordflanke eine durchgehende Schneebedeckung von 224 Tagen. Dies entspricht auch in etwa den Angaben von FLIRI (1975), der für Tirol auf 2500m.ü.A. als mittlere Dauer der Schneedecke 222-260 Tage berichtet.

Für die südexponierte Untersuchungsfläche kann als Zeitpunkt der Einschneigung der 7. November 2009 angenommen werden. Ab diesem Tag wurde die 1°C- Grenze bis zum Beginn der nächsten Vegetationsperiode nicht mehr überschritten. Der Beginn der Vegetationsperiode im Jahr 2010 fällt in der südexponierten Untersuchungsfläche auf den 9. April, da ab diesem Zeitpunkt erstmals regelmäßig Temperaturen über 1°C gemessen wurden. Es ergibt sich daher für die Südflanke eine durchgehende Schneebedeckung von 154 Tagen.

Die Dauer der winterlichen Schneedecke bestimmt die Länge der schneefreien Jahreszeit sowie den Zustand des Bodens und der Pflanzen am Beginn der Wachstumsperiode (JONAS et al., 2008). Die exakte Dauer der Vegetationsperiode im Jahr 2010 kann mit dieser Arbeit nicht ermittelt werden, da für den Herbst 2010 noch keine Daten vorliegen und somit der Zeitpunkt einer erneuten Einschneigung im Jahr 2010 nicht ermittelt werden konnte. Eine simulierte Vegetationsperiode – errechnet aus dem Ausaperungszeitpunkt im Jahr 2010 und dem Ende der Vegetationszeit im Jahr 2009 – kann für die nordexponierte Untersuchungsfläche mit 141 Tagen und für die südexponierte Untersuchungsfläche mit 211 Tagen angegeben werden. Die Vegetationszeit ist für die Pflanzen auf der Nordflanke demnach um 70 Tage kürzer als für die Pflanzen der Südflanke. Standorte mit einer späten Schneeschmelze weisen zwar einerseits lange Winter auf, andererseits ermöglichen sie aber auch warme Temperaturen gleich nach der Schneeschmelze (JONAS et al., 2008) und damit sofort geeignete Wachstumsbedingungen für die Pflanzen.

Ein zu früher Zeitpunkt der Schneeschmelze kann zu Frostschäden bei Pflanzen führen und sich negativ auf die Reproduktionsrate auswirken (JONAS et al., 2008).

Die auf der Nordflanke befindlichen Flächen weisen bei allen drei untersuchten Arten eine größere Anzahl von kleinen Polstern auf, als die Flächen der Südflanke.

Möglicherweise wirkt sich die länger andauernde Schneedecke auf der Nordflanke positiv auf die Pflanzenverjüngung aus.

Das später diskutierte unterschiedliche Ausmaß der Beschädigung der jeweiligen Arten hängt vermutlich neben anderen Standortfaktoren ebenfalls mit der Dauer der Schneedecke zusammen. Folgende Abbildung (Abb.37, GOTTFRIED et al., 2002) zeigt für einige verschiedene Pflanzen am Schrankogel die artspezifische Abhängigkeit ihres Vorkommens von der Dauer der Schneedecke. Für *Saxifraga bryoides* kann ein deutlich breiteres Optimum abgelesen werden als für die beiden alpinen Arten *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides*. Auf einem Standort, der in der Periode Mai-Juli 50 Tage Schnee aufweist, ist die Vorkommenswahrscheinlichkeit für *Silene exscapa* (<30%) und *Minuartia sedoides* (<40%) gering. Für *Saxifraga bryoides* besteht eine >70%ige Wahrscheinlichkeit auf diesem Standort aufzutreten.

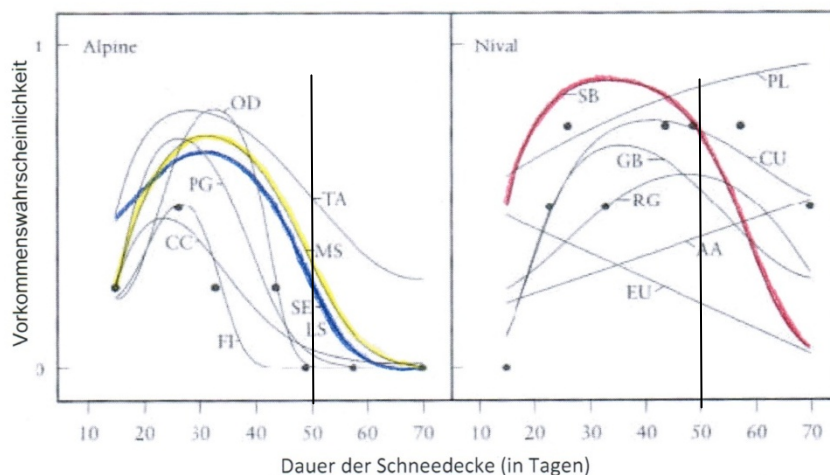


Abb. 39: Vorkommenswahrscheinlichkeit der Arten in Bezug auf die Schneedeckendauer in der Periode Mai-Juli 1997. Links: alpine Arten mit *Silene exscapa* (blau) und *Minuartia sedoides* (gelb); rechts: nivale Arten mit *Saxifraga bryoides* (rot). Nach GOTTFRIED et al. (2002), verändert.

Mikroklimatische Unterschiede

Da der Boden in der Wurzelzone eine ausgleichende Wirkung auf das Temperaturregime hat (KÖRNER et al., 2004), konnten Extremwerte der Temperatur in der unmittelbaren oberirdischen Pflanzenumgebung nicht festgestellt werden. Die Temperaturen in 5-10cm Bodentiefe folgen den Tagesschwankungen der Lufttemperatur mit einer Verzögerung von 3-4 Stunden, stellen jedoch einen guten Ersatz für die – in dieser Arbeit nicht ermittelte – Temperatur innerhalb der Vegetation dar (KÖRNER et al., 2004).

Pflanzen im Hochgebirge sind nicht nur hohen Tagestemperaturschwankungen ausgesetzt, sondern auch extremen Schwankungen innerhalb weniger Tage, bzw. Stunden. Auf kleinstem Raum kann es – je nach Mikroklima des Standorts und Eigenklima der Pflanzen – zu sehr starken Temperaturunterschieden kommen

(Körner, 2003). Wie in Abb. 40 dargestellt, kann die Oberflächentemperatur bei Polsterpflanzen unter Umständen stark von der Lufttemperatur abweichen und wird zusätzlich von der jeweiligen Exposition des Standorts beeinflusst.

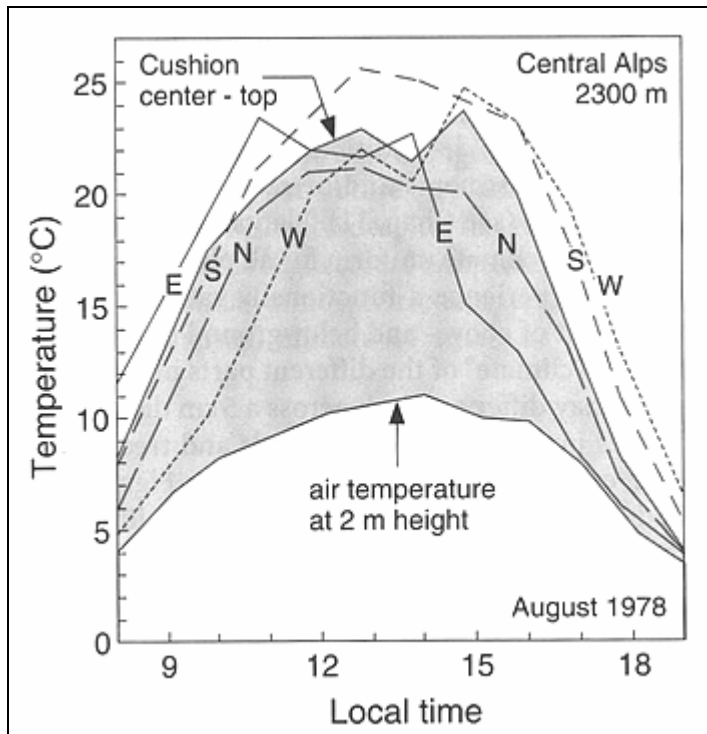


Abb. 40: tägliche Schwankung der Oberflächentemperatur von *Silene exscapa* - Polster. Die Buchstaben stehen für die jeweilige Exposition des Messstandorts. E = Ost, S = Süd, N = Nord, W = West. Die schattierte Fläche zeigt den Temperatur-Unterschied zwischen Lufttemperatur in 2m Höhe und Polsterinnerem.
Nach KÖRNER und DEMORAES (1979) in KÖRNER (2003).

