



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Wachstumsdynamik bei *Silene acaulis* ssp. *exscapa*
und *Saxifraga bryoides* im alpin-nivalen Ökoton am
Schrankogel in den Stubaier Alpen“

Verfasserin

Sophie Nießner

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, Juni 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A444

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Ökologie

Betreuer:

O. Univ.-Prof. Mag. Dr. Georg Grabherr

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	1
ABSTRACT	3
1. EINLEITUNG	5
2. UNTERSUCHUNGSGEBIET	7
2.1 LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS.....	7
2.2 GEOLOGIE UND GEOMORPHOLOGIE	8
2.3 KLIMA	9
2.4 DIE UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN AM SCHRANKOGEL UND IHRE VEGETATION	10
3. BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN ARTEN	12
3.1 ALLGEMEINES ZU POLSTERPFLANZEN	12
3.2 <i>SILENE ACAULIS</i> (L.) JACQ. SUBSP. <i>EXSCAPA</i> ALL. BRAUN-BLANQ.	14
3.3 <i>SAXIFRAGA BRYOIDES</i> L.	16
3.4 POLSTERGÄSTE	17
4. METHODIK	19
4.1 AUSWAHL DER POLSTERPFLANZEN	19
4.2 VERMESSUNG DER POLSTERPFLANZEN AUF DEN FOTOS.....	19
4.3 DATENERHEBUNG IM FREILAND.....	20
4.3.1 <i>Auffinden der Flächen</i>	20
4.3.2 <i>Vermessung der Pflanzen</i>	21
4.3.3 <i>Aufgenommene Parameter</i>	21
4.4 DATENVERARBEITUNG - VERWENDETE SOFTWARE	23
4.5 WACHSTUMSANALYSEN MIT DER POLSTERFLÄCHE.....	23
4.5.1 <i>Einteilung der Individuen in Größenklassen</i>	23
4.5.2 <i>Zunahme und Abnahme der Polsterflächen</i>	24
4.5.3 <i>Wachstumsverlauf der Individuen</i>	24
4.6 BESCHÄDIGUNG DER POLSTERFLÄCHE	24
4.7 WACHSTUMSANALYSEN MIT DEM POLSTERDURCHMESSER.....	25
4.7.1 <i>Berechnung einer jährlichen Wachstumsrate</i>	25
4.7.2 <i>Erstellen einer Wachstumskurve</i>	26
4.7.3 <i>Versuch einer Altersbestimmung</i>	26
4.8 STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	27
4.8.1 <i>Vierfeldertest zum Wachstumsverhalten</i>	27
4.8.2 <i>Mixed effects model für das Wachstumsverhalten</i>	27
4.8.3 <i>Lineares Modell für Polstergäste</i>	28
4.9 ANALYSE DER POLSTERGÄSTE.....	28
5. ERGEBNISSE	29
5.1 ANZAHL DER POLSTER UND IHRE VERTEILUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET	29
5.2 WACHSTUMSANALYSEN MIT DER POLSTERFLÄCHE.....	30
5.2.1 <i>Zunahme und Abnahme der Polsterflächen</i>	30
5.2.2 <i>Zunahme und Abnahme in den einzelnen Größenklassen</i>	33
5.2.3 <i>Wachstumsverlauf der Individuen</i>	34
5.2.4 <i>Abnahme der Polsterfläche in den Sektoren</i>	37
5.2.5 <i>Abnahme der Polsterfläche in den Höhenklassen</i>	39
5.3 BESCHÄDIGUNG DER POLSTERFLÄCHE.....	41
5.3.1 <i>Beschädigung in Abhängigkeit von der Polstergröße</i>	42
5.4 WACHSTUMSANALYSEN MIT DEM POLSTERDURCHMESSER.....	44
5.4.1 <i>Berechnung einer durchschnittlichen Wachstumsrate</i>	44
5.4.2 <i>Erstellen einer Wachstumskurve für S. bryoides und S. exscapa</i>	44
5.4.3 <i>Versuch einer Altersbestimmung</i>	46

5.5 HINDERNISSE	47
5.6 POLSTERGÄSTE	48
5.6.1 <i>AltiRank - Klassifizierung der Polstergäste</i>	49
5.6.2 <i>Anzahl der Polstergäste in Abhängigkeit von der Seehöhe</i>	51
5.7 WACHSTUMSANALYSE MIT EINEM MIXED EFFECTS MODEL.....	52
5.8 MESSFEHLER	53
6. DISKUSSION	54
6.1 ZU- UND ABNAHME SOWIE BESCHÄDIGUNG DER POLSTERFLÄCHE	54
6.1.1 <i>Die Wuchsformen als erklärender Faktor</i>	54
6.1.2 <i>Allgemeines zur Beschädigung von Polsterpflanzen</i>	58
6.1.3 <i>Flächenabnahme und Beschädigung in Abhängigkeit von der Polstergröße</i>	59
6.1.4 <i>Flächenabnahme in den Sektoren</i>	59
6.1.5 <i>Flächenabnahme je Höhenklasse</i>	60
6.1.6 <i>Die Ausnahme- Periode 2004 - 2009</i>	61
6.2 WACHSTUMSGESCHWINDIGKEIT UND WACHSTUMSKURVE	62
6.3 ALTERSBESTIMMUNG	62
6.4 POLSTERGÄSTE	63
6.5 MESSFEHLER	64
7. LITERATURVERZEICHNIS	65
8. ANHANG	71
8.1 VERMESSUNG DER FOTOS AM COMPUTER.....	71
8.2 BEISPIELFOTOS FÜR UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN	74
8.3 TABELLENVERZEICHNIS	74
8.4 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	75
LEBENS LAUF SOPHIE NIEßNER.....	80

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde das Wachstumsverhalten der Polsterpflanzen *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* am alpin-nivalen Ökoton des Schrankogel in den Tiroler Zentralalpen vergleichend analysiert. *S. bryoides* ist überwiegend eine subnivale bis nivale Art, *Silene exscapa* kann als oberalpine bis subnivale Pionierart alpiner Rasen bezeichnet werden. Nach einer Phase der Klimaerwärmung sollten demnach Populationen der tiefer vorkommenden Art im Bereich ihrer oberen Verbreitungsgrenze expandieren, während Populationen der extremeren Hochlagenart kontrahieren. Diese Hypothese gegenläufiger Veränderungen sollte an einer großen Zahl von Einzelindividuen (195: *S. bryoides*, 272: *S. exscapa*) am alpin-nivalen Ökoton überprüft werden.

Dafür wurden vom Forschungsnetzwerk GLORIA Fotografien von Dauerbeobachtungsflächen aus den Jahren 1994 und 2004 zur Verfügung gestellt. Auf den Fotos wurden alle eindeutig identifizierbaren Individuen mit dem Computerprogramm AUTOCAD ausgewählt. Im Zuge der Freilandarbeit 2009 wurden die ausgewählten Individuen erneut fotografiert und ihr Durchmesser mit AUTOCAD ermittelt. Daraus ergab sich eine Zeitreihe mit drei möglichen Beobachtungszeitspannen: 1994 – 2004 (10 Jahre), 2004 – 2009 (5 Jahre) und 1994 – 2009 (15 Jahre). Es konnten Wachstumsgeschwindigkeit sowie Häufigkeit von Zu- und Abnahme der Polsterflächen ermittelt und eine Wachstumskurve erstellt werden. Zusätzlich wurden im Freiland der prozentuelle Anteil der beschädigten (abgestorbenen) Polsterfläche sowie eine Artenliste der Polstergäste erhoben und anschließend analysiert. Zudem wurden die Polsterdurchmesser im Jahr 2009 im Freiland mit einer Schublehre vermessen. Somit konnte durch einen Vergleich der Freiland- und der AUTOCAD- Messungen ein Wert für die Ungenauigkeit der für die Analysen verwendeten AUTOCAD- Messwerte bestimmt werden.

Aus den Ergebnissen ist ein sehr unterschiedliches Wachstumsverhalten der beiden Pflanzenarten ersichtlich. Individuen von *Saxifraga bryoides* zeigten nicht nur deutlich häufiger Flächenabnahmen als *Silene exscapa*. Sie wiesen auch vergleichsweise große Beschädigungsanteile der Polsterfläche – vor allem schon bei kleinen Pflanzen – auf. Bei beiden Arten konnte eine Zunahme der relativen Wachstumsrate mit der Polstergröße festgestellt werden, welche jedoch bei *S. exscapa* ein deutlich homogeneres Muster aufweist. Die Ergebnisse zeigen zudem höhere Wachstumsraten bei *S. exscapa* als bei *S. bryoides*. Ein mixed effects model bestätigte, dass sich die beiden Arten in ihrem Wachstumsverhalten signifikant voneinander unterscheiden und, dass *S. exscapa* schneller wächst als *S. bryoides*. Es zeigte aber auch, dass die Variabilität im Wachstumsverhalten beider Arten groß ist. Da im Datensatz ein breites Größenspektrum der Polsterpflanzen vorliegt, und ersichtlich ist, wie groß der Zuwachs eines Polsters nach 5, 10 und 15 Jahren ist, wurde eine Altersbestimmung durchgeführt. Aufgrund der großen Variabilität des Pflanzenwachstums wurden aus den einzelnen Perioden jedoch verschiedene Durchmesser für denselben Alterswert ermittelt. Zudem sind die Pflanzen in der

Zeitspanne von 2004 bis 2009 schneller gewachsen als in der Periode von 1994 bis 2004. Für *S. exscapa* wurden für ein geschätztes Alter von 30 Jahren Durchmesser von 7,5cm, 10cm und 16cm ermittelt. Bei *S. bryoides* liegen die entsprechenden Werte bei 5cm, 7cm und 12cm. Die Auswertung der Polstergäste zeigte, dass *Silene exscapa* häufiger Polstergäste beherbergt und, dass sie ein größeres Artenspektrum als *S. bryoides* aufweist. In den niedriger gelegenen Untersuchungsflächen war die durchschnittliche Anzahl der Polstergast- Arten größer als in den höher gelegenen.

Die Ergebnisse lassen sich teilweise durch die unterschiedlichen Wuchsformen der beiden Polsterpflanzen erklären. Das Kiesel-Stengellose Leimkraut (*Silene exscapa*) ist durch seine deutlich kompaktere Wuchsform nicht nur vor mechanischen Beschädigungen besser geschützt als der Moos-Steinbrech, *Saxifraga bryoides*. Es hat auch eine verbesserte Fähigkeit Wärme, sowie Wasser und Nährstoffe in seinem Polsterinneren zu speichern. Dies ist hingegen bei *S. bryoides* durch die häufig lockere Wuchsform nicht immer gegeben. Mit seinen Ausläufern, die leicht abgetrennt werden können, ist er anfälliger für mechanische Verletzungen. Für die Erstellung einer Wachstumskurve und die Durchführung einer Altersbestimmung ist *S. exscapa* durch ihr regelmäßigeres Wachstum scheinbar besser geeignet als *S. bryoides*.

Die beobachtete geringere Wachstumsrate von *Saxifraga bryoides*, verbunden mit einem höheren Beschädigungsausmaß an großen als auch an kleine Polstern, deutet jedoch auch auf einen laufenden erwärmungsgesteuerten Kontraktions- (*S. bryoides*) beziehungsweise Expansionsprozess (bei *Silene exscapa*) hin.

Da sich alle Probepflanzen dieser Diplomarbeit in Dauerbeobachtungsflächen befinden, würden sie sich für zukünftige, vertiefende Wachstumsanalysen hinsichtlich klimagesteuerter Reaktionsmuster alpiner bis nivaler Polsterpflanzen bestens eignen.

ABSTRACT

The aim of the present diploma thesis was to compare the growth performance of two cushion-forming high-mountain plants, *Saxifraga bryoides* and *Silene exscapa* at the alpine-nival ecotone of Mt. Schrankogel (3497m) in the central Alps of Tyrol. *S. bryoides* is a predominantly subnival to nival species and *S. exscapa* can be considered as high-alpine to subnival pioneer species of alpine grassland. Therefore it was hypothesized that, after a period of climate warming, populations of the lower-distributed species would expand at its upper range margin, whereas populations of the high-altitude species would show a contraction. Such diverging changes may be discernible when observing large sets of individuals (195: *S. bryoides*, 272: *S. exscapa*) that are distributed within the alpine-nival ecotone.

For this purpose I used photographs of monitoring plots from 1994 and 2004 that were provided by the GLORIA network. On these photos all undoubtedly identifiable individuals were selected and cushion diameters were measured for both years 1994 and 2004 with the computer program AUTOCAD. During fieldwork in 2009, pictures of the same plots were taken again and plant diameters were subsequently calibrated by AUTOCAD. This resulted in a time series of two partial periods 1994 – 2004 (10 years), 2004 – 2009 (5 years) and a total period 1994 – 2009 (15 years). Growth rates as well as the frequency of increasing or decreasing cushion surface areas could be determined and a growth curve was calculated. During fieldwork, cushion diameters were also measured in situ and the percentage of damaged cushion area was visually estimated. In addition, any other vascular plant species growing on the cushion plants (guest plants) were recorded on a presence/absence basis in order to estimate differences in guest plant frequencies. Measurement inaccuracies of the 2009-cushion diameters arising from the AUTOCAD application could be evaluated with the field-measured cushion diameters.