Aus Abb. 34 und Abb. 37 geht hervor, dass sowohl die Tagesmittelwerte als auch der Jahresmittelwert der gemessenen Bodentemperatur auf der Nordflanke um 3-4°C geringer als auf der Südflanke sind. Dies entspricht auch Temperaturmessungen von GEIGER (1950) in „den obersten Bodenschichten“ einer Nordflanke und einer Südflanke an einem Moränenwall. Dieser Temperaturunterschied ist auf die höhere direkte Sonneneinstrahlung auf die südexponierte Fläche zurückzuführen. Ebenso wirkt sich die geringere diffuse Strahlung auch auf eine geringere Einstrahlung auf die nordexponierte Fläche aus (BURGA et al., 2004; WALTER, 1984; LARCHER, 1994).

Zuweisung der Vegetation zu Pflanzengesellschaften

Nach DECAN-DOLLE (in LUNDEGARTH, 1925) liegt die Vegetationsuntergrenze derselben Pflanzenart an Nordhängen im Mittel um 200 – 300m niedriger als an Südhängen.

Unter Berücksichtigung des Temperaturgradienten von -0,95°C/100 Höhenmeter (GOTTFRIED et al., 1999) lässt sich ein Temperaturunterschied von 3-4°C auch als

Höhendifferenz ausdrücken. Dabei würde die Nordflanke einem Standort entsprechen, der an einem Hang um 300-400 Höhenmeter über der Südflanke liegt. Dieser Standort befände sich somit auf etwa 2900-3050m.ü.A.

Nach REISIGL und PITSCHMANN (1958) befindet sich ein Standort auf 2900m.ü.A. in den Zentralalpen in der oberen alpinen Stufe, auf 3050m.ü.A. in der Subnivalzone. Dies erklärt auch die erschwerte Zuweisbarkeit der Vegetation der Nordflanke zu einer konkreten Pflanzengesellschaft, da sich im Übergangsbereich der Höhenstufen zwei Pflanzengesellschaften mischen können (BURGA et al., 2004).

Da die Pflanzen der offenen und unreifen Vegetation, wie die der Nordflanke, weder in der Wurzelschicht noch in der Sprossschicht miteinander konkurrieren, sind sie nach autökologischen Faktoren, wie beispielsweise Licht, Temperatur und Feuchtigkeit geordnet. Sie schwanken daher in ihrer Art-Zusammensetzung (FRANZ, 1979) wodurch eine eindeutige Zuordnung dieser Vegetation zu einer Pflanzengesellschaft erschwert wird.

In den Aufnahmen konnten einige der diagnostischen Arten des subnival konzentrierten (PAULI et al., 1999) ***Androsacetum alpinae*** festgestellt werden das bevorzugt alpin-nivale Schuttböden auf Graten, Gipfeln und stabilisierten Schutthängen mit einem Schwerpunkt in Höhen von 2800-3300m.ü.A besiedelt.

Aus standörtlichen Gründen könnte auch eine Zuweisung zum oberalpin verbreiteten (PAULI et al., 1999) ***Sieversio-Oxyrietum digynae*** erfolgen. Dieses bildet die typische Sukzessionsgesellschaft auf Gletschervorfeldern oder schneebetonten Schuttstandorten, mit einem Schwerpunkt im Bereich der Gletschervorfelder zwischen 2200 und 2500m.ü.A (MUCINA et al., 1993) und ist nach PAULI et al. (1999) floristisch vom *Androsacetum alpinae* durch mehr schuttbetonte Arten bzw. Schneetälchen-Arten unterscheidbar. Aufgrund der fehlenden Kenn- und der geringen Trennarten des *Sieversio-Oxyrietum digynae* ist eine Zuweisung der Vegetation der Nordflanke zu dieser Pflanzengesellschaft jedoch nicht eindeutig möglich.

Die Vegetation der Südflanke lässt sich der ***Festuca halleri-Poa alpina***-Gesellschaft (DULLINGER, 1998) zuordnen, die auf der südexponierten Moränenflanke günstige Standortsbedingungen wie lange Aperzeit und stärkere Sonneneinstrahlung vorfindet. Charakteristisch für die aufgenommenen Flächen ist eine dichte Vegetation mit nur vereinzelten Felsblöcken unterschiedlicher Größe. Die Vegetationsbedeckung in diesen Flächen beträgt meist über 75%, von denen im Mittel 40% von Phanerogamen und 30% von Moosen und Flechten eingenommen werden. Die Vegetation ist, verglichen mit der Vegetation der Nordflanke, stärker von Gräsern dominiert, wobei Krautige ebenfalls eine wichtige Rolle einnehmen.

Übersicht über die Polsterverteilung

Eine überwiegende Mehrheit aller untersuchten Polster befindet sich auf der Nordflanke (70%; Abb.21). Diese Verteilung spiegelt die unterschiedliche Vegetation der beiden Expositionen wider. Die Vegetationsbedeckung der Nordflanke beträgt im Mittel nur ca. 45% und wird von dicht am Boden wachsenden Krautigen dominiert. Die generell konkurrenzschwächeren Polsterpflanzen können sich daher auf der Nordflanke besser etablieren als auf der Südflanke (meist über 75% Vegetationsbedeckung).

Nach vorangegangener Hochrechnung entspricht die nordexponierte Untersuchungsfläche einem Standort zwischen 2900-3050m.ü.A und stellt daher auch aus diesem Gesichtspunkt einen typischeren Standort für Polsterpflanzen dar. Dies gilt insbesondere für *S. bryoides*, welcher nach PAULI et al. (2007) seinen Verbreitungsschwerpunkt in der nivalen Höhenzone hat. 77% aller *S. bryoides* - Polster wurden auf den nordexponierten Untersuchungsflächen gefunden.

Silene exscapa, eine alpin-subnivale Art (PAULI et al., 2007) zählt nach PAULI et al. (1999) zu den Pionierpflanzen. Sie bereiten den Boden für andere Arten vor bzw. können mit ihren oft kugeligen Polstern die kleinklimatischen Bedingungen derart verbessern, dass sich auch wärmebedürftigere Arten darin ansiedeln (REISIGL & PITSCHMANN, 1958). Ihre kompakte Wuchsform verhindert einen übermäßigen Wärmeverlust in Kaltphasen. GAUSLAA (1984 in KÖRNER, 2003) konnte sogar einen maximalen Blatt/Luft -Temperaturgradienten von 24,5°C bei *Silene acaulis* beobachten. Die Art scheint daher auf der Wärme- benachteiligten Nordflanke der Moräne gute Voraussetzungen für eine Besiedelung vorzufinden.

Minuartia sedoides kann aufgrund ihres Polsterwuchses, der dem von *Silene exscapa* zu vergleichen ist, ebenso als effektive „wärmesammelnde“ Polsterpflanze bezeichnet werden. Auch ihre expositionelle Verteilung weist einen ähnlichen Trend wie *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* auf. Dieser ist jedoch mit 53% auf nordexponierter und 47% auf südexponierter Untersuchungsfläche weniger ausgeprägt. Da trotzdem mehr als die Hälfte aller untersuchten *Minuartia sedoides* - Polster auf der nordexponierten Untersuchungsfläche aufgefunden wurden kann angenommen werden, dass die geringe Konkurrenz und der längere Schneeschutz auf der Nordflanke möglicherweise Vorteile bieten.

Übersicht über die Größenverteilung

Der offenere Boden der Nordflanke erleichtert den Polsterpflanzen nicht nur eine Besiedelung und somit eine Verjüngung, sondern ermöglicht auch ungehemmtes Größenwachstum. Die größten Polster konnten sowohl bei *Saxifraga bryoides* als

auch bei *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* jeweils auf der nordexponierten Untersuchungsfläche erhoben werden.