The results show that the two species differ clearly in their growth performance. Individuals of *Saxifraga bryoides* decreased in surface area more frequently than those of *Silene exscapa*. In addition, the former showed comparatively high percentages of damaged areas which could be noticed already at small individuals. The growth rate of both species increased with increasing cushion areas albeit this pattern was found to be more homogenous for *Silene exscapa*. In addition the latter species showed higher growth rate values than *Saxifraga bryoides*. A mixed effects model showed that the species differ significantly in their growth performance and that *S. exscapa* grows faster than *S. bryoides*. However it also indicated a high variability in growing patterns. An age determination was made by assessing the increment of growth after 5, 10 or 15 years. Difficulties, however, arose from the wide amplitude of cushion sizes and the variability in individual growth rates that yielded different diameters for the same age value. For a particular age, three diameter values were estimated, one from each timespan (5, 10 and 15 years). At the age of 30 years *S. exscapa* diameters are estimated to measure 7.5 cm, 10 cm and 16 cm, respectively. The respective values for *S. bryoides* are 5 cm, 7 cm and 12 cm.

Cushion guests occurred more frequently and with higher numbers on *Silene exscapa* than on *Saxifraga bryoides*. The mean species number of guest plants was greater at lower sites than at higher sites.

The results can partly be explained by the difference in the growth form of the investigated species. *Silene exscapa* forms more compact cushions and is therefore more resistant against mechanical damage. The cushions of *S. exscapa*, further, appear to be more effective heat collectors and may have a better capacity for holding water and soil nutrients. In contrast, *Saxifraga bryoides* makes loose, more irregular cushion shapes and creeping stems which are more vulnerable to mechanic damage such as from rock slides or solifluction. Therefore, the study of the growth performance and the age determination was easier for *S. exscapa* compared to *S. bryoides*.

The observed slower growth rates of *Saxifraga bryoides*, combined with a higher extent of cushion damages on both large and small individuals, however, also indicate an ongoing warming-driven contraction (*S. bryoides*) versus expansion process (*S. exscapa*).

Given that all study plants of this thesis are located in permanent plots, their continued observation and in-depth study is expected to yield high interesting insights in the response patterns of high-mountain cushion plants to changing climatic conditions.

1. EINLEITUNG

Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf alpine Vegetation sind in den letzten Jahren Gegenstand unzähliger Untersuchungen geworden (z. B. CASTY et al., 2005; GOTTFRIED et al., 1994; GOTTFRIED et al. 2002, GRABHERR et al. 1994, JOLLY et al., 2005, PAULI et al., 2007). Der durchschnittliche Temperaturanstieg seit 1850 betrug weltweit etwa 0.6°C (WALTHER et al., 2002), im österreichischen Alpenraum etwa 1°C (AUER et al., 1992 in GOTTFRIED et al., 1994).

Mit der Gründung des Forschungsnetzwerkes GLORIA (GLOBAL OBSERVATION INITIATIVE IN ALPINE ENVIRONMENTS, www.gloria.ac.at) im Jahre 1999 wurden in verschiedenen Hochgebirgsregionen der Erde Langzeit-Monitoringflächen eingerichtet, um die durch den Klimawandel induzierten Veränderungen auf alpine Ökosysteme und deren Vegetation zu studieren. Im Zuge dessen wurden im Jahr 1994 am Schrankogel in den Stubai Alpen (Tirol) etwa 1000 1x1m Daueruntersuchungsflächen im alpin-nivalen Ökoton angelegt, davon wurden 362 im Jahr 2004 erneut untersucht (PAULI et al., 2007). Auf den ausgewählten Quadraten wurden zu beiden Zeitpunkten Vegetationsaufnahmen vorgenommen, die Flächen wurden fotografiert und die Ergebnisse anschließend miteinander verglichen. Dabei konnte eine deutliche Veränderung der Deckungswerte von Pflanzen festgestellt werden, bei der Arten aus der unteren, i.e. alpinen Höhenstufe zunahmen (z. B. *Silene exscapa*, *Oreochloa disticha*), während Arten aus der oberen, subnivalen Stufe abnahmen (z. B. *Ranunculus glacialis*, *Saxifraga bryoides*). Daraus kann abgeleitet werden, dass durch die Klimaveränderung – welche sich im Hochgebirge unter anderem durch Erwärmung ausdrückt – eine Verschiebung der Verbreitungsgrenzen von Hochgebirgsarten (GRABHERR et al. 1994) und somit der alpinen und nivalen Vegetationszonen nach oben verursacht wird (PAULI et al., 2007). Polsterpflanzen eignen sich sehr gut für Langzeituntersuchungen, da sie langsam wachsen und häufig ein hohes Alter erreichen. Eine Altersbestimmung bei Hochgebirgspflanzen lässt sich beispielsweise mittels herb chronology durchführen (DIETZ & SCHWEINGRUBER, 2002; DIETZ et al., 2004; VON ARX et al., 2006), dabei werden die Individuen allerdings abgetötet. Polsterpflanzen weisen vielfach ein sehr regelmäßiges Wachstum auf, das sich von einem zentralen Punkt radial nach außen erstreckt, und so zu einem kreisförmigen Polster führt. Einige Studien (BENEDICT, 1989; LE ROUX & MCGEOCH, 2004; MCCARTHY, 1992; MOLAU, 1997) haben eine Methode zur Altersbestimmung bei *Silene acaulis* (Caryophyllaceae) und *Azorella selago* (Apiaceae) angewendet, bei der der Durchmesser des Polsters über mehrere Jahre hinweg gemessen wird. Nach Berechnung einer durchschnittlichen Wachstumsrate konnte auf das Alter der Pflanze geschlossen werden. So wurde beispielsweise für *Silene acaulis* ein Alter von über 300 Jahren (MORRIS & DOAK, 1998), für *Azorella compacta* (Apiaceae) bis zu 1000 Jahre (für subtropische Breiten) angegeben (HALLOY, 2002 in NAGY & GRABHERR, 2009).

Durch ihre kompakte Wuchsform stellen Polsterpflanzen häufig einen günstigen Keimungsort für andere Pflanzen dar, diese „Aufsitzerpflanzen“ werden als Polstergäste bezeichnet. Positive Interaktionen können vor allem in extremen Lebensräumen wie Hochgebirgen oder Wüsten häufig beobachtet werden

(ANTONSSON et al., 2009; ARREDONDO-NÚÑEZ et al., 2009; CALLAWAY et al., 2002). Nach CALLAWAY et al. (2002) nehmen positive Interaktionen aufgrund von hohem abiotischem Stress mit der Seehöhe zu.

Um einen Hinweis auf die Hintergründe der Veränderungen von Deckungswerten (vgl. PAULI, 2007) einzelner Pflanzenarten zu erhalten, wurden für die vorliegende Diplomarbeit zwei Polsterpflanzen mit unterschiedlicher Höhenverbreitung ausgewählt und deren Wachstumsverhalten analysiert. *Saxifraga bryoides* (Saxifragaceae), eine Hochgebirgspflanze vorwiegend der subnivalen und nivalen Stufe und *Silene exscapa* (Caryophyllaceae) mit einem Verbreitungsschwerpunkt in der alpinen und subnivalen Höhenstufe. Das Ziel dieser Diplomarbeit war eine Durchmesser- basierte Wachstumsanalyse der beiden Arten vorzunehmen, bei der Zu- und Abnahme sowie die Beschädigung der Polsterfläche im Vordergrund stehen. Geprüft werden sollten dabei folgende Fragestellungen (1) Nehmen im alpin-nivalen Ökoton Pflanzen mit einem alpinen Verbreitungsschwerpunkt (*S. exscapa*) zu, während Pflanzen mit einem nivalen Verbreitungsschwerpunkt (*S. bryoides*) abnehmen? (2) Sind Beschädigungen der Polsterfläche, welche eng mit Absterbephänomenen in Zusammenhang stehen, gleichermaßen bei Polstern verschiedener Größen verteilt? Oder gibt es Hinweise darauf, dass alpine Arten (welche im Ökoton im Expandieren begriffen sind) Beschädigungen erst bei großen Polstern aufweisen, und nivale Arten (im Ökoton tendenziell abnehmend) schon bei kleinen Polstern? Da eine Beziehung zwischen Größe und Alter des Polsters nahe liegt (vgl. BENEDICT, 1989; LE ROUX & MCGEOCH, 2004; MCCARTHY, 1992; MOLAU, 1997), wurde versucht (3) eine Altersbestimmung für die Polsterpflanzen durchzuführen. Ein weiteres Ziel war es (4) eine Artenliste von Polstergästen zu erstellen und zu prüfen, ob in höheren Lagen Gäste häufiger vorzufinden sind als in tieferen Lagen.

2. UNTERSUCHUNGSGBIET

2.1 LAGE DES UNTERSUCHUNGSGBIETS

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1) befindet sich am Schrankogel (3497m.ü.A.; 11°05'30"-11°06'30"E und 47°02'15"-47°02'40"N), welcher im westlichen Teil der Stubaier Alpen in Tirol (Österreich) liegt. Die Stubaier Alpen sind ein Teil der Zentralalpen der Ostalpen und grenzen im Westen an die Ötztaler Alpen, im Süden an die Sarntaler Alpen und im Osten an die Zillertaler, sowie an die Tuxer Alpen. Im Norden werden sie durch das Inntal begrenzt, wobei Innsbruck nordöstlich der Stubaier Alpen liegt. Außer Tirol hat auch Italien mit Südtirol Anteil an den Stubaier Alpen. Das Zuckerhütl ist mit 3507m.ü.A. ihr höchster, der Schrankogel der zweithöchste Gipfel. Er liegt 6.6km südöstlich von Gries, welches der südlichste Ort im Sulztal ist, einem Seitental des Ötztales. Man erreicht den Berg, indem man dem Wanderweg Nummer 131 von Gries ausgehend in südlicher Richtung folgt. An der Amberger Hütte vorbeigekommen hält man sich weiter nach Süden bis der Weg nach Osten abzweigt und auf der Schwarzenbergmoräne entlangführt. Kurz vor dem Schwarzenbergsee teilt sich der Weg, von wo aus der Schrankogel über den Normalweg entlang der Südwestflanke des Berges, oder über den Ostgrat bestiegen werden kann.

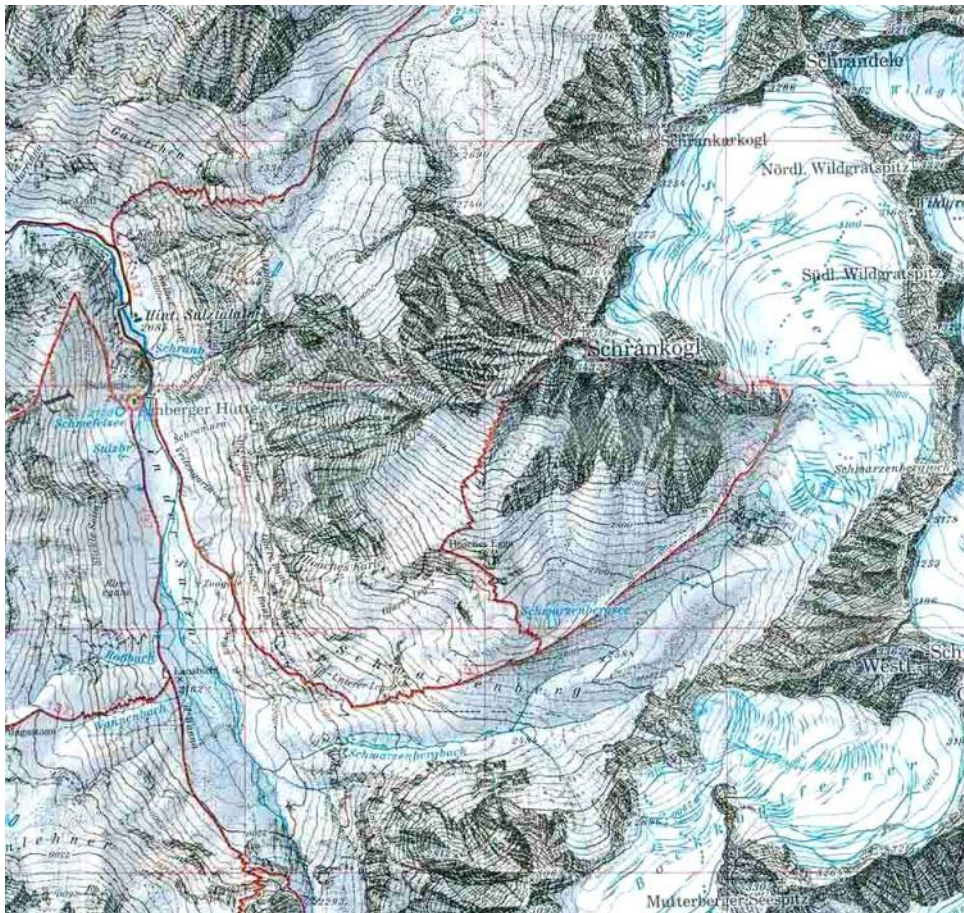


Abb. 1: Ausschnitt aus der Alpenvereinskarte Blatt 31/1, Stubaier Alpen/ Hochstubaier (Maßstab 1:25.000).

2.2 GEOLOGIE UND GEOMORPHOLOGIE

Die Stubaier Alpen liegen im Kristallin der Ostalpen, welches einen Komplex aus mehreren Teileinheiten darstellt. Dazu gehören die Gebirge westlich (Silvretta, Ötztaler und Stubaier Alpen) und südlich (Schobergruppe, Deferegger Alpen) der Hohen Tauern, sowie Teile der Zentralalpen von den Niederen Tauern bis zum Wechsel und nach Süden bis zur Koralpe (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 2002; vgl. Abb. 2). Dominierender Gesteinsbestand der Stubaier Alpen sind Paragneise, in die Glimmerschiefer, Orthogneise aus dem Altpaläozoikum, Amphibolite sowie Karbonatgesteine aus dem zentralalpinen Permomesozoikum eingelagert sind (GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT, 1999). Im Bereich des Schrankogels dominieren Paragneis und Amphibolit, wodurch sich die Geländemorphologie mit steilen Hängen und Rücken ergibt.