Festgestellt werden konnte auch, dass sich die drei untersuchten Arten in ihrer Größenklassenverteilung sehr ähneln. Bei allen drei Arten konnten auf beiden Expositionen die meisten Polster in der Größenklasse 2 (Polsterdurchmesser 3-7cm) aufgefunden werden. Die kleinsten untersuchten Polster (Größenklasse 1) überwiegen prozentuell auf der Nordexposition. Dies ist auf den hohen Offenboden-Anteil der Nordflanke und die dadurch geförderte Pflanzenverjüngung zurückzuführen. Artspezifische Größenklassen-Verteilungsunterschiede treten in den mittleren Größenklassen 3 und 4 auf. *Silene exscapa* zeigt hier eine deutliche Präferenz für die südexponierte Untersuchungsfläche, wohingegen bei *Minuartia sedoides* und *Saxifraga bryoides* kein eindeutiger expositioneller Unterschied ersichtlich ist.

Auffallend ist der geringe Anteil der „großen“ *S. bryoides* - Polster. Dies kann mit der Wuchsform der *S. bryoides* - Polster zusammenhängen, die oft lockere Polster bilden, deren periphere Äste sich ausläuferartig verlängern (RAUH, 1939). Die ausläuferartigen Polsterteile können durch mechanische Einwirkungen vom ursprünglichen Polster abgetrennt werden (RAUH, 1939), wodurch sich die Polstergröße verringert. Zudem können Fehler bei der Abschätzung der Polstergröße nicht ausgeschlossen werden, da eine sichere Feststellung, ob der untersuchte Polster aus einem oder mehreren Individuen besteht – ohne die Pflanze zu verletzen – nicht möglich war.

Polster der Größenklasse 5 und 6 konnten nur bei *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* verzeichnet werden, überwiegend auf der nordexponierten Untersuchungsfläche. Vermutlich liegt hierfür der Grund in den unterschiedlichen Konkurrenzbedingungen der beiden Untersuchungsflächen, da sich die relativ geschlossene Vegetation der Südflanke auf die radiale Ausbreitung der Polsterindividuen möglicherweise einschränkend auswirken kann.

Polsterbeschädigung

Das Ergebnis des Chi-Quadrat-Tests zeigt für alle drei untersuchten Arten eine signifikante Abhängigkeit der Beschädigung von der Exposition ($p=0,01$). Es kann jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den untersuchten Arten festgestellt werden.

Bei *S. bryoides* konnten auf der Nordflanke mehr unbeschädigte Polster verzeichnet werden als auf der Südflanke. Die Verteilung der Beschädigung der *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* - Polster folgt einem umgekehrten Trend. Die artspezifisch unterschiedliche Verteilung der Beschädigung je Exposition lässt sich mit der in Abb. 41 veranschaulichten Temperaturabhängigkeit der Arten erklären (GOTTFRIED et al., 2002). Die beiden alpinen Arten *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* zeigen eine

ähnliche Vorkommenswahrscheinlichkeit. Bei einer Nachttemperatur von 1°C ist diese Wahrscheinlichkeit sehr gering (für *S. exscapa* 20% und für *M. sedoides* < 10%). Hingegen liegt die Vorkommenswahrscheinlichkeit bei der nivalen Art *Saxifraga bryoides* bei einer Nachttemperatur von 1°C bei 65%.

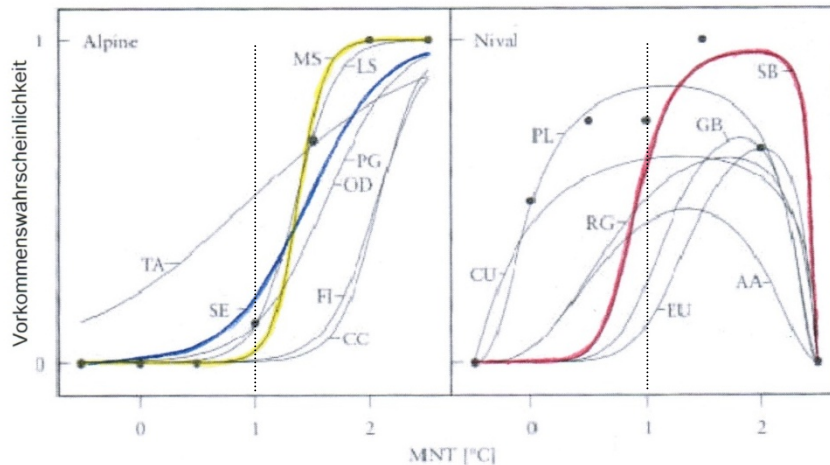


Abb. 41: Vorkommenswahrscheinlichkeit der Arten in Bezug auf die beobachtete mittlere Nachttemperatur in der Periode Juni-Juli 1998 (MNT). Links: alpine Arten mit *Silene exscapa* (blau) und *Minuartia sedoides* (gelb); rechts: nivale Arten mit *Saxifraga bryoides* (rot). Nach GOTTFRIED et al. (2002), verändert.

Saxifraga bryoides

Saxifraga bryoides befindet sich auf der Untersuchungsmoräne bereits an seiner Verbreitungsuntergrenze. Die niedrigeren Temperaturen auf der Nordflanke und der längere Schneeschutz bzw. die vermutlich ausgiebigere Feuchtigkeitsverteilung dieses Standorts scheinen den klimatischen Ansprüchen der Art verglichen mit der Südflanke besser zu entsprechen. Auf der südexponierten Untersuchungsfläche wurde eine höhere Beschädigung der *S. bryoides* - Polster verzeichnet. Möglicherweise werden im Sommer Temperaturen erreicht, die zu Schäden an Teilen der *S. bryoides* - Polster führen. Nach GURVICH et al. (2002) kann eine polsterähnliche Wuchsform zu periodischer Überhitzung führen. KÖRNER und DEMORAES (1979 in LARCHER et al., 2010) fanden Polsterpflanzen mit einer um 16-25K höheren Temperatur als ihre Umgebungstemperatur (LARCHER et al., 2010). Zudem können Wind und hohe Einstrahlung zu gesteigerter Transpiration der *S. bryoides* - Polster führen. Beschädigungen an den Polstern können auch durch Frostereignisse nach frühzeitiger Ausaperung auf der Südflanke entstehen. *S. bryoides*- Sprosse beginnen nach LADINIG et al (2009) sofort nach der Schneeschmelze mit der Entwicklung neuer Blätter. In der Entwicklung begriffene Organe sind einem erhöhten Risiko durch Frostschäden ausgesetzt.

Silene exscapa

Die alpin-subnivale Art (PAULI et al., 2007) befindet sich im Gegensatz zu *Saxifraga bryoides* auf der Untersuchungsmoräne in ihrem Nischenoptimum. Ihre geringe Beschädigungsrate auf beiden Expositionen entspricht daher den Erwartungen. Bei *Silene exscapa* wurden auf beiden Expositionen die meisten Polster als „unbeschädigt“ beurteilt. Zudem nimmt die Anzahl der Polster mit steigender Beschädigung ab. Vor allem auf der – im Jahresmittel wärmeren – südexponierten Untersuchungsfläche konnten beinahe 80% aller untersuchten Polster „unbeschädigt“ aufgefunden werden. Die Südflanke scheint daher ein begünstigter Standort für *S. exscapa* zu sein. Die dichte Vegetationsdecke der Südflanke kann sowohl vor jähher Hitze am Tag als auch vor schädigenden tiefen Temperaturen während der Nacht schützen (GEIGER, 1950). Zudem bewirkt die Feuchtigkeit im Polsterinneren durch eine erhöhte Wärmekapazität eine Verzögerung der Nachtabkühlung. Damit haben Polsterpflanzen einen Vorteil bei der Vermeidung kritischer Frosttemperaturen (TASCHLER et al., 2004). Unter bestimmten Bedingungen birgt jedoch eine wärmesammelnde Wuchsform die Gefahr von kritischer Überhitzung des Blattgewebes (BUCHNER et al., 2007). Über 20% der *Silene exscapa* - Polster der südexponierten Untersuchungsfläche wurden mit Beschädigungen aufgefunden. Nach Körner (2003) treten bei *Silene acaulis* auf 2600m.ü.A relativ häufig Hitzeschäden auf. Die Möglichkeit, dass die Schäden bei *Silene exscapa* aus einer Überhitzung entstanden sind muss daher ebenso in Betracht gezogen werden. Hitzeschäden können bei alpinen Pflanzen unter wolkenlosem Himmel kombiniert mit Windstille und trockenen Bedingungen auftreten (BUCHNER et al., 2007).