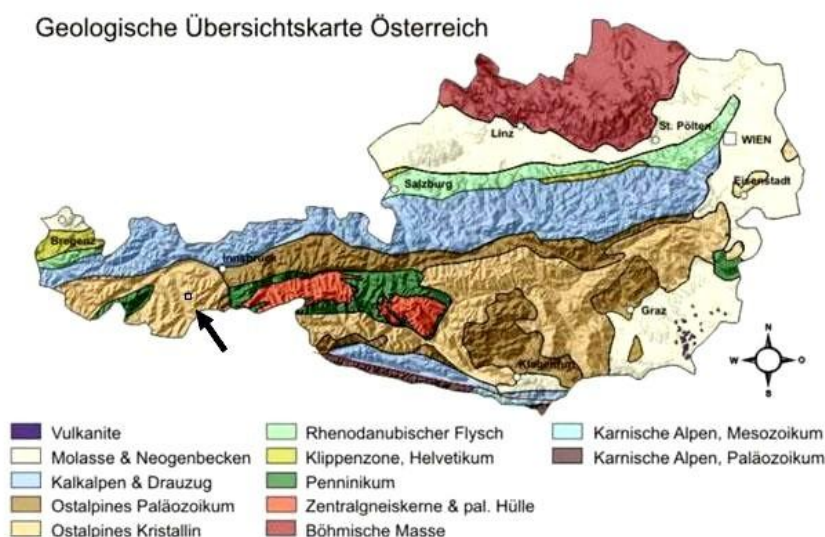


Abb. 2: Geologische Übersichtskarte von Österreich. Das Untersuchungsgebiet ist mit einem Viereck eingezeichnet. Nach <http://www.geologie.ac.at/> Zugriff am 27.1.2011, 15:34h, leicht verändert.

Der Schrankogel (Abb. 3) ist in eine weiträumige Gletscher- und Moränenlandschaft eingebettet und wird im nordöstlichen und östlichen Teil vom Schwarzenbergferner umgeben. Das Gebiet zwischen Südwest- und Ostgrat wird im oberen Bereich von steil abfallendem Felsgelände mit Graten und Felsrippen verschiedenster Neigungen und Expositionen, im unteren Bereich von Silikatschutthalden sowie alpinen Rasen- und Felsfluren gebildet. Nach Westen und Nordwesten hin fällt das felsige Gelände bis etwa 2100m zur Amberger Hütte hin steil in das Sulzthal ab. Der Nordostgrat führt über den Schrankarkogel (3327m.ü.A.) bis zum Schrandele (3393m.ü.A.). Die Seitenmoräne des Schwarzenbergferners von 1850 erstreckt sich südlich des Schrankogels von etwa 2500m im Südwesten in nordöstlicher Richtung bis etwa 3000m Seehöhe.



Abb. 3: Der Schrankogel von Süden. Östlich des Berges sind der Schwarzenbergferner sowie im Süden dessen Seitenmoräne von 1850 und der Schwarzenbergsee zu erkennen. Bild aufgenommen am 1.9.2009 aus dem Hubschrauber.

2.3 KLIMA

Die Ostalpen befinden sich im nemoralen Zonobiom (Zonobiom VI – Winterkalte Gebiete mit laubwerfenden Wäldern (vgl. GRABHERR, 1997). Dies ist durch kalte, schneereiche Winter und feuchtwarme Sommer mit einer vier bis sechs Monate andauernden Vegetationsperiode gekennzeichnet.

Die Ostalpen erreichen im Bereich der Ötztaler Alpen ihre breiteste Nord-Süd-Ausdehnung (REISIGL & PITSCHMANN, 1958), hier befindet sich die größte zusammenhängende Hochfläche der Alpen. Staulagen in den nördlichen und südlichen Randketten der Alpen bedingen eine Abschirmung der Wetterfronten in den Zentralalpen und dadurch eine Verringerung der Bewölkung und Erhöhung der Strahlungsintensität. Somit ergibt sich ein Kontinentalitäts-Gradient, der zum Zentrum eines Hochgebirges zunimmt und eine der Ursachen für den „Massenerhebungseffekt“ ist (REISIGL & PITSCHMANN, 1958). Dieser bedingt beispielsweise auch Unterschiede in der Seehöhe der Waldgrenze zwischen Randalpen (1800m in den Nordalpen) und Zentralalpen (2500m im Vinschgau) (BURGA et al., 2004). Die zentralen Ostalpen gehören somit zu jenen Hochgebirgen, welche von einem kontinentalen Klimacharakter bestimmt sind.

Die Lufttemperatur nimmt bekanntlich mit der Seehöhe ab, so werden von REISIGL & PITSCHMANN (1958) für das Ötztal – gemessen an einem Gradienten von 1900m.ü.A. bis 3100m.ü.A. – pro 100m Seehöhe eine Abnahme um durchschnittlich 0,6°C angegeben. Für die Monate Juni, Juli, August und September sind dies 0,70°C, 0,71°C, 0,67°C und 0,64°C, während diese Differenz in den Monaten November bis Jänner um etwa 0,2°C tiefer liegt. Das Ötztal ist durch die bereits erwähnte Lage im Alpeninneren und die Orographie des Vorlandes sehr niederschlagsarm (REISIGL & PITSCHMANN 1958). Der Jahresniederschlag über die Periode 1911-1950 lag in Obergurgl (1930m.ü.A.) bei 831mm (REISIGL & PITSCHMANN, 1958). Aus dem Klimadiagramm für Längenfeld im Ötztal (1179m.ü.A.) nach WALTHER & LIETH (1960)

sind 736mm Jahresniederschlag ersichtlich (Abb. 4). Im Winter fallen nach REISIGL & PITSCHMANN (1958) in den Ostalpen auf 3106m.ü.A. 100% des Niederschlages als Schnee, über das ganze Jahr liegt der Schneeanteil bei 88%. Der Schneereichtum in der alpinen und insbesondere in der nivalen Stufe der Alpen bringt Pflanzen im Winter einen durchgehenden Schneeschutz, wodurch sie, abgesehen von Standorten an windgefügten Kanten und Graten, weniger den Temperaturextremen ausgesetzt sind (BURGA et al., 2004).

Vom Schrankogel selbst sind keine durchgehenden Jahresmitteltemperaturen und Niederschlagsdaten verfügbar. Die Niederschläge dürften aber in tiefen Lagen des Schrankogels etwa bei 1250 mm pro Jahr bzw. bei 2000 mm pro Jahr für die Gipfelregion liegen (PAULI et al., 1999 nach PITSCHMANN et al., 1970). Die nächst gelegenen Temperaturdaten stammen vom etwa 8km süd-süd-westlich des Schrankogels gelegenen Hohen Nebelkogel (3184m. ü. A.). Das Monatsmittel vom Jänner 1968 lag bei $-17,6^{\circ}\text{C}$, jenes vom Juli 1968 bei $+0,2^{\circ}\text{C}$ (PAULI et al., 1999 nach MOSER et al., 1978).

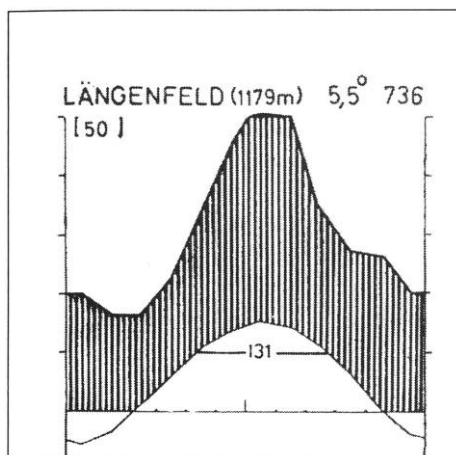


Abb. 4: Klimadiagramm für Längenfeld im Ötztal (1179m.ü.A.) aus WALTHER & LIETH (1960). Das Jahresmittel der Temperatur beträgt $5,5^{\circ}\text{C}$, der Jahresniederschlag 736mm.

2.4 DIE UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN AM SCHRANKOGEL UND IHRE VEGETATION

Der Schrankogel ist Modellberg des internationalen Forschungsnetzwerkes GLORIA (GLOBAL OBSERVATION RESEARCH INITIATIVE IN ALPINE ECOSYSTEMS, www.gloria.ac.at). Im Jahr 1994 wurden am Schrankogel rund 1100 Daueruntersuchungsflächen (Plots) von 1x1m eingerichtet, die in Transekten von 1x10m bis 3x30m angeordnet im alpin-nivalen Ökoton (s.u.) und im Gipfelbereich des Berges liegen. 2004 wurden 362 dieser Flächen wieder untersucht (GOTTFRIED et al., 1998; PAULI et al., 2007). Die Transekte, in denen die Untersuchungsflächen dieser Diplomarbeit liegen, befinden sich im Südwesten (Transekte 2, 3, 4), im Süden (Transekte 6, 7, 8, 9) und im Südosten (Transekte 10, 11) im alpin-nivalen Ökoton des Berges (Abb. 5). Diese verschieden exponierten Flanken des Berges werden im Folgenden als Sektoren bezeichnet. Transekt 22 befindet sich im Süden auf etwa 2625m und liegt somit weit

unterhalb aller anderen Untersuchungsflächen. Beispielfotos von Transekten befinden sich im Anhang in Abb. 48.

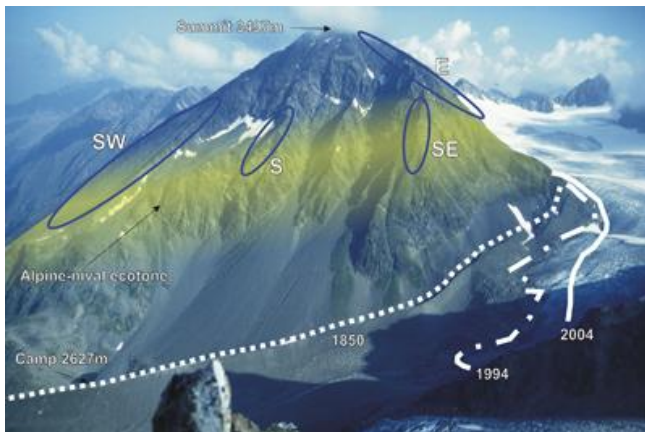


Abb. 5: Das alpin-nivale Ökoton am Schrankogel (gelb markiert). Die Untersuchungsflächen dieser Arbeit befinden sich in den Sektoren Südwesten (SW), Süden (S) und Südosten (SE). Bildquelle: <http://www.gloria.ac.at/?a=42&b=56>

Die alpine Höhenstufe der Zentralalpen wird von geschlossenen Rasen, im oberen Bereich von Pionierrasen gebildet (ELLENBERG & LEUSCHNER, 2010). Die nivale Höhenstufe ist durch Fels- und Schuttformationen gekennzeichnet, in denen nur bei sehr günstigen edaphischen und klimatischen Bedingungen geschlossene Rasengesellschaften auftreten können (REISIGL & PITSCHMANN, 1958). Sie ist von Dikotylenpolstern, Moos- und Flechtengesellschaften dominiert (ELLENBERG & LEUSCHNER, 2010).

Die oberalpine Vegetationszone des Schrankogels wird von Rasengesellschaften des *Caricetum curvulae* gebildet (ABRATE, 1998; DULLINGER, 1998). Im Südosten und in Teilen des Südens kommen in Höhenlagen zwischen 2800m und 3000m.ü.A. auch Bestände des *Elynetum myosuroides* vor (PAULI et al., 1999). Die Grenze zu den subnivalen bis nivalen Pflanzengesellschaften des *Androsacion alpinae*-Verbandes befindet sich im Südwesten etwa bei 2950m.ü.A, im Süden bei ca. 3050m.ü.A. und im Südosten bei etwa 3100m.ü.A. (PAULI, mündl. und PAULI et al., 1999). Diese Unterschiede bezüglich der Himmelsrichtungen sind darin begründet, dass der Südwesten dem Wettergeschehen stärker ausgesetzt ist. Die Übergangszone zwischen den beiden genannten Höhenstufen wird alpin-nivales Ökoton (= subnivale Stufe) genannt (PAULI et al., 1999).

3. BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHTEN ARTEN

3.1 ALLGEMEINES ZU POLSTERPFLANZEN

RAUH (1939) definiert Polsterpflanzen als perennierende, meist immergrüne Gewächse mit allorhizer Bewurzelung und kaum hervortretender Hauptachse. In seinem Werk „Über polsterförmigen Wuchs“ wird ein Wuchsformensystem der Polsterpflanzen nach morphologischen Kriterien geschaffen. Er unterscheidet primär zwischen Flach- und Kugelpolstern, wobei bei ersteren das Randwachstum der Sprosse ausgeprägter ist, bei zweiteren das Oberflächenwachstum (Abb. 6).

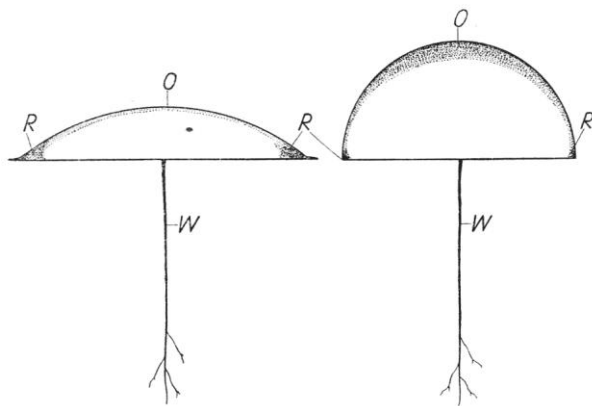


Abb. 6: Stark wachsende Zonen (punktiert) in einem Radialflachpolster (links) und einem Radialvollkugelpolster. Aus RAUH (1939).