Die stärkeren Beschädigungen der *Silene exscapa* - Polster auf der Nordflanke können mit den niedrigeren Temperaturen und der späteren Ausaperung und der damit verbundenen kürzeren Vegetationsperiode dieses Standorts begründet sein. Da eine lang anhaltende Schneedecke das Licht für die Photosynthese der Pflanzen reduziert kann sie sich negativ auf den photosynthetischen Gewinn auswirken (Grabherr, 2010a).

Minuartia sedoides

Bei *Minuartia sedoides* zeigt sich, dass die unbeschädigten und gering beschädigten Polster auf der südexponierten Untersuchungsfläche überwiegen. Die stärker beschädigten Polster wurden vor allem auf der Nordflanke aufgefunden. Die Verteilung der *Minuartia sedoides* - Polster je Beschädigung folgt einer Normalverteilung. So wurden sowohl auf der nordexponierten als auch auf der südexponierten Untersuchungsfläche die meisten Polster der Beschädigungsstufe 1 zugeordnet. WETTER (1918) beschreibt zwar in seinen Forschungsarbeiten für *Minuartia sedoides* eine Vorliebe für nördliche Expositionen. Dies kann jedoch mit den

Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Seine Beobachtungen über die Unempfindlichkeit gegen Austrocknung dieser Art unterstützen jedoch diese Interpretationen. Die alpine Art scheint in dieser Höhe auf der südexponierten Untersuchungsfläche besser angepasst zu sein.

Wie LARCHER et al. (2010) jedoch feststellt, ist es schwierig Schäden bei Pflanzen von spezifischen Temperaturereignissen abzuleiten. Die genauen Gründe und Auslöser für die erhöhte Beschädigung der *S. bryoides* - Polster bzw. die geringere Beschädigung der *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* - Polster auf der Südflanke müssten daher im Labor durch eine Untersuchung der Art unter künstlicher Einwirkung aller beeinflussenden Umweltfaktoren erforscht werden und könnten die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit ergänzen.

Abhängigkeit der Beschädigung von der Größenklasse

Saxifraga bryoides

Auf den ersten Blick fällt bei der Verteilung der beschädigten *Saxifraga bryoides* Polster je Größenklasse ein ähnlicher Verteilungscharakter auf den beiden unterschiedlichen Expositionen auf. Die „wenig beschädigten“ Polster zählen ca. 3mal häufiger zu den kleinen Polstern als zu den Großen. Das Ausmaß der Beschädigung eines *S. bryoides* - Polsters hängt sehr signifikant von dessen Größe ab ($p < 0,001$ sowohl auf Nord- als auch auf Südexposition). Große Polster können ein von der Lufttemperatur noch stärker abweichendes Eigenklima ausbilden und sind daher auch der Gefahr einer Überhitzung erhöht ausgesetzt. Andererseits müssten bei einer Überhitzung als Ursache für die Beschädigung, die großen Polster der südexponierten Untersuchungsfläche gegenüber der nordexponierten Untersuchungsfläche verstärkt beschädigt sein.

Silene exscapa

Für die Verteilung der beschädigten *Silene exscapa* - Polster je Größe kann auf den ersten Blick ein klarer expositioneller Unterschied festgestellt werden. Auf der Südexposition konnten generell beinahe keine „stark beschädigten“ Polster verzeichnet werden. Nur ein „großer“ Polster der Südflanke wurde der Beschädigungs-kategorie „stark beschädigt“ zugeordnet. Auf der Nordflanke kann jedoch ein Unterschied in der Beschädigung der „kleinen“ und „großen“ *Silene exscapa* - Polster festgestellt werden. Bei den kleinen Polstern konnten ca. 10mal so viele „wenig beschädigte“ Polster verzeichnet werden wie „stark beschädigte“, hingegen bei den großen Polstern nur ca. 4mal so viele.

Bei *Silene exscapa* konnte mit dem Chi-Quadrat-Test keine Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe nachgewiesen werden. Vor allem auf der Südexposition wurde ein sehr hoher p-Wert ($p=0,89$) ermittelt. Die Nullhypothese kann damit nicht verworfen werden. Möglicherweise sind die *S. exscapa* - Polster auf diesem Standort so gut angepasst, dass auch die großen Polster wenig Beschädigung zeigen. Die Art scheint verglichen mit *Minuartia sedoides* und *Saxifraga bryoides* die größte Präferenz für die südexponierte Untersuchungsfläche zu haben.

Auf der nordexponierten Untersuchungsfläche kann für das Beschädigungsausmaß der *S. exscapa* - Polster statistisch ebenfalls keine signifikante Abhängigkeit von der Größe angegeben werden ($p=0,1$).

Minuartia sedoides

Auf beiden untersuchten Expositionen konnte für *Minuartia sedoides* eine signifikante Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe ermittelt werden ($p < 0,001$).

Auf der Nordexposition wurde ein ähnlicher Trend wie bei *Saxifraga bryoides* beobachtet. „Kleine“ Polster sind weniger beschädigt als „große“ Polster. „Stark beschädigt“ konnten vermehrt die „großen“ Polster aufgefunden werden. Auf der südexponierten Untersuchungsfläche zeigen ebenfalls die „großen“ Polster eine höhere Beschädigungsrate als die „kleinen“ Polster. Wie bei der generellen Beschädigungsverteilung schon festgestellt wurde, scheint *Minuartia sedoides* in dieser Höhe auf der südexponierten Untersuchungsfläche besser angepasst zu sein, da insgesamt weniger Polster der Südflanke „stark beschädigt“ sind.

Allgemein kann für alle drei Arten als Erklärung für die Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe vorausgesetzt werden, dass große – und daher alte – Polster mit höherer Wahrscheinlichkeit ein Jahr mit ungünstigen Klimabedingungen, wie starke Fröste nach der Ausaperung oder Wassermangel bei gleichzeitiger hoher Temperatur, erlebt haben und möglicherweise in diesem Jahr Beschädigungen erlitten haben.

Da eine Steigerung von Temperatur-Extremen mit dem globalen Klimawandel erwartet wird (WAGNER, 1996 in BUCHNER et al., 2007) könnte auch die Wahrscheinlichkeit von Hitzeschäden an alpinen Pflanzen innerhalb der nächsten Jahre steigen. Weiterführende Forschungen im Bereich der klimainduzierten pflanzenphysiologischen Reaktion und der Änderung von Verbreitungsgrenzen von Pflanzen sind daher dringend notwendig. Mögliche weitere Forschungsarbeiten können direkt an diese Arbeit anknüpfen, da die Temperaturlogger in den untersuchten Flächen noch vorhanden sind und die gegebenen klimatischen Unterschiede der beiden Flanken – bei sonst gleichen Umweltfaktoren – eine gute

Ausgangssituation darstellen. Eine Vertiefung in diese Forschungsarbeit könnte z.B. mittels Messungen des Klimas im Polsterinneren und auf der Polsteroberfläche geschehen.

7. Zusammenfassung

Für die alpinen Blütenpflanzen der europäischen Hochgebirge wurde im Zuge von Klimaveränderungs-Prognosen eine Aussterberate von bis zu 60% bis zum Ende des 21. Jahrhunderts vorhergesagt (THUILLER et al., 2005 in GRABHERR et al., 2008).

Da klimatische Parameter die Physiologie und Produktivität von Arten beeinflussen, ist anzunehmen, dass klimasensitive Arten auf ein sich änderndes Klima reagieren (KLÖTZLI et al., 2010). Insbesondere die alpine Flora gilt als guter Indikator für die ökologische Relevanz des Klimawandels (GRABHERR et al., 2007). Polsterpflanzen eignen sich für eine Studie über mögliche Reaktionen von Pflanzen auf Klimaveränderungen besonders gut, da sie durch ihre Wuchsform spezielle wärmesammelnde Eigenschaften besitzen (NAGY & GRABHERR, 2009; GRABHERR, 1997).