Die Morphologie echter Polsterpflanzen ist genetisch determiniert und stellt somit keine sekundäre Anpassung an Umweltbedingungen dar, Polsterpflanzen behalten daher ihre Wuchsform nach Transplantation in niedrigere Lagen mit günstigeren klimatischen Bedingungen bei (RAUH, 1939). In hohen Lagen und Breitengraden können harsche Umweltbedingungen wie kurze Vegetationsperiode, flachgründige Böden, tiefe Durchschnittstemperaturen und hohe Windbelastung durch morphologische Anpassungen wie polsterförmigen oder niederliegenden Wuchs besser ertragen werden (Körner, 2003; NAGY & GRABHERR, 2009). In solchen Ökosystemen lebende Pflanzen tendieren zu einer Größenreduktion von Pflanze und Organen, was aber in Kontrast zur hohen metabolischen Leistung der Organe – vor allem der Blätter – steht (KÖRNER, 2003). Polsterpflanzen wie *Silene exscapa* können durch ihren kugelförmigen Wuchs Wärme sehr gut speichern (Abb. 7). Da eine Kugel von allen Wuchsformen das günstigste Oberflächen- Volumen- Verhältnis aufweist, verliert eine Polsterpflanze wesentlich weniger an Wärme an die Umgebung, als Pflanzen mit anderen Wuchsformen. Somit konnten Temperaturunterschiede von bis zu 24,5°C zwischen Lufttemperatur und Temperatur im Polster festgestellt werden (GAUSLAA, 1984 in KÖRNER, 2003).

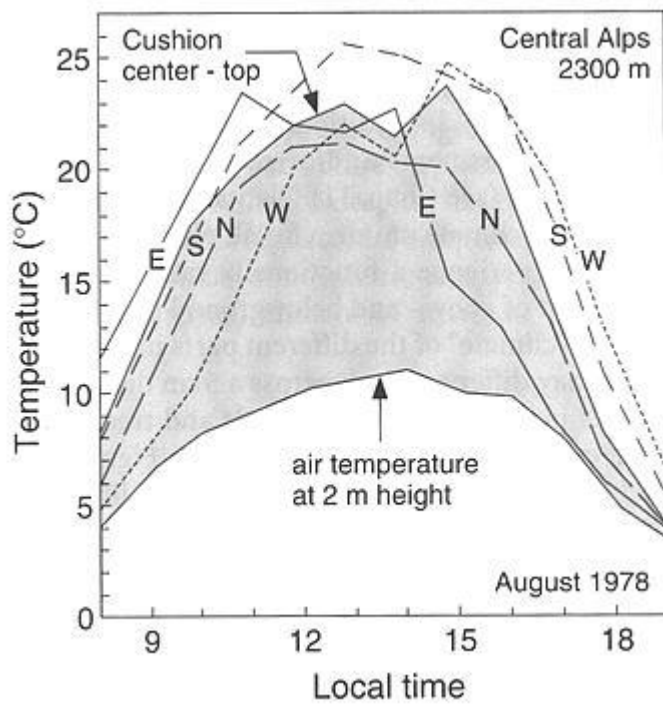


Abb. 7: Vergleich der Temperaturen eines *Silene exscapa* Polsters und der Lufttemperatur im Tagesverlauf, gemessen an einem sonnigen Tag in 2300m Höhe in den Alpen. Die Buchstaben markieren die Exposition der Messpunkte. Grau schattiert: Differenz zwischen Polster- und Lufttemperatur. Aus KÖRNER (2003).

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

Synonyme: *Silene exscapa* All.

Silene acaulis (L.) Jacq. subsp. *bryoides* (Jord.) Nyman

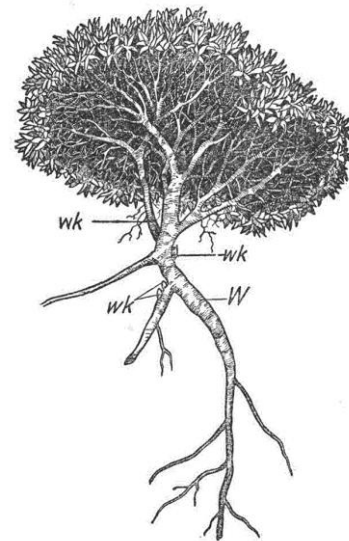
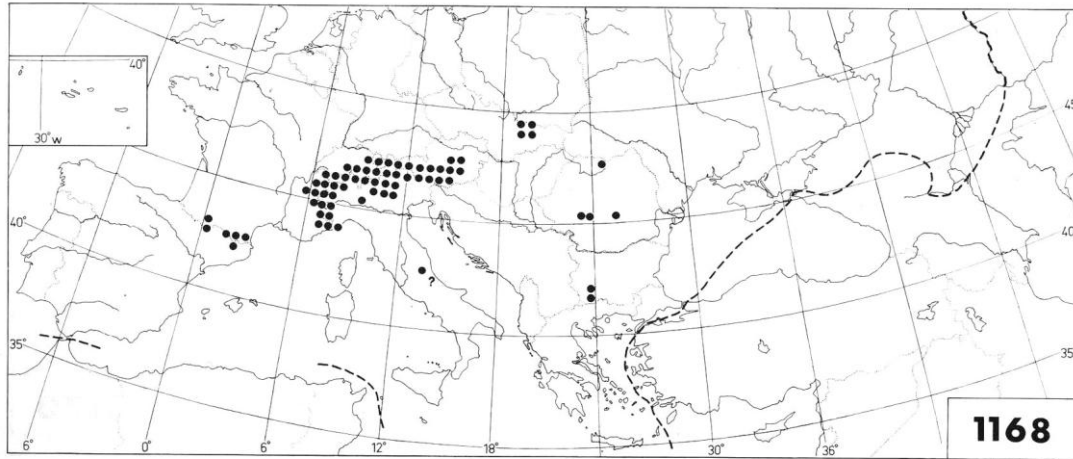


Abb. 8: *Silene acaulis* ssp. *exscapa*. Rechts: *Silene acaulis* mit starker Pfahlwurzel (W) und austreibenden Wurzelknospen (Wk). Aus RAUH (1939).

Das Kiesel-Stengellose Leimkraut (im Folgenden als *Silene exscapa* bezeichnet¹) hat seinen Verbreitungsschwerpunkt in der subalpinen bis nivalen Höhenstufe in europäischen Gebirgen wie den Alpen, Pyrenäen, am Balkan und in den Karpaten (AESCHIMANN et al., 2004; JALAS; 1986; Abb. 9). Nach GOTTFRIED et al. (2002) und PAULI et al. (1999) ist *S. exscapa* als Pflanzenart mit einem Verbreitungsschwerpunkt in der alpinen Höhenstufe einzuordnen. In Österreich findet man die kalkfliehende Pflanze häufig bis zerstreut in den Zentralalpen (FISCHER et al.; 2008). Sie kommt ausschließlich auf sauren Böden auf nährstoffarmen, mäßig frischen Standorten wie lückigen Steinrasen und Silikattelfsfluren vor (FISCHER et al., 2008; OBERDORFER, 1946). So vor allem im *Caricetum curvulae* Rüb. 1911, im *Androsacetum alpinae* Br.-Bl. 1918, im *Sieversio-Oxyrietum digynae* Friedel 1956 em. hoc. loco sowie im *Androsacetum wulfenianae* Franz 1988 (GRABHERR & MUCINA, 1993). Die Pionierpflanze bildet anfänglich dichte, kompakte und bis zu 3cm hohe Flachpolster, die sich später zu Vollkugelpolstern entwickeln können (RAUH, 1939). *S. exscapa* hat eine starke, vorholzte Pfahlwurzel (Abb. 8), deren Länge mit 25-50cm (LANDOLT et al.,

¹ *S. exscapa* wird von manchen Autoren als eigene Art geführt (AESCHIMANN et al., 2004), von anderen als Unterart von *S. acaulis* (FISCHER et al., 2008).

2010) bzw. bis über 100cm angegeben (WETTER, 1918) wird. Die Pflanze hat linealische, bewimperte Laubblätter von 4-8mm Länge. Die purpurrosa Krone hat einen Durchmesser von 4-7mm, die Früchte sind kugelig. Die von Faltern bestäubte Pflanze ist gynodiözisch (MAURICE et al., 1998; MORRIS & DOAK, 1998; NAGY & GRABHERR, 2009), wobei es einerseits rein weibliche und andererseits zwittrige Individuen gibt.



Silene acaulis subsp. *bryoides*

Abb. 9: Verbreitung von *Silene exscapa*. Aus: Atlas Florae Europaeae.

Die Schwestersippe *Silene acaulis* L. sensu stricto kommt in den Alpen auf Kalkböden vor allem im *Caricetum firmae* Gams 1936 und im *Elynetum myosuroides* Braun 1913 vor (GRABHERR & MUCINA, 1993) und ist arktisch-alpin sowohl in Nordamerika, wie auch in Eurasien verbreitet (MEUSEL, 1965; Abb. 10).

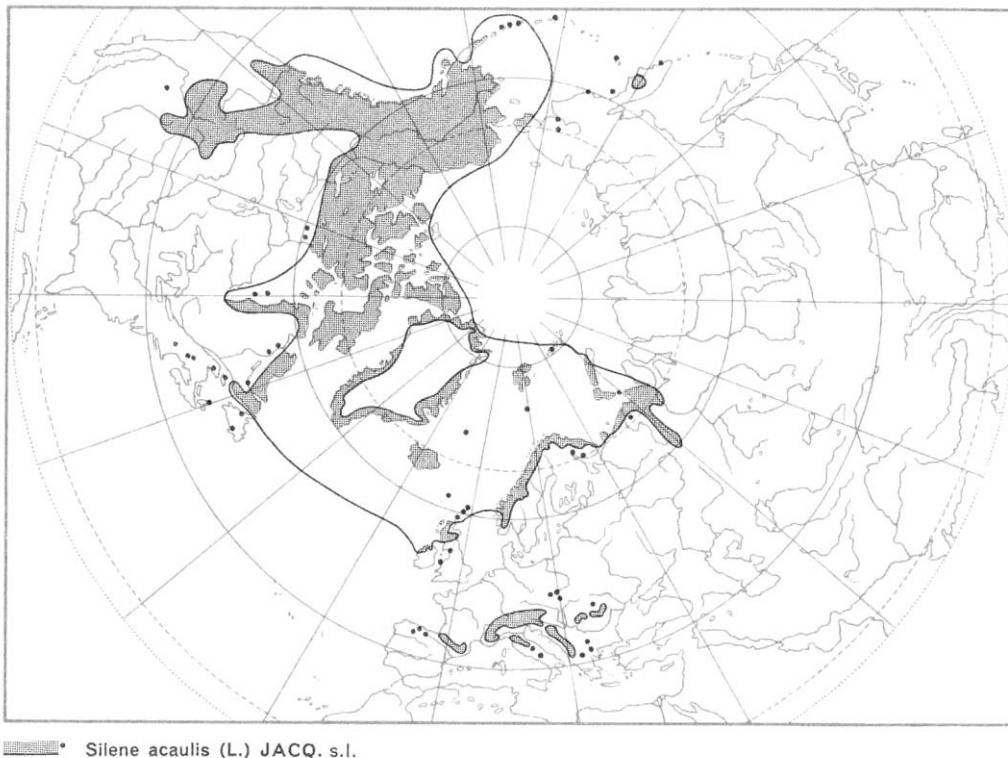


Abb. 10: Verbreitung von *Silene acaulis* s.l. Aus: MEUSEL, 1965.

3.3 *Saxifraga bryoides* L. (Saxifragaceae)

Synonym: *Saxifraga aspera* L. subsp. *bryoides* (L.) Engler & Irscher



Abb. 11: *Saxifraga bryoides*.

Der Moos-Steinbrech (Abb. 11) hat seinen Verbreitungsschwerpunkt von der oberen alpinen bis zur nivalen Höhenstufe mittel- bis südeuropäischer Gebirge (Alpen, Französisches Zentralmassiv, Pyrenäen, Balkan, Karpaten); gelegentlich findet sich die Art auch in der unteren alpinen und der subalpinen Stufe (AESCHIMANN et al., 2004, JALAS 1999; Abb. 12). Mit seinem Vorkommen bis über 4000m.ü.A. zählt *S. bryoides* zu den höchst steigenden Blütenpflanzen der Alpen (OZENDA, 1988; LADINIG et al., 2007). GOTTFRIED et al. (2002) und PAULI et al. (1999) geben die subnivale und nivale Höhenstufe als Hauptverbreitungsgebiet an. In den österreichischen Zentralalpen kommt die kalkmeidende Pflanze häufig vor (FISCHER et al., 2008). Ihr bevorzugtes Habitat sind windexponierte Felsen und Felsschuttfluren mit Pioniercharakter, wobei nährstoffarme, saure und feinteilchenreiche, offene Schuttböden (OBERDORFER, 1946) bevorzugt werden. Der Moos-Steinbrech ist vor allem in *Androsacion alpinae*-Gesellschaften (GRABHERR & MUCINA, 1993; PAULI et al., 1999) zu finden. Die Pflanze formt lockere bis dichtrasige Flachpolster mit Langtrieben (sog. Kriechpolster nach RAUH, 1939), welche der vegetativen Vermehrung dienen können. Die Langtriebe werden von kugeligen Rosetten aus den grannenartig zugespitzten, lanzettlichen Laubblättern gebildet. Die Blüten sind weiß bis weißlich gelb, sitzen meist einzeln auf einem Stängel und werden von Fliegen

bestäubt (OBERDORFER, 1946). Selbstbestäubung wird durch Proterandrie verhindert (BRAUN- BLANQUET in HEGI, 1922). Die Wurzeltiefe wird von LANDOLT et al. (2010) mit <25cm angegeben.

ENGLER (1872) bezeichnet die Gattung *Saxifraga* als Hochgebirgsgattung, mit 90 Arten die ausschließlich in Hochgebirgen von der subalpinen Stufe aufwärts vorkommen. Weiters gibt ENGLER einen latitudinalen Verbreitungsschwerpunkt vom 30. bis zum 70. Breitengrad auf der nördlichen Halbkugel an. Von den Gebirgssystemen hat die Alpenkette mit 42 Arten den größten Anteil, gefolgt vom Himalaya (mit Tibet) mit 35 Arten, Pyrenäen (30 A.), Karpaten (25 A.) und den Rocky Mountains (22 A.). *S. bryoides* wird bei ENGLER (1872) unter dem Namen *S. aspera* DC. var. *bryoides* L. geführt und der „Section Trachyphyllum“ zugeordnet. Diese hat mit 13 von 21 Arten ihren Verbreitungsschwerpunkt im Himalaya. Für „Nordtirol, Tauern und Obersteiermark“ werden lediglich 3 Arten aus dieser Sektion angeführt. Dies sind *S. aspera*, *S. aizoides* und *S. tenella*, wobei letzterer als „selten“ angegeben wird².

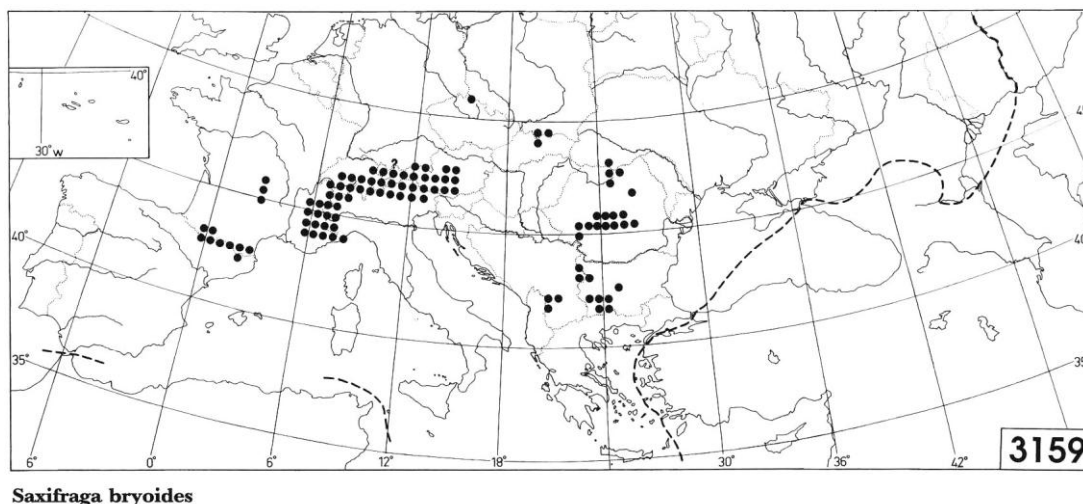


Abb. 12: Verbreitung von *Saxifraga bryoides*. Aus: Atlas Florae Europaeae.

3.4 POLSTERGÄSTE

Als Polstergäste werden Pflanzen bezeichnet, welche ihren Wuchsort auf Polsterpflanzen gewählt haben. Aufgrund der bereits erwähnten harschen Lebensbedingungen stellen Polsterpflanzen häufig einen günstigen Standort für keimende Pflanzen dar. Daher werden sie auch als Ammenpflanzen (engl. nurse plants) bezeichnet. Wie von RAUH (1939) beschrieben, akkumulieren Kugelpolster in ihrem Inneren tote organische Materie (eigene abgestorbene Blätter und Pflanzenteile), was einerseits den Effekt eines wärmedämmenden Füllmaterials hat und andererseits auch als Transpirationsschutz dient. Zusätzlich werden Nährstoffe und Feuchtigkeit akkumuliert. Diese Vorteile können Polstergäste, welche in diesem Sinne als Aufsitzerpflanzen anzusehen sind, und niemals als Parasiten direkt an der

² Die rezente Verbreitung von *S. tenella* in Österreich ist laut FISCHER et al. (2008) nur auf die Gurktaler Alpen beschränkt und als „gefährdet“ eingestuft.

Ammenpflanze schmarotzen, für sich nutzen. Sehr wohl kann aber darüber diskutiert werden, ob die beiden Pflanzen miteinander um Wasser- und Nährstoffressourcen in Konkurrenz stehen, oder ob sie sich gegenseitig fördern. Nach BRUNO et al. (2003) ist „facilitation“ eine positive Interaktion zwischen Pflanzen, die mindestens einem Partner nützlich ist und keinem Partner schadet. Diese positiven Interaktionen können in fast allen Lebensräumen beobachtet werden, vor allem in alpinen Ökosystemen spielen sie jedoch eine wichtige Rolle (ANTONSSON et al., 2009; ARREDONDO-NÚÑEZ et al., 2009; CALLAWAY et al., 2002). Solche Pflanzen tragen auch wesentlich zur lokalen Biodiversität in vielen Ökosystemen wie Hochgebirgen oder Wüsten bei (ANTONSSON et al., 2009).

4. METHODIK

4.1 AUSWAHL DER POLSTERPFLANZEN

Die Fotos der 1994 am Schrankogel angelegten Untersuchungsflächen wurden von GLORIA zur Verfügung gestellt. Von allen 1x1m-Plots gibt es je eine Fotoserie von 1994 und von 2004. Die Fotos liegen in hochauflösenden .jpg-Scans bzw. von 2004 teilweise auch als Original-JPEGs vor. Mittels einer ACCESS-Anwendung wurden die Fotos der beiden Jahre verglichen und geeignete Polster ausgewählt. Die Kriterien für die Auswahl waren, dass der Polster auf beiden Fotos vorhanden sein muss, und auf beiden Fotos eindeutig als ein Individuum zu erkennen sein muss. Somit wurden auf den Flächen der Transekte 1-12, 20 und 22 alle Polster von *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* ausgewählt, die die beiden Auswahlkriterien erfüllen, wobei nur in den Transekten 2-4, 6-11 und 22 (vgl. Tab. 7 und Kap. 2.4) geeignete Polster gefunden wurden. Die vorläufige Auswahl umfasste 533 Polsterpflanzen, davon 287 *Silene exscapa* und 246 *Saxifraga bryoides* Individuen. Um den Individuen einen eindeutigen Namen (SPECICODE) zu geben, wurde das System von Tab. 1 verwendet, wobei Transekt + Spalte + Zeile den Plot definiert, in dem sich der Polster befindet. Eine genauere Veranschaulichung der Benennung der Flächen befindet sich im Anhang in Abb. 45.

Tab. 1: Beispiel für die Namensgebung (SPECICODE = Speciescode) eines untersuchten Individuums. Spalte und Zeile bezeichnen die Position des Plots im Transekt. Die x/y – Koordinaten definieren die Position des Polsters im Plotfoto von 1994.

Transekt	Spalte	Zeile	Kürzel für Art	x/y-Koordinaten von 1994	SPECICODE
02	01	01	SAX	0450	020101SAX0450

4.2 VERMESSUNG DER POLSTERPFLANZEN AUF DEN FOTOS

Da auf jedem Foto die Plot-Grenzen mit Zentimeter-Skala zu sehen sind, liegt automatisch in jedem Bild ein Maßstab. Anschließend wurden die Pflanzen mit dem Computerprogramm AUTOCAD 2004 vermessen. Im AUTOCAD-Programm wurde für jeden Transekt eine Datei erstellt, wo die Transekte schematisch in Form eines Gitters dargestellt sind. In jeden Plot wurden dann die entsprechenden Fotos geladen (vgl. Abb. 45 im Anhang). Da das Programm über einen eigenen Maßstab verfügt, mussten die Fotos erst an diesen Maßstab angepasst (skaliert) werden. Da die Fotos aber auf Grund des Geländes nicht aus einer standardisierten Höhe über dem Plot aufgenommen werden konnten, und außerdem 1994 sowie 2004 mit verschiedenen Kameras fotografiert wurde, ergaben sich für jedes Foto für die jeweiligen Positionen innerhalb des Plots andere Maßstäbe. Jedes Foto musste deshalb extra skaliert werden. Dazu wurden mit dem AUTOCAD-Meßstool auf dem am Foto liegenden Maßstab 10cm eingemessen. Im Programm entsprach das aber beispielsweise nur 8cm, das heißt das Foto musste um den Faktor 1,25 vergrößert werden, um einen 1:1 Maßstab zu erhalten. Das wurde für alle Polster einmal für

1994 und einmal für 2004 durchgeführt. Anschließend konnte mit der Vermessung begonnen werden. Auf dem Foto von 1994 wurde für jeden Polster der maximale Durchmesser (maximum diameter) und der darauf rechtwinkelige Durchmesser (diameter perpendicular) ermittelt und eingezeichnet (Beispielfotos für die Vermessungen befinden sich im Anhang in Abb. 46 f.). Somit waren zwei Durchmesser definiert, die in den Jahren 2004 und 2009 wieder gemessen wurden. Nach der Freilandsaison 2009 wurden die Durchmesser der Fotos von 2009 analog zu 1994 und 2004 wieder im AUTOCAD gemessen.

4.3 DATENERHEBUNG IM FREILAND

4.3.1 Auffinden der Flächen

Der Zeitraum der Datenerhebung erstreckte sich von 30.7.2009 bis 27.8.2009.

Die vom Netzwerk GLORIA im Jahr 1994 eingerichteten 1x1m Untersuchungsflächen (Abb. 13), sind durch Metallstangen an den Eckpunkten markiert. Mithilfe von Lageskizzen und Fotografien konnten die Flächen problemlos aufgefunden und die Transektnetze genauest möglich wieder aufgelegt werden. Die Eckpunkte der Netze wurden mit Nägeln im Boden oder an Steinen außerhalb der Untersuchungsflächen befestigt. Durch einen Vergleich mit den Fotos von 1994 und 2004 konnten die zu vermessenden Polsterpflanzen aufgefunden und markiert werden. Dabei wurden fallweise Polster ausgeschieden, wenn sie entweder nicht mehr vorhanden waren oder die Individuen nicht mehr voneinander abzugrenzen waren. Dadurch ergab sich eine geringere Polsterzahl als ursprünglich. In Summe verblieben 467 Polsterpflanzen, 272 davon von *Silene exscapa* und 195 von *Saxifraga bryoides*.



Abb. 13: Beispiel für eine 1x1m Untersuchungsfläche im Transekt 2. Auf der Tafel sind die Bezeichnung des Plots und das Datum der Aufnahme zu lesen.

4.3.2 Vermessung der Pflanzen

Auf den Plotfotos von 1994 wurden die zu messenden Durchmesser auf den Polstern bereits zuvor eingezeichnet. So konnten die Durchmesser mit Büroklammern an den Rändern der Pflanzen markiert werden. Die grün-gelben Klammern markierten die maximalen Durchmesser, die weißen Klammern die darauf Rechtwinkeligen. Waren alle Polster eines Plots fertig abgesteckt, wurde ein Übersichtsfoto der Fläche und anschließend von jedem Polster ein Detailfoto mit Maßstab gemacht. Die Fotos wurden mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 500D) gemacht. Mit einer Schublehre wurden die Distanzen zwischen den Büroklammern gemessen (Abb. 14) und notiert. Die Messwerte wurden in Zentimeter mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1\text{cm}$ notiert.



Abb. 14: Vermessung eines *Saxifraga bryoides* Polsters mit der Schublehre. Foto: Harald Pauli

Aus methodischen Gründen, i.e. die Vergleichbarkeit mit den Foto-Messwerten von 1994 und 2004, erfolgte die Analysen jedoch mit den AUTOCAD-Messwerten. Aus diesen wurde für jeden Polster eine Ellipse als bestmögliche Annäherung für die Polsterfläche berechnet. Um einen Referenzwert für den Fehler der Computermessungen zu erhalten, wurde jedoch ein Vergleich zwischen der Freilandmessung und der AUTOCAD Messung von 2009 durchgeführt.

4.3.3 Aufgenommene Parameter

Neben Exposition und Höhe der Untersuchungsfläche wurde auch die beschädigte Polsterfläche notiert. Die Beschädigung wurde als abgestorbene Fläche des Polsters definiert und visuell in Prozent der Fläche geschätzt (vgl. Abb. 15). Für die Auswertung wurden die Beschädigungswerte in Klassen zu je 10% (0, >0-10, >10-20, etc.) zusammengefasst.

Weiters wurde eine Artenliste von Polstergästen erstellt. Dabei konnte nicht berücksichtigt werden, ob *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* auch als Polstergäste auf der jeweils selben Art vorkamen. Beispielfotos für Polstergäste sind

in Abb. 16 und Abb. 17 dargestellt. Im Nachhinein betrachtet wäre eine Deckungsschätzung dieser Gäste auch sehr sinnvoll gewesen.