Um Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation – insbesondere auf Polsterpflanzen – besser abschätzen und prognostizieren zu können, ist es wichtig mehr über ihre mikroklimatischen Standortbedingungen herauszufinden. Die vorliegende Arbeit soll bereits vorhandene Erkenntnisse über die Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen bei Polsterpflanzen vertiefen. Dazu wurden drei verschiedene Polsterpflanzenarten (*Silene exscapa* L., *Saxifraga bryoides* L. und *Minuartia sedoides* L.) auf ihre jeweilige Verteilung, Größe und Beschädigung untersucht. Als Untersuchungsgebiet wurde eine Moräne am Schrankogel in Tirol auf ca. 2600m.ü.A. ausgewählt, die sich aufgrund ihrer zwei expositionell kontrastierenden Flanken – Nord und Süd – sehr gut dafür eignet. Auf den beiden Flanken herrschen unterschiedliche klimatische Bedingungen, welche mittels Temperaturlogger in 5-10cm Bodentiefe ermittelt wurden. Um die mikroklimatische Abhängigkeit und Empfindlichkeit der unterschiedlichen Arten zu untersuchen, wurde von jedem auf den Untersuchungsflächen aufgefundenen Polster die Polstergröße und das Ausmaß der Beschädigung geschätzt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Chi-Quadrat-Tests. Zur Ergänzung wurden die unterschiedlichen Vegetationsgesellschaften der beiden Flanken ermittelt. Die Vegetation der Nordflanke konnte dem Verband *Androsacion alpinae* zugewiesen werden. Auf der im Jahresmittelwert 3°C wärmeren Südflanke wurde eine *Festuca halleri*–*Poa alpina*–Gesellschaft (Dullinger, 1998) aufgenommen. Auf dieser Untersuchungsfläche wurde eine um 70 Tage längere Vegetationsperiode als auf der Nordflanke berechnet. Auf der Nordflanke kann mit Hilfe der Temperaturanalyse die Dauer der Schneedecke mit 224 Tagen angenommen werden. 70% aller untersuchten Polsterpflanzen wurden auf dieser Untersuchungsfläche verzeichnet. Vor allem bei *Saxifraga bryoides* (77%) und *Silene exscapa* (78%) konnte ein überwiegender Anteil der Polster auf der kälteren

und konkurrenzärmeren Nordflanke verzeichnet werden. Polster der kleinsten Größenklasse aller drei untersuchten Arten wurden ebenfalls vermehrt auf der Nordflanke aufgefunden. Der offenere Boden der Nordflanke erleichtert den Polsterpflanzen nicht nur eine Besiedelung und somit eine Verjüngung. Auch die größten Polster konnten sowohl bei *Saxifraga bryoides* als auch bei *Silene exscapa* und *Minuartia sedoides* auf der nordexponierten Untersuchungsfläche verzeichnet werden. Dabei wurde festgestellt, dass die *S. bryoides* – Polster, verglichen mit den beiden anderen Arten, weniger groß werden. Hingegen wurden Polster der mittleren Größenklassen vor allem bei *Silene exscapa* überwiegend auf der südexponierten Untersuchungsfläche aufgefunden.

Die Beschädigung hängt bei allen drei Arten hoch signifikant von der Exposition ab ($p < 0,001$). Es konnte jedoch ein deutlicher Unterschied zwischen den untersuchten Arten ausgemacht werden. *S. bryoides* - Polster sind – im Gegensatz zu *S. exscapa* und *M. sedoides* – auf der Nordflanke häufiger „unbeschädigt“. Die nivale Art (Pauli et al., 2007) scheint an den kälteren und länger schneebedeckten Standort besser angepasst zu sein. Von allen untersuchten *S. exscapa* - Polstern der Südflanke wurden 80% „unbeschädigt“ vorgefunden. Auf der Nordflanke konnten nur 60% als „unbeschädigt“ verzeichnet werden. Auch bei *M. sedoides* konnten auf der Südflanke mehr „unbeschädigte“ und „wenig beschädigte“ Polster verzeichnet werden als auf der Nordflanke.

Das Ausmaß der Beschädigung der *S. bryoides* und der *M. sedoides* - Polster hängt signifikant von ihrer Größe ab ($p < 0,001$). Kleine Polsterindividuen sind sowohl auf Nord- als auch auf Südexposition prozentuell seltener beschädigt als große.

Für *Silene exscapa* konnte keine Abhängigkeit der Beschädigung von der Größe ermittelt werden. Möglicherweise sind die *S. exscapa* - Polster auf diesem Standort so gut angepasst, dass auch die großen Polster wenig Beschädigung zeigen. Die Art scheint, verglichen mit *Minuartia sedoides* und *Saxifraga bryoides*, die größte Präferenz für die südexponierte Untersuchungsfläche zu haben.

Folgende Abbildung (Abb. 42) und Tabelle (Tab. 13) fassen die wichtigsten Ergebnisse dieser Diplomarbeit zusammen.

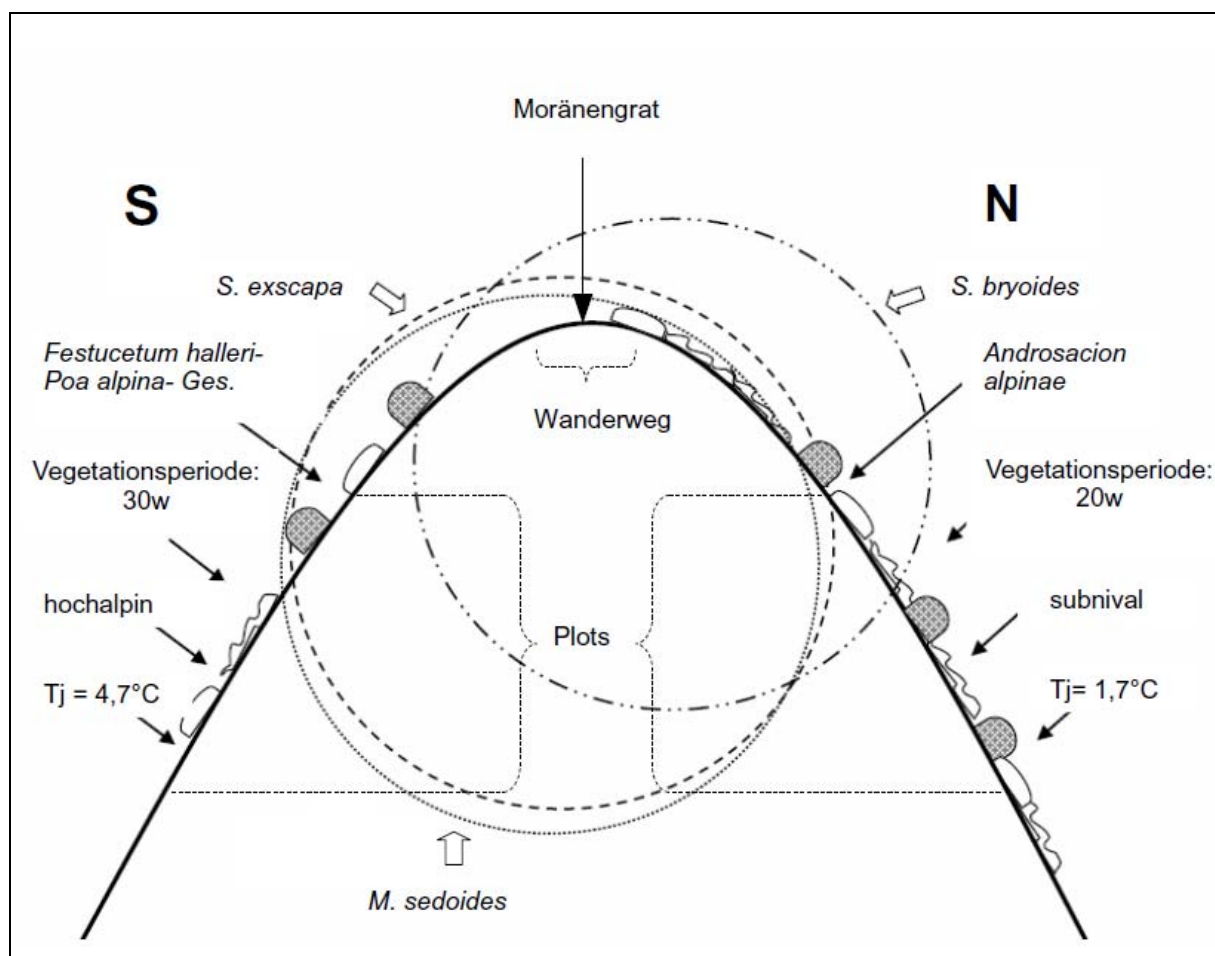


Abb. 42: Zusammenfassende Skizze der wichtigsten Ergebnisse je Süd- und Nordflanke: angegeben sind: mittlere Jahrestemperatur (T_j), Dauer der Vegetationsperiode in Wochen (w), Pflanzengesellschaften, dem Standort entsprechende Höhe und das jeweilige artspezifische Verbreitungsareal (Kreise). Die Polsterdichte auf der jeweiligen Exposition wurde mittels Polstersymbolen dargestellt.