Um festzustellen, ob die Polster an ein physikalisches Hindernis stoßen, das das Wachstum beeinträchtigen könnte, wurden 6 Kategorien bestimmt (Tab. 2). So führt beispielsweise ein Stein, der auf einer Polsterpflanze liegt, zu verminderter Photosynthesefläche. Stößt ein Polster an einer Seite gegen einen Fels, stellt dieser ein physisches Hindernis dar und führt dazu, dass der Polster nicht ungehindert wachsen kann.

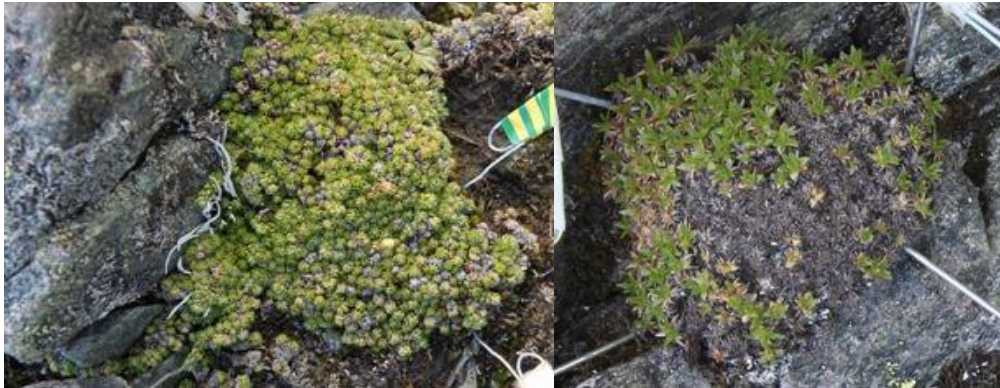


Abb. 15: Beispiele für beschädigte Polsterflächen: *Saxifraga bryoides* mit 10% Beschädigung (links) und *Silene exscapa* mit 45% Beschädigung (rechts).



Abb. 16: *Saxifraga bryoides* mit Polstergästen: *Silene exscapa*, *Poa laxa*, *Ranunculus glacialis*, *Tanacetum alpinum* und *Oreochloa disticha*.



Abb. 17: *Silene exscapa* mit *Oreochloa disticha* und *Primula glutinosa* als Polstergäste.

Tab. 2: Hindernisklassen beim Polsterwachstum.

Abkürzung	Erklärung
F	der Polster stößt an einen Fels
Pf	der Polster stößt an eine andere Pflanze
Sp	der Polster wächst in einer Spalte
Ü	der Polster wächst über einen Stein
U	der Polster wächst ungehindert
St	Ein Stein liegt auf dem Polster

4.4 DATENVERARBEITUNG - VERWENDETE SOFTWARE

Die Daten wurden in eine Microsoft-ACCESS-Datenbank eingegeben. Eine erste Veranschaulichung und Analyse der Daten erfolgte mittels MS-EXCEL. Zur statistischen Auswertung wurde das Programm „R“ (www.r-project.org) in den Versionen 2.7.1 und 2.11.1 (<http://cran.at.r-project.org>) verwendet. „R“ ist eine freeware, mit der Daten analysiert und grafisch ausgewertet werden können. Das Programm verwendet die Programmiersprache R-code, die dem S-code aus dem Programm S-Plus sehr ähnlich ist. MS EXCEL-Arbeitsmappen müssen als .csv- file abgespeichert werden, um sie mit „R“ bearbeiten zu können.

4.5 WACHSTUMSANALYSEN MIT DER POLSTERFLÄCHE

Das Wachstumsverhalten der Polsterpflanzen kann über verschiedene Zeitspannen betrachtet werden. Dadurch, dass für den gesamten Datensatz Messungen zu drei Zeitpunkten (1994, 2004, 2009) vorliegen, ergeben sich zwei Teilperioden (1994-2004 und 2004-2009) und eine Gesamtperiode (1994-2009). Im Folgenden werden diese Zeitspannen mit „Periode 1“ für 10 Jahre, „Periode 2“ für 5 Jahre und „Periode 3“ für 15 Jahre bezeichnet. Bei Letzterer wird der Messwert von 2004 nicht berücksichtigt. Das Wachstumsverhalten der beiden Arten *S. bryoides* und *S. exscapa* wurde jeweils verglichen.

4.5.1 Einteilung der Individuen in Größenklassen

Die Individuen von *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* wurden für Flächenanalysen in 8 bzw. 10 Größenklassen (GK) eingeteilt (Tab. 3). Diese Einteilung basiert auf der Größe zum Anfangszeitpunkt der Untersuchung, also der Fläche von 1994. Dabei wurde darauf geachtet, eine möglichst homogene Individuenverteilung über die einzelnen Klassen zu erreichen, weshalb sich die Größenbereiche der Flächen in den Klassen zwischen den beiden Arten unterscheiden. Während bei *S. bryoides* die Individuen beispielsweise in GK 4 eine Größe von 16 bis 30 cm² haben, haben jene von *S. exscapa* in GK 4 eine Fläche von 12 bis 20 cm². Diese Ungleichheit liegt darin begründet, dass sich die beiden Arten in

ihrer Polsteranzahl und der Verteilung bezüglich der Polstergröße voneinander unterschieden.

Tab. 3: Einteilung der *S. bryoides* und *S. exscapa* Individuen in 8 bzw. 10 Größenklassen (GK) basierend auf der Polsterfläche vom Jahr 1994.

<i>Saxifraga bryoides</i>			<i>Silene exscapa</i>		
GK	Fläche [cm ²]	Individuenzahl	GK	Fläche [cm ²]	Individuenzahl
1	0 - 6	26	1	0 - 3	32
2	6 - 12	31	2	3 - 7	38
3	12 - 16	28	3	7 - 12	31
4	16 - 30	24	4	12 - 20	23
5	30 - 48	27	5	20 - 30	29
6	48 - 75	27	6	30 - 45	27
7	75 - 106	16	7	45 - 70	25
8	106 - 355	16	8	70 - 120	28
			9	120 - 200	18
			10	200 - 630	21

4.5.2 Zunahme und Abnahme der Polsterflächen

Als erster Schritt wurde ermittelt, bei wie vielen Polstern die Fläche zugenommen oder abgenommen hat. Diese Analyse wurde auch für die einzelnen Größenklassen vorgenommen. Um einen möglichen Gradienten im Wachstumsverhalten bezüglich der Exposition und Höhenlage der Untersuchungsflächen festzustellen, wurde dargestellt, wie die Polster, deren Fläche abgenommen hat, auf die Sektoren und Höhenklassen verteilt sind.

4.5.3 Wachstumsverlauf der Individuen

Um das Wachstumsverhalten jener Polsterpflanzen genauer verfolgen zu können, die in den Teilperioden 1 und 2 immer gewachsen sind, wurden mit dem Programm „R“ Grafiken für die einzelnen Größenklassen (GK) erstellt. Darin ist der Wachstumsverlauf aller Individuen einer GK über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt, zusätzlich wurde eine Trendlinie eingezeichnet.

4.6 BESCHÄDIGUNG DER POLSTERFLÄCHE

Die im Freiland geschätzte Beschädigung der Polsterfläche wurde gegen die Anzahl der Individuen pro Beschädigungsklasse aufgetragen. Um zu untersuchen, ob die Beschädigung der Polsterfläche von der Größe der Pflanze abhängt, wurden die Polster in drei Größenklassen und fünf Beschädigungsklassen eingeteilt (Tab. 4).

Tab. 4: Beschädigung und Pflanzengröße: **a)** Beschädigungsausmaß in 5 Beschädigungsklassen (B0 bis B4) und **b)** Fläche in 3 Größenklassen (GK1 bis GK3), angegeben in cm² Polsterfläche. Die Beschädigungsklasse ergibt sich je nach Prozentanteil der abgestorbenen Polsterfläche. Im rechten Teil der Tabelle ist die Anzahl der Individuen der untersuchten Arten je Klasse angegeben.

a) Beschädigungsklasse	Beschädigung (in %)	<i>Saxifraga bryoides</i>	<i>Silene exscapa</i>
B0	0	5	114
B1	>0 - 25	83	133
B2	>25 - 50	69	20
B3	>50 - 75	29	3
B4	>75 - 100	8	1
b) Größenklasse	Fläche (in cm ²)		
GK1	0 - 20	51	27
GK2	20 - 170	129	178
GK3	>170	14	66

4.7 WACHSTUMSANALYSEN MIT DEM POLSTERDURCHMESSER

Bisherige Studien zum Wachstum von Polsterpflanzen beziehen sich überwiegend auf die Zunahme des Polsterdurchmessers. Deshalb wurden auch in der vorliegenden Arbeit die Durchmesser der Probepflanzen analysiert.

4.7.1 Berechnung einer jährlichen Wachstumsrate

Um mit dem Programm „R“ eine jährliche Wachstumsrate für die Individuen zu berechnen, wurden diese erneut in Größenklassen (GK) – nun basierend auf dem mittleren Durchmesser jedes Polsters – eingeteilt (Tab. 5). Dafür wurde für jede Periode der Durchmesser zum „Anfangszeitpunkt“ verwendet. Für Periode 1 und Periode 3 sind dies die Durchmesser im Jahre 1994, für die Periode 2 jene von 2004. Dies ist notwendig, da die GK- Einteilung von 1994 im Jahr 2004 keine Gültigkeit mehr hat, da die Polster gewachsen und oft in eine höhere GK vorgerückt sind. Anschließend wurde für jede Größenklasse ein mittlerer jährlicher Durchmesserzuwachs errechnet. Dazu wurde der mittlere Zuwachs einer GK durch die Anzahl der Jahre der Periode dividiert (Für die Perioden 1, 2 und 3 sind die Quotienten 10, 5 und 15).

Für diese Analyse wurden nur jene Polster verwendet welche in allen Perioden einen Zuwachs zeigten.

Tab. 5: Einteilung der *Silene exscapa* und *Saxifraga bryoides* Polster, deren Durchmesser immer zugenommen hat, in 7 Größenklassen. Basierend auf dem durchschnittlichen Durchmesser vom Jahr 1994 (Anzahl 1994) und dem Jahr 2004 (Anzahl 2004).

GK	Durchmesser [mm]	<i>Silene exscapa</i>		<i>Saxifraga bryoides</i>	
		Anzahl 1994	Anzahl 2004	Anzahl 1994	Anzahl 2004
1	0 - 20	32	3	7	2
2	>20 - 40	59	25	22	10
3	>40 - 60	40	57	25	24
4	>60 - 80	29	32	15	20
5	>80 - 100	20	29	13	15
6	>100 - 120	9	24	4	10
7	>120 - 300	24	41	5	10

4.7.2 Erstellen einer Wachstumskurve

Aus den zuvor ermittelten Wachstumsraten wurde mit dem Programm „R“ eine Wachstumskurve erstellt. Dazu wurde der Polsterdurchmesser [mm] gegen die jährliche Wachstumsrate [mm/Jahr] aufgetragen. Dies wurde für jede betrachtete Zeitspanne durchgeführt, es entstanden also 3 Kurven für jede Pflanzenart. Die Erste stellt die für Periode 1 ermittelten Wachstumsarten dar, die Zweite jene für Periode 2 und die Dritte jene für die Gesamtperiode.

4.7.3 Versuch einer Altersbestimmung

Mithilfe der im AUTOCAD ermittelten Durchmesser wurde versucht eine Altersbestimmung für *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* durchzuführen. Die Berechnungen wurden auch hier mit dem Mittelwert der beiden Durchmesser (Diameter maximum und Diameter perpendicular) gemacht.

Für diesen Versuch einer Altersbestimmung wurde in meiner Arbeit eine neue Methode entwickelt, die theoretisch funktionieren sollte, in der Praxis jedoch gewisse Mängel aufweist.

Aufgrund der Langlebigkeit der Polsterpflanzen ist es im Rahmen dieser Studie nicht möglich eine Pflanze über ihre gesamte Lebensspanne, 100 Jahre oder länger, zu beobachten. Da im Datenpool der untersuchten Arten aber ein breites Größenspektrum von Polsterpflanzen vorliegt, kann man mit der folgenden Methodik simulieren, dass eine Pflanze über sehr lange Zeiträume beobachtet wird.

Dazu wurden aus allen untersuchten Polsterpflanzen die 12 kleinsten Individuen aus dem Jahr 1994 gewählt und anschließend wurde ermittelt, wie groß ihr Durchmesser 10 Jahre später (im Jahr 2004) im Durchschnitt war. Nun wurden jene 12 Polster aus dem Jahr 1994 gewählt, die durchschnittlich diesen ermittelten Durchmesser haben und wieder deren Durchschnittsgröße im Jahr 2004 ermittelt. Dieses Prinzip wurde nun immer weiter wiederholt, bis die größten Polster aus dem Jahr 1994 erreicht waren. Man erhält dadurch eine simulierte Wachstumskurve, die alle 10 Jahre einen Messwert beinhaltet. Damit sollten sich gute Richtwerte über das Alter der Polster nach 10, 20, 30, 40,... Jahren ermitteln lassen. Dieselbe Methode wurde auch mit

einer 15-jährigen Zeitspanne (1994-2009) und mit einer 5-jährigen (2004-2009) durchgeführt.

4.8 STATISTISCHE AUSWERTUNG

4.8.1 Vierfeldertest zum Wachstumsverhalten

Der Vierfeldertest ist ein Spezialfall des Chi-Quadrat-Tests, bei dem absolute Häufigkeiten eines Untersuchungsergebnisses in eine 2x2-Felder Matrix (Kontingenztafel) eingetragen werden (vgl. Tab. 9 im Ergebnis-Teil). Der Test überprüft, ob die Verteilung der absoluten Häufigkeiten in den Feldern zufällig ist. Die Nullhypothese lautet im Fall von Tab. 9, dass sich *S. bryoides* und *S. exscapa* in ihrem Wachstumsverhalten (genauer: ob ihre Polsterfläche zu- oder abnimmt) nicht unterscheiden. Ist der Chi-Quadrat-Wert größer als 3,8415 bzw. der p-Wert kleiner als 0,05, kann die Nullhypothese verworfen werden (BACKHAUS, 1994).

4.8.2 Mixed effects model für das Wachstumsverhalten

Linear mixed effects models (lme) sind lineare Modelle, die vor allem für Zeitreihenanalysen (wiederholte Messungen am selben Objekt) und die Analyse von gruppierten Daten angewendet werden (CRAWLEY, 2002; FOX, 2002; PINHEIRO & BATES, 2000). Ein einfaches lineares Modell (lm) zu rechnen wäre auf Grund der Datenlage in dieser Arbeit nicht zulässig, da für jedes Individuum drei Messungen vorliegen (1994, 2004, 2009) und die Daten daher nicht mehr unabhängig sind³.

Mit lme kann man den Einfluss mehrerer Faktoren auf eine abhängige Variable untersuchen. Dabei unterscheidet man zwischen fixed effects und random effects. Fixed effects sind untersuchte Faktoren, von denen ein Effekt auf die Variable erwartet wird. Random effects bringen eine zufällige Varianz in ein Ergebnis. Dies soll anhand der hier verwendeten Daten verdeutlicht werden.

Bei meiner Fragestellung soll es darum gehen, ob sich *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* in ihrem Wachstumsverhalten voneinander unterscheiden. Das Wachstum wird als Polsterfläche (Area) in Abhängigkeit vom Untersuchungsjahr (Year) definiert. Area wird daher als die „Abhängige Variable“ bezeichnet. Year und Pflanzenart (SPEC) sind Faktoren, von denen ein Einfluss auf die abhängige Variable erwartet wird (fixed effects). Nun gilt es aber zu beachten, dass es auch Faktoren gibt, die eine zufällige Variabilität in ein Ergebnis bringen können. Diese so genannten random effects sind Gruppierungen innerhalb der fixed effects. Dies kann beispielsweise bei Zeitreihenanalysen der Fall sein, bei denen Variablenwerte mehrmals am selben Objekt gemessen werden. In dieser Diplomarbeit handelt es

³ Ein lm wäre zulässig, wenn man in den drei Jahren jedes Mal eine andere Zufallsstichprobe genommen hätte. Nur lässt sich damit natürlich nicht das Wachstumsverhalten an ein und demselben Individuum studieren.

sich dabei um die Individuen (SPEC_{CODE}), da im Datensatz für jedes Individuum drei Messungen vorliegen.

Die präzise Fragestellung lautet also: Hängt die Fläche einer Polsterpflanze vom Zeitpunkt der Messung ab und unterscheiden sich die beiden Arten dabei voneinander? Das entsprechende linear mixed effects model lautet wie folgt:

```
lme (fixed = Area~Year+Year : SPEC, random = ~ Year | SPECCODE)
```

Das Programm „R“ schätzt nun Koeffizienten für die fixed und die random effects dieser multiplen linearen Regression. Es werden also Koeffizienten für eine Regressionsgerade für das Wachstum von *Saxifraga bryoides* und für *Silene exscapa* separat geschätzt (fixed effects). Zusätzlich wird ein p-Wert (p-value) angegeben und geschätzt, wie groß die Varianz der einzelnen Individuen ist (random effects). Die unerklärte Restvarianz (residual), sowie Werte für die Güte des Modells (AIC, BIC) werden ebenfalls berechnet.

4.8.3 Lineares Modell für Polstergäste

Um auf eine Abhängigkeit der Anzahl der Polstergäste von der Seehöhe zu testen, wurde eine lineare Regression durchgeführt. Dazu wurden für *Saxifraga bryoides* sowie für *Silene exscapa* eigene lineare Modelle (lm) gerechnet, bei denen die abhängige Variable die Anzahl der Polstergäste (count_{guest}), die unabhängige Variable die Seehöhe (altitude) ist. Das Modell lautet: `lm (countguest ~ altitude)`

4.9 ANALYSE DER POLSTERGÄSTE

Im Forschungsnetzwerk GLORIA wurde allen Monitoringpflanzen eine Höhenrangstufe („AltiRank“) zugeteilt (PAULI, mündl.). Dieses sechsstufige System klassifiziert Pflanzen nach ihrer Höhenverbreitung. Dabei entspricht 6 einer bevorzugten Verbreitung in tiefen Lagen (montane Stufe) und 1 einem Verbreitungsschwerpunkt in den höchsten Lagen (subnivale bis nivale Stufe) (vgl. Tab. 6). Die Polstergäste wurden nach ihrem AltiRank geordnet und grafisch dargestellt. Zusätzlich wurde analysiert, ob sich die durchschnittliche Artenanzahl auf den Polstern entlang eines Höhengradienten verändert.

Tab. 6: Definition der Höhenrangstufen (AltiRanks).

AltiRank	Verbreitungsschwerpunkt der Pflanzenart
1	nival
2	alpin bis subnival
3	alpin
4	Baumgrenze bis alpin
5	Baumgrenze
6	montan

5. ERGEBNISSE

5.1 ANZAHL DER POLSTER UND IHRE VERTEILUNG IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

Da nur jene Polsterpflanzen ausgewählt wurden, die auf den Fotos von 1994 und 2004 eindeutig als ein Individuum erkennbar waren, darf aus der Verteilung dieser Pflanzen nicht geschlossen werden, dass es sich um eine repräsentative Gesamtverteilung von *Silene exscapa* und *Saxifraga bryoides* Individuen am Schrankogel handelt.

Die untersuchten Pflanzen sind in 155 Plots in 10 Transekten auf der Südwest-, Süd- und Südostflanke des Schrankogels verteilt (Tab. 7). Die Transekte wurden zwei Höhenklassen zugeordnet. Die Grenze für „untere“ (Höhenklasse 1) und „obere“ (Höhenklasse 2) Transekte wurde nach der Übergangszone der alpinen zur nivalen Stufe gewählt. Dieses alpin-nivale Ökoton befindet sich am Schrankogel im Südwesten etwa bei 2950m, im Süden etwa bei 3050m und im Südosten etwa bei 3100m (PAULI, mündl., vgl. PAULI et al. 1999). Unterhalb dieser unscharfen alpin-nival-Grenze finden sich überwiegend alpine Rasengesellschaften des *Caricion curvulae*, oberhalb überwiegend *Androsacion alpinae*-Gesellschaften.

Tab. 7: Individuenverteilung in den Transekten des Untersuchungsgebietes. Seehöhe und Sektor beziehen sich auf die Transekte. Höhenklasse 1= untere Transekte, Höhenklasse 2= obere Transekte.

Transekt	Seehöhe (m.ü.A.)	Höhenklasse	Sektor	<i>Saxifraga bryoides</i> (Anzahl Individuen)	<i>Silene exscapa</i> (Anzahl Individuen)
T2	2936 - 2952	1	SW	59	65
T3	2970 - 2987	2	SW	30	45
T4	3022 - 3028	2	SW	18	25
T6	3073 - 3086	2	S	5	7
T7	3088 - 3105	2	S	41	44
T8	3108 - 3109	2	S	3	9
T9	3118	2	S	2	0
T10	3085 - 3103	1	SO	3	31
T11	3100 - 3115	2	SO	18	41
T22	~2625	1	S	16	5
gesamt				195	272

Drei Transekte (T1-T3) befinden sich an der Südwest- Flanke des Berges, im Süden befinden sich vier Transekte (T6-T9) auf einem Felsrücken, sowie ein Transekt (T22) in der Nähe des Schwarzenbergsees etwa 400m unterhalb der anderen Untersuchungsflächen und am Südostgrat befinden sich zwei Transekte (T10-T11; vgl. Tab. 7). Eine genaue Verteilung der Polster über die Sektoren ist in Abb. 18 dargestellt. Die meisten Individuen befinden sich in den Südwestflächen des Berges (107 *S. bryoides* und 135 *S. exscapa*), dann folgt der Süden mit 67 *S. bryoides* und 65 *S. exscapa* Polstern. Im Südosten befinden sich die wenigsten Polster (21 *S. bryoides* und 72 *S. exscapa*).

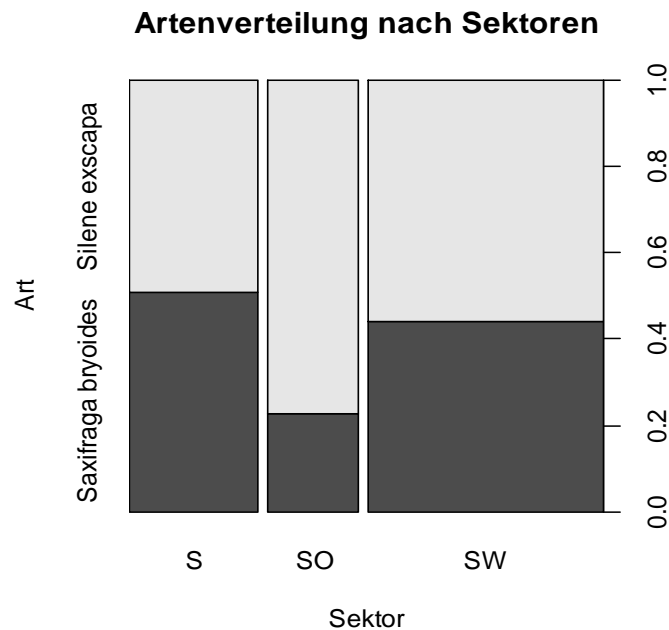


Abb. 18: Verteilung der beiden Arten *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* in den Sektoren. Die Breite der Säulen (x-Achse) entspricht dem Prozentanteil der untersuchten Polster im jeweiligen Sektor. Die Höhe einer Säule (y- Achse) entspricht allen Polstern in diesem Sektor, wobei der helle Teil den Anteil an *S. exscapa*, der dunkle Teil den Anteil an *S. bryoides* Individuen zeigt.

5.2 WACHSTUMSANALYSEN MIT DER POLSTERFLÄCHE

5.2.1 Zunahme und Abnahme der Polsterflächen

Die Polsterflächen von *Silene exscapa* (Abb. 20; absolute Zahlenangaben in Tab. 8) zeigten häufiger eine Zunahme als jene von *Saxifraga bryoides* (Abb. 19). Über die Gesamtperiode betrachtet nahmen 95,6% der *S. exscapa* Individuen an Fläche zu, während bei *S. bryoides* nur 74,4% einen Zuwachs zeigten. Bei Betrachtung der Teilperioden lässt sich feststellen, dass in Periode 2 mehr *S. bryoides* gewachsen sind. Bei *S. exscapa* verhält es sich umgekehrt, dort sind in Periode 1 mehr Polster gewachsen.

Tab. 8: Anzahl der Polsterpflanzen, die geschrumpft oder gewachsen sind, betrachtet über die Einzelperioden (Periode 1 und Periode 2) bzw. über die Gesamtperiode (Periode 3).

Pflanzenart	Wachstum	Periode 1	Periode 2	Periode 3
		(1994 - 2004)	(2004 - 2009)	(1994 - 2009)
<i>Silene exscapa</i>	geschrumpft	20	42	12
	gewachsen	252	230	260
<i>Saxifraga bryoides</i>	geschrumpft	69	51	50
	gewachsen	126	144	145

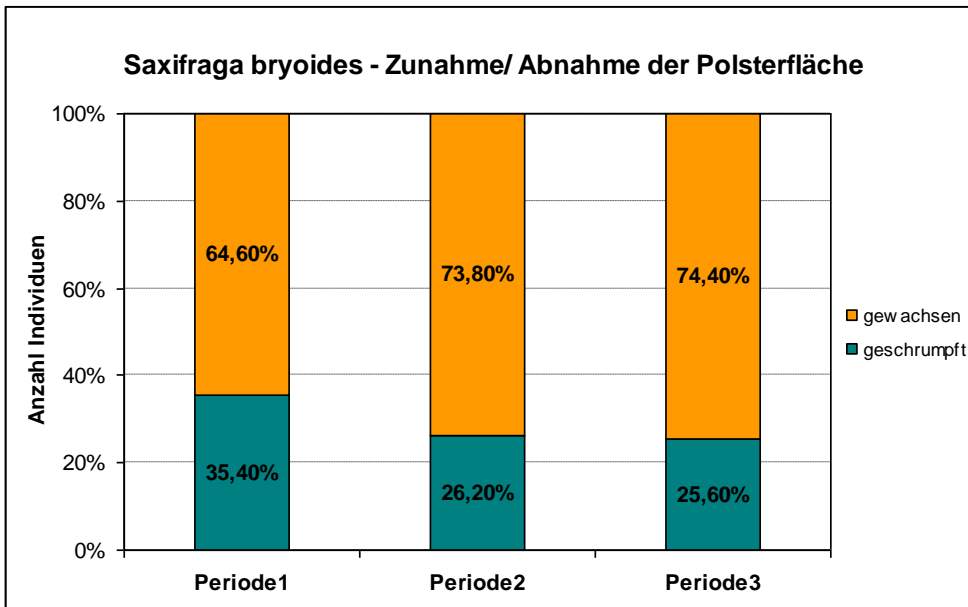


Abb. 19: Wachstumsverhalten der *Saxifraga bryoides*-Polster in den drei Perioden (Periode 1 = 1994 - 2004, Periode 2 = 2004 – 2009, Periode 3 = 1994 – 2009), n=195.