 = *Silene exscapa*,  = *Minuartia sedoides*,  = *Saxifraga bryoides*.

Tab. 13: Zusammenfassung der Polster-Ergebnisse: Anzahl der Polsterindividuen je Exposition und Art, Anzahl beschädigter Polster je Exposition und Art. Anzahl der großen, mittleren und kleinen Polster je Exposition und Art. <, <<, <<< >, >>, >>>: sehr wenige bis sehr viele Polster.

	S					N				
	n Individ.	n beschädigte Polster	Polstergröße			n Individ.	n beschädigte Polster	Polstergröße		
			groß	mittel	klein			groß	mittel	klein
<i>S. bryoides</i>	<<	>	<	>	<	>>	<	>	<	>
<i>S. exscapa</i>	<<	<<<	-	>>	<	>>	>>>	<	<<	>
<i>M. sedoides</i>	<	<<	<	>	<	>	>>	>	<	>

Gründe für das unterschiedliche Beschädigungsausmaß der drei untersuchten Arten sind zum einen in ihrer unterschiedlichen Höhen-Verbreitungsgrenze zu suchen. Die klimatischen Anpassung und das daraus resultierende jeweilige Nischenoptimum unterscheidet sich vor allem zwischen der nivalen Art *S. bryoides* (PAULI et al., 1999) und den alpin-subnivalen Arten (PAULI et al., 2007) *S. exscapa* und *M. sedoides*. *S. bryoides* scheint an die klimatischen Bedingungen der Südflanke weniger gut angepasst zu sein als *S. exscapa* und *M. sedoides*. Letztere befinden sich auf der Untersuchungsfläche in ihrem Nischenoptimum. Vor allem die geringe Beschädigung bei *Silene exscapa* entspricht daher den Erwartungen. Zum anderen kann auch die verschiedene Wuchsform eine unterschiedliche Anpassung an die jeweilige Exposition mit sich bringen. Kompakte Polster – wie jene von *S. exscapa* und *M. sedoides* können ihr Eigenklima derart verbessern, dass ein übermäßiger Wärmeverlust in Kaltphasen verhindert wird. Dadurch können einerseits Frostereignisse nach frühzeitiger Ausaperung auf der Südflanke besser ertragen werden. Andererseits haben kompakte Polster auch eine verbesserte Fähigkeit der Wasserspeicherung im Polsterinneren und können so trockene Phasen leichter bewältigen und warme Temperaturen durch erhöhte Transpirationskühlung ausgleichen. Nach BUCHNER et al. (2007) besteht für kompakte Polster jedoch auch ein größeres Risiko Hitzeschäden zu erleiden.

In den nächsten Jahren wird eine Steigerung von Temperatur-Extremen – ausgelöst durch den globalen Klimawandel – erwartet (WAGNER, 1996 in BUCHNER et al., 2007). Daher wäre es gut, bereits bestehendes Wissen über die Empfindlichkeit von Pflanzenarten auf Sommer-Frostereignisse und Überhitzung zu vertiefen (KÖRNER und ALSOS, 2009). Weiterführende Forschungen im Bereich der klimainduzierten pflanzenphysiologischen Reaktion und der Änderung von Verbreitungsgrenzen von Pflanzen werden deshalb notwendig sein und können an diese Arbeit anknüpfen.

8. Literaturverzeichnis

- ABRATE, S. 1998. Vegetationskarte des Schrankogel/ Stubaier Alpen. Diplomarbeit.
- AESCHIMANN, D., Lauber, K., Moser, D. M., Theurillat, J.-P. 2004. Flora alpina. Band 1. Haupt Verlag. Bern, Stuttgart, Wien.
- Alpenvereinskarte 31/1, Stubaier Alpen/Hochstubai (Maßstab 1:25.000).
- BACKHAUS, K., Erichson, B., Plienke, W., Weiber, R. 1994. Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer Verlag. Berlin.
- BRAUN BLANQUET, J. 1922. Saxifragaceae. In: Hegi, G. Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Mit besonderer Berücksichtigung von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Band IV. 2. Hälfte. Verlag unbekannt.
- BUCHNER, O., NEUNER, G. 2007. Variability of heat tolerance in alpine plant species measured at different altitudes during the growing period. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 35, 411 – 420.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). 2007. Klimawandel in den Alpen. Fakten – Folgen – Anpassung. Berlin.
- BURGA, C.A., KLÖTZLI, F., GRABHERR, G. 2004. Gebirge der Erde: Landschaft, Klima, Pflanzenwelt. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.
- DIERSCHKE, H. 1994. Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden. Ulmer Verlag. Stuttgart.
- DULLINGER, S. 1998. Vegetation des Schrankogel/ Stubaier Alpen. Diplomarbeit.
- ELLENBERG, H. 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Auflage. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.
- ERSCHBAMER, B. 2007. Winners and Losers of Climate Change in a Central Alpine Glacier Foreland. Arctic, Antarctic and Alpine Research, 39, 237-244.
- FISCHER M. A., OSWALD, K., ADLER, W. 2008. Exkursionsflora für Österreich Liechtenstein und Südtirol. 3. Aufl. Biologiezentrum der oberösterreichischen Landesmuseen. Linz.
- FLIRI, F. 1975. Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Universitätsverlag Wagner. Innsbruck – München.
- FRANZ, H. 1979. Ökologie der Hochgebirge. Eugen Ulmer Verlag. Stuttgart.
- GEIGER, R. 1950. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Friedr. Vieweg & Sohn. Braunschweig.

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2002. Rocky Austria. Eine bunte Erdgeschichte von Österreich. Geologische Bundesanstalt. Wien.

ROCKY AUSTRIA:

http://www.geologie.ac.at/RockyAustria/geologie_und_landschaft.htm (5.2.2011).

GEOPRECISION GmbH: <http://www.geoprecision.com/http://maps.google.at> (3.12.2010).

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Map_at_längenfeld.png (8.3.2011).

GOTTFRIED, M., PAULI, H., GRABHERR, G. 1998. Prediction of Vegetation Patterns at the Limits of Plant Life: A New View of the Alpine-Nival Ekoton. Arctic and Alpine Research, 30 (3), 207-221.

GOTTFRIED, M., PAULI, H., REITER, K., GRABHERR, G. 1999. A fine-scaled predictive model for changes in species distribution patterns of high mountain plants induced by Climate warming. Diversity and Distributions, 5, 241–251.

GOTTFRIED, M., PAULI, H., REITER, K., GRABHERR, G. 2002. Potential Effects of Climate Change on Alpine and Nival Plants in the Alps. In Mountain biodiversity: a global assessment. International Publishers in Medicine, Science and Technology. London, New York.

GOTTFRIED, M., HANTEL, M., MAURER, C., TOECHTERLE, R., PAULI, H., GRABHERR, G. 2011. Coincidence of the alpine-nival ecotone with the summer snowline. Environmental Research Letter, 6.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., PAULI, H. 1994. Climate Effects on Mountain Plants. Nature, 369.

GRABHERR, G. 1997. Farbatlas Ökosysteme der Erde. Natürliche, naturnahe und künstliche Land-Ökosysteme aus geobotanischer Sicht. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., PAULI, H. 2000. GLORIA: A Global Observation Research Initiative in Alpine Environments. Mountain Research and Development, 20 (2), 190-191.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., PAULI, H. 2001. Aspects of global change in the alps and in the high arctic region. Long-term monitoring of mountain peaks in the alps. In Burga, C.A. und Kratochwil, A. Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales. 153-177.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., PAULI, H. 2007. Alpine Ökosysteme im Klimawandel. Fakten und Prognosen. In BMU. 2007. Klimawandel in den Alpen. Fakten – Folgen – Anpassung. Berlin.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., PAULI, H. 2008. Dramatische Folgen für die alpine Lebewelt. In: Lozan, J.L., Graßl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. Warnsignal Klima. Gesundheitsrisiken - Gefahren für Pflanzen, Tiere & Menschen.

GRABHERR, G., GOTTFRIED, M., PAULI, H. 2010a. Climate Change Impacts in Alpine Environments. *Geography Compass* 4/8, 1133-1153.

GRABHERR, G., PAULI, H., GOTTFRIED, H. 2010b. A worldwide observation of effects of climate change on mountain ecosystems. In: Borsdorf, A., Grabherr, G., Heinrich, K., Scott, B., Stötter, J. 2010 *Challenges for Mountain Regions – Tackling Complexity*. Wien. Böhlau.

GURVICH, D.E., DIAZ, S., FALCZUK, V., PEREZ-HARGUINDEGUY, N., CABIDO, M., THORPE, P. C. 2002. Foliar resistance to simulated extreme temperature events in contrasting plant functional and chorological types. *Global Change Biology*, 8, 1139-1145.

HEGI, G. 1950. *Alpenflora. Die verbreitetsten Alpenpflanzen von Bayern, Österreich und der Schweiz*. Hanser Verlag. München

HEGI, G. 1979. *Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Band III. Teil 2*. Paul Parey Verlag. Hamburg.

HÜLBER, K., GOTTFRIED, M., PAULI, M., REITER, K., WINKLER, M., GRABHERR, G. 2006. Phenological Responses of Snowbed Species to Snow Removal Dates in the Central Alps: Implications for Climate Warming. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 28, 99-103.

JALAS, J. und SUOMINEN, J. 1986. *Atlas Florae Europaeae. Distribution of vascular plants in Europe. Band 12. Akateeminen Kirjakauppa (the Academic Bookstore)*. Helsinki.

JONAS, T., RIXEN, C., STURM, M., STOECKLI, V. 2008. How alpine plant growth is linked to snow cover and climate variability. *Journal of Geophysical Research*, 113.

KLÖTZLI, F., DIETL, W., MARTI, K., SCHUBIGER, C., WALTHER, G.-R. 2010. *Vegetation Europas*. Ott-Verlag. Bern.

KÖRNER, C. 2003. *Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystem*, Springer. Heidelberg.

KÖRNER, C., PAULSEN, J. 2004. A worldwide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, 31, 713–732.

KÖRNER, C., ALSOS, I. G. 2009. Freezing resistance in high arctic plant species of Svalbard in mid-summer. *Bauhinia*, 21, 25-32.

LADINIG, U., WAGNER, J. 2009. Dynamics of lower development and vegetative shoot growth in the high mountain plant *Saxifraga bryoides*. *Flora*, 204, 63–73.

LANDOLT, E. 2010. *Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen*. Haupt Verlag. Bern.

LARCHER, W. 1994. *Ökophysiologie der Pflanze*. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.

LARCHER, W., KAINMÜLLER, C., WAGNER, J. 2010. Survival types of high mountain plants under extreme temperatures. *Flora*, 205, 3-18.

LEBENSMINISTERIUM: Abteilung VII 3 - Wasserhaushalt im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2009): Hydrographisches Jahrbuch. 2007. www.wassernet.at/article/articleview/81334/1/5703/ (25.1.2011).

LEYER, I., WESCHE, K. 2007. *Multivariate Statistik in der Ökologie*. Springer Verlag. Heidelberg. 2007.

LUNDEGARTH, H. 1925. *Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben*. Gustav Fischer Verlag. Jena.

MUCINA, L., GRABHERR, G. 1993. *Die Pflanzengesellschaften Österreichs, Natürliche waldfreie Vegetation*. Gustav Fischer Verlag. Jena.

NAGY, L. und GRABHERR, G. 2009. *The biology of alpine habitats*. Oxford University Press. Oxford.

OBERDORFER, E. 1949. *Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete*, 8.Auflage. Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart (Hohenheim).

OZENDA, P. 1988. *Die Vegetation der Alpen im europäischen Gebirgsraum*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., GRABHERR, G. 1999. Vascular plant distribution patterns at the low-temperature limits of plant life – the alpine-nival ecotone of Mount Schrankogel (Tyrol, Austria). *Phytocoenologia*, 29 (3), 297-325.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., GRABHERR, G. 2003. The Piz Linard (3411m), the Grisons, Switzerland – Europe's Oldest Mountain Vegetation Study Site. *Ecological Studies*, 167, Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg.

PAULI, H., GOTTFRIED, M., REITER, K., KLETTNEER, C., GRABHERR, G. 2007. Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994-2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. In: *Global Change Biology*, 13, 147-156.

R: <http://www.r-project.org/> (<http://cran.at.r-project.org/>).

RAUH, W. 1939. Über polsterförmigen Wuchs. Ein Beitrag zur Kenntnis der Wuchsform der höheren Pflanzen. *Nova Acta Leopoldina. Neue Folge*, 7, 268-508.

REISIGL, H., PITSCHMANN, H. 1958. Obere Grenzen von Flora und Vegetation in der Nivalstufe der Zentralen Öztaler Alpen (Tirol). *Vegetatio*, 8, 93–129.

SAKAI, A., LARCHER, W. 1987. *Frost survival of plants. Responses and adaptation to freezing stress*. Springer-Verlag. Berlin.

TASCHLER, D., NEUNER, G. 2004. Summer frost resistance and freezing patterns measured in situ in leaves of major alpine plant growth forms in relation to their upper distribution boundary. *Plant, Cell and Environment*, 27, 737-764.

TOLLMANN, A. 1977. *Geologie von Österreich. Band 1. Die Zentralalpen*. Deuticke. Wien.

Turboveg: <http://www.synbiosys.alterra.nl/turboveg> (12.04.2011)

WALTER, H. UND LIETH, H. 1960/67. *Klimadiagramm-Weltatlas*. Gustav Fischer Verlag. Jena.

WALTER, H. 1984. *Vegetation und Klimazonen: Grundriß der globalen Ökologie*. 5.Auflage. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart.

WETTER, W. 1918. *Ökologie der Felsflora kalkarmer Gesteine*. Dissertation. St.Gallen. <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:20357/eth-20357-01.pdf>

WINKLER, E. 1963. Beiträge zur Klimatologie hochalpiner Lagen der Zentralalpen. *Berichte des Naturwissenschaftlich - Medizinischen Vereins Innsbruck*, 53, 209-223. http://www.landesmuseum.at/pdf_frei_remote/BERI_53_0209-0223.pdf (25.1.2011).

Anhang

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Österreich – Übersichtskarte mit Tirol und Ausschnitt:.....	9
Abb. 2: Detailansicht des Untersuchungsgebiets	10
Abb. 3: Geologie von Österreich.....	12
Abb. 4: Profile durch die Ötztaler und Stubai Alpen	13
Abb. 5: Klimadiagramm von Längenfeld im Ötztal.....	14
Abb. 6: schematische Wachstumsverteilung in einem Radialflachpolster und einem Radialkugelpolster	19
Abb. 7: <i>Saxifraga bryoides</i>	21
Abb. 8: <i>Silene acaulis</i> subsp. <i>exscapa</i>	23
Abb. 9: <i>Minuartia sedoides</i>	25
Abb. 10: Seitenmoräne des Schwarzenberfers	27
Abb. 11: schematisch Skizze der Aufnahmeflächen:.....	28
Abb. 12: Beispielfoto für einen Plot der nordexponierten Moränenfläche.	29
Abb. 13: Beispielfoto für einen Plot der südexponierten Moränenfläche.	29
Abb. 14: Logger-Einrichtung in Plot N01.	30
Abb. 15: Temperaturlogger der Firma GeoPrecision:.....	31
Abb. 16: USB-Auslese – Dongle der Firma GeoPrecision	31
Abb. 17: <i>Silene exscapa</i> , Beispielfoto.	32
Abb. 18: <i>Silene exscapa</i> , Beispielfoto	32
Abb. 19: <i>Saxifraga bryoides</i> , Beispielfoto	33
Abb. 20: <i>Saxifraga bryoides</i> , Beispielfoto	33
Abb. 21: Übersicht über die Verteilung der Polster jeder Art je Exposition	39
Abb. 22: Nord-Süd-Gegenüberstellung der <i>Saxifraga bryoides</i> - Polster	40
Abb. 23: Nord-Süd-Gegenüberstellung der <i>Silene exscapa</i> - Polster.....	41
Abb. 24: Nord-Süd-Gegenüberstellung der <i>Minuartia sedoides</i> - Polster	42
Abb. 25: Nord-Süd-Gegenüberstellung der Polster aller Arten in der jeweiligen Beschädigungsklasse.....	43
Abb. 26: prozentueller Anteil der unbeschädigten und beschädigten Polster	44
Abb. 27: prozentueller Anteil der wenig und stark beschädigten Polster	46
Abb. 28: Prozentueller Anteil der <i>Saxifraga bryoides</i> - Polster	48