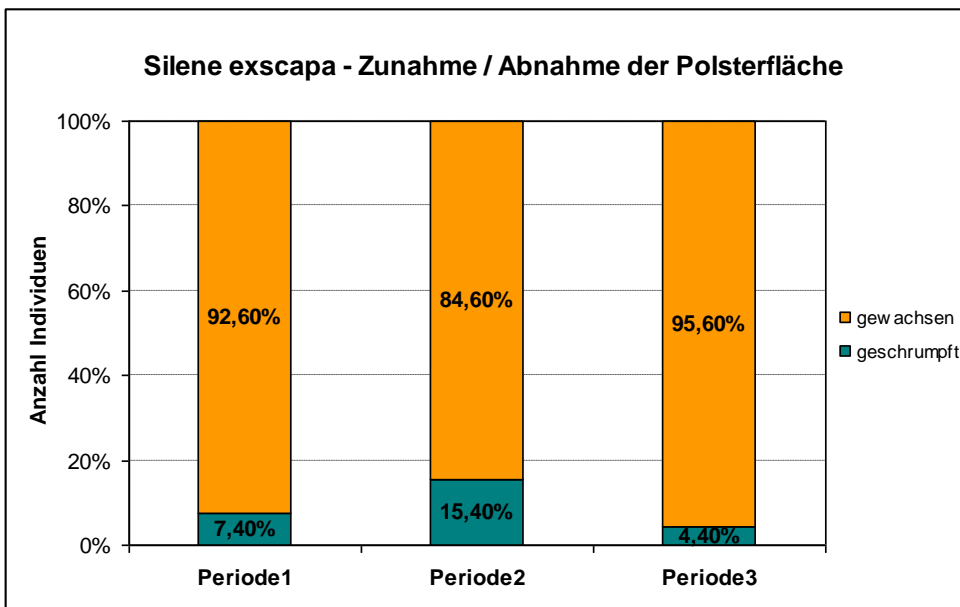


Abb. 20: Wachstumsverhalten der *Silene exscapa*-Polster in den drei Perioden (Periode 1 = 1994 - 2004, Periode 2 = 2004 – 2009, Periode 3 = 1994 – 2009), n=272.

Chi- Quadrat- Test (Vierfeldertest):

Um das Ergebnis von Abb. 19 und Abb. 20 statistisch abzusichern und zu prüfen, ob sich *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* in ihrem Verhalten bezüglich Flächen- Zu- und Abnahme voneinander unterscheiden, wurde ein Vierfelder-Test mit dem Programm „R“ durchgeführt. Dazu wurden die Daten für jede Wachstumsperiode in einer Matrix dargestellt (Tab. 9).

Tab. 9: Matrizen für den Vierfeldertest für die einzelnen Perioden und die Gesamtperiode. Getestet wird, ob sich die beiden Arten *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* in ihrem Wachstumsverhalten voneinander unterscheiden. zugen. = Fläche hat zugenommen, abgen. = Fläche hat abgenommen.

Art	Periode 1 (1994 - 2004)		Periode 2 (2004 - 2009)		Periode 3 (1994 - 2009)	
	zugen.	abgen.	zugen.	abgen.	zugen.	abgen.
<i>S. bryoides</i>	144	51	126	69	145	50
<i>S. exscapa</i>	230	42	252	20	260	12

Aus den Ergebnissen (Tab. 10) ist ersichtlich, dass der p- Wert für alle 3 Perioden signifikant ist, daher kann die Nullhypothese verworfen werden. Dies bedeutet, dass sich *S. bryoides* und *S. exscapa* in allen 3 Perioden in ihrem Wachstumsverhalten signifikant voneinander unterscheiden.

Tab. 10: Ergebnisse des Vierfeldertests für die Perioden 1-3. Angegeben sind der Chi-Quadrat-Wert (X-squared), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p-value).

	X-squared	df	p-value
Periode 1	56.0515	1	<0,0001
Periode 2	7.5147	1	0,0061
Periode 3	42.6326	1	<0,0001

5.2.2 Zunahme und Abnahme in den einzelnen Größenklassen

Ein Vergleich des Wachstumsverhaltens der Polster über die Größenklassen (Abb. 21 und Abb. 22) zeigt, dass je größer der Polster ist (je höher die Größenklasse), desto höher ist der Prozentanteil derjenigen Polster, deren Fläche abnimmt. Dies gilt gleichermaßen für *Saxifraga bryoides* und für *Silene exscapa*. Bei *S. bryoides* gibt es keine GK, in der keine Individuen geschrumpft sind, in den beiden letzten GK sind sogar 56,3% bzw. 50% der Individuen geschrumpft (das sind bei *S. exscapa* nur 11,1% bzw. 19,1%). Diese Angaben beziehen sich auf die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009).

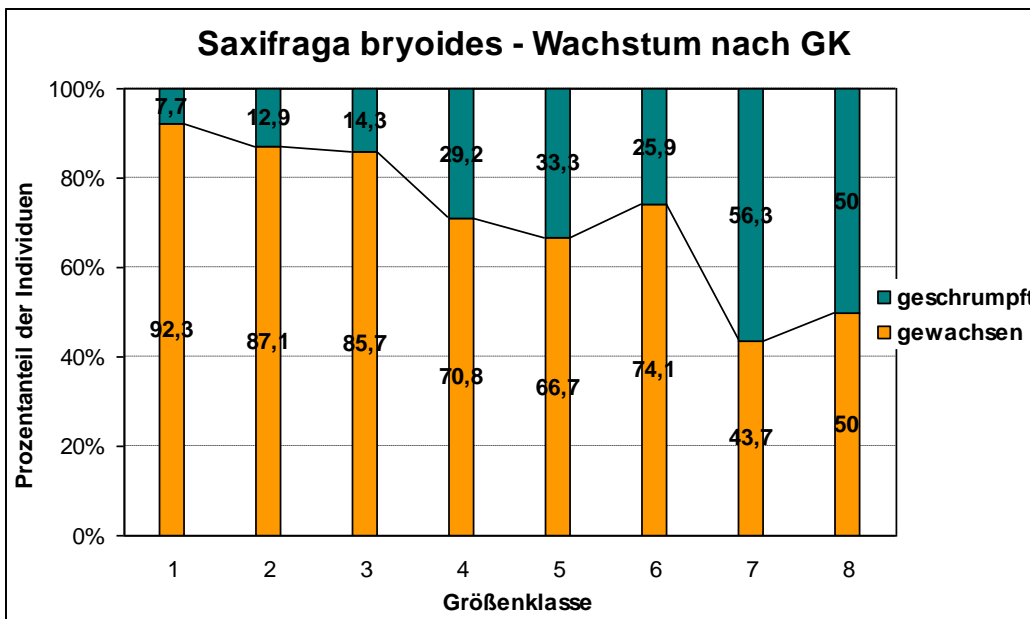


Abb. 21: Wachstumsverhalten der *Saxifraga bryoides*-Individuen, gruppiert nach Größenklassen (GK) über die Gesamtperiode (1994 - 2009).

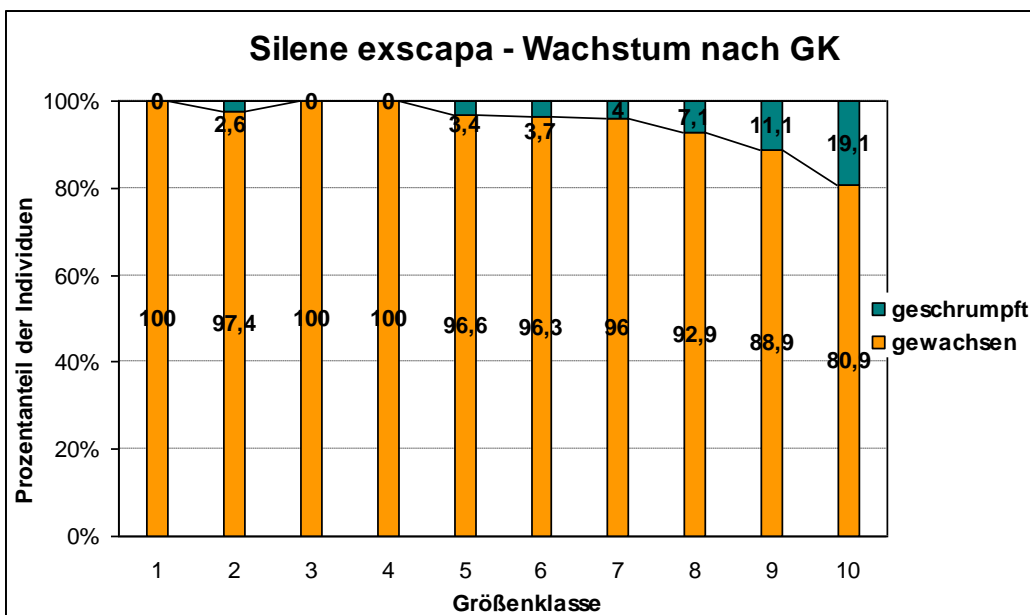


Abb. 22: Wachstumsverhalten der *Silene exscapa*-Individuen, gruppiert nach Größenklassen (GK) über die Gesamtperiode (1994 - 2009).

5.2.3 Wachstumsverlauf der Individuen

Um den Wachstumsverlauf von einzelnen Individuen darzustellen, wurden für alle Größenklassen (gruppiert auf Basis der Fläche von 1994) Grafiken erstellt (*Saxifraga bryoides* Abb. 23 und Abb. 24, *Silene exscapa* Abb. 25 und Abb. 26). Darin ist der Wachstumsverlauf all jener Individuen zu sehen, deren Fläche in allen Teilperioden zugenommen hat. Auffällig ist, dass in der kürzeren Periode von 2004 bis 2009 die Polster oft ein stärkeres Wachstum zeigten, als in der längeren Periode 1994 bis 2004.

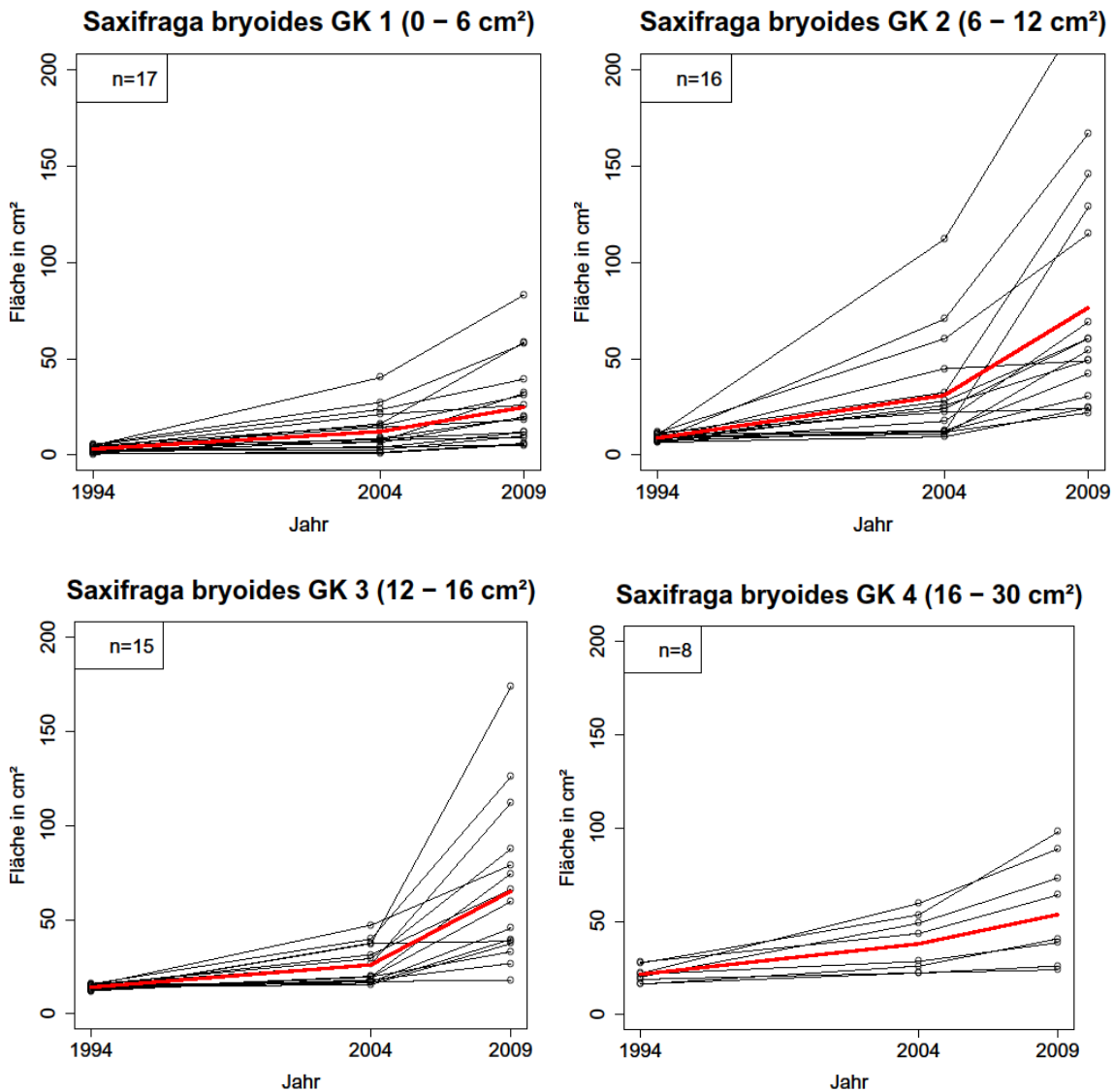


Abb. 23: Wachstumsverlauf der *Saxifraga bryoides*-Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 1 bis 4. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar.