Abb. 29: Prozentueller Anteil der <i>Silene exscapa</i> - Polster	48
Abb. 30: Prozentueller Anteil der <i>Minuartia sedoides</i> - Polster.....	49
Abb. 31: <i>Saxifraga bryoides</i> : Gegenüberstellung der „kleinen“ und „großen“ Polster	50
Abb. 32: <i>Silene exscapa</i> : Gegenüberstellung der „kleinen“ und „großen“ Polster	51
Abb. 33: <i>Minuartia sedoides</i> : Gegenüberstellung der „kleinen“ und „großen“ Polster	52
Abb. 34: Vergleich der gemessenen Temperaturen in je zwei Plots.....	55
Abb. 35: Vergleich der Temperatur-Tages- und Monatsmittelwerte.	56
Abb. 36: Vergleich der Temperatur – Mittelwerte in Plot N01 und Plot S01.	57
Abb. 37: Jährlicher Verlauf der Bodentemperatur.....	59
Abb. 38: ein frühes Frostereignis in den Zentralalpen in der Nacht	64
Abb. 39: Vorkommenswahrscheinlichkeit der Arten in Bezug auf die Schneedeckendauer.....	66
Abb. 40: tägliche Schwankung der Oberflächentemperatur	67
Abb. 41: Vorkommenswahrscheinlichkeit der Arten in Bezug auf die beobachtete mittlere Nachttemperatur.....	71
Abb. 42: zusammenfassende Skizze der wichtigsten Ergebnisse	77

Tabellenverzeichnis

Table 1: Summary of the cushion results

Tab. 1: Einteilung der Polster in 6 Größenklassen	33
Tab. 2: Einteilung der Polsterbeschädigung in 6 Klassen.....	34
Tab. 3: Skala für die Schätzung der Artmächtigkeit nach BRAUN-BLANQUET	36
Tab. 4: Einteilung der Beschädigung in zwei Klassen	44
Tab. 5: Anzahl der Polster auf der jeweiligen Exposition	44
Tab. 6: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests	45
Tab. 7: Einteilung der Beschädigung in 2 Klassen: wenig beschädigt und stark beschädigt	46
Tab. 8: Anzahl der Polster auf der jeweiligen Exposition, die wenig beschädigt oder stark beschädigt sind.....	46
Tab. 9: Ergebnisse der Chi-Quadrat-Tests	47
Tab. 10: Vierfeldertafel für Chi-Quadrat-Tests im R: Abhängigkeit der Beschädigung	53
Tab. 11: Ergebnisse der Chi – Quadrat – Tests	53
Tab. 12: Twinspananalyse der 14 Vegetationsaufnahmen	60
Tab. 13: Zusammenfassung der Polster-Ergebnisse.....	77

Lebenslauf

Persönliche Angaben:

- Geburtsdatum: 02.11.1984
- Geburtsort: 4600 Wels
- Staatsbürgerschaft: Österreich

Ausbildung:

- 1991 - 1995: Volksschule, 4644 Scharnstein – Mühldorf.
- 1995 - 1999: Bundesrealgymnasium, 4810 Gmunden.
- 1999 - 2003: Bundesoberstufenrealgymnasium mit Schwerpunkt Musik, 4560 Kirchdorf an der Krems.
- WS 2004: Beginn des Diplomstudiums Biologie, sowie des Diplomstudiums Kultur- und Sozialanthropologie an der Universität Wien.
- WS 2006: Beginn des zweiten Abschnitts des Diplomstudiums Biologie: Studienzweig Ökologie mit Schwerpunkt Vegetationsökologie.
- SS 2008: Auslandssemester an der Universität Babeş-Bolyai, in Cluj-Napoca (Rumänien).
- SS 2009: Beginn der Diplomarbeit „Beobachtete Schäden an ausgewählten Polsterpflanzen auf klimatisch kontrastierenden Standorten am Schrankogel in Tirol“ am Department für Naturschutz und Vegetations- und Landschaftsökologie.

Weiteres:

- Sommer 2000 und 2001: Ferialarbeiten bei Kosche Holzprogramm GmbH: Lagerarbeiten
- Frühling 2003: Auslandsaufenthalt in Tansania und Uganda (Ost-Afrika).
- Sommer 2005 und 2006: Ferialarbeit beim Österreichischen Alpenschutzverband
- SS 2010: Tutorium zur Lehrveranstaltung „Ökophysiologisch-gärtnerische Übungen - angewandte Ökologie“, 5 ECTS.
- SS 2010: Tutorium zur Lehrveranstaltung 300635 „Lebensräume und Vegetation naturnaher Landschaften - Feldkurs Ötschgräben“, 3 ECTS.
- Sommer 2010: Mitarbeit beim Netzwerk „Gloria“ am Schrankogel, Datenauslesen.
- Februar 2011: Wissenschaftliche Mitarbeit bei der Evaluierung von ÖV-Projekten, Verkehrsconsulting OG.
- Seit Mai 2011: Lehrgang Outdoor Education - Naturpädagogik

Danksagung

Zu allererst möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Georg Grabherr für die Übernahme dieser Diplomarbeit und die nette und unkomplizierte Betreuung bedanken. Seine spannenden Vorlesungen und Exkursionen, die mich das ganze Studium hindurch begleiteten, sind „mitschuld“ daran, dass ich dieses Thema gewählt habe.

Dem Team von GLORIA – Dr. Michael Gottfried, Dr. Harald Pauli, Mag. Sonya Laimer und Christian Klettner – danke ich für die Organisation des Freilandeinsatzes am Schrankogel und die „Rundumbetreuung“ auch in den anschließenden Phasen der Diplomarbeit. Für die statistische Hilfe möchte ich mich vor allem bei Michi, für die Hilfe bei der Interpretation und die Bereitwilligkeit des Korrekturlesens bei Hari und Michi bedanken. Beiden bin ich für die menschlich- freundschaftliche und offene Betreuung sehr dankbar.

Weiters geht mein Dank an Mag. Ruth Töchterle, die mich bei Problemen mit „R“ nie im Stich gelassen hat und an meine Cousine DI Hildegund Fauler fürs Korrekturlesen.

Meinen Eltern danke ich für Ihr großes Vertrauen in mich und dass sie mir nie lästige Fragen gestellt haben und mich ohne Bedenken studieren ließen.

Meinen Geschwistern, Freunden und StudienkollegInnen möchte ich für die zahlreiche und hilfreiche Ablenkung danken und meiner Nichte Amelie für die Hilfe beim „Abschalten“.

Von ganzem Herzen dankbar bin ich Sophie Nießner – meiner Mitstreiterin in allen Diplomarbeitungsphasen. Danke für die unvergesslich schöne gemeinsame Zeit am Schrankogel, bei der Datenaufnahme. Dankbar bin ich auch für die darauffolgende Zeit, in der sie mir eine ständig hilfreiche Ansprechperson bei allen Diplomarbeitungsproblemen war, für die gegenseitige Motivation, fürs Durchlesen, Diskutieren und Korregieren, nicht zu vergessen – fürs gemeinsam Pause machen. Danke für die unvergleichliche Freundschaft und Offenheit!

Martin möchte ich für seine lange Geduld mit mir während meiner „Schreibphase“ danken und für die psychische und fachliche Unterstützung zu jeder Zeit. Danke auch für die hilfreichen Bemerkungen wenn Du mir beim Schreiben über die Schulter geschaut hast.

Dankbar bin ich auch Mutter Erde, dafür dass es die Polsterpflanzen überhaupt gibt.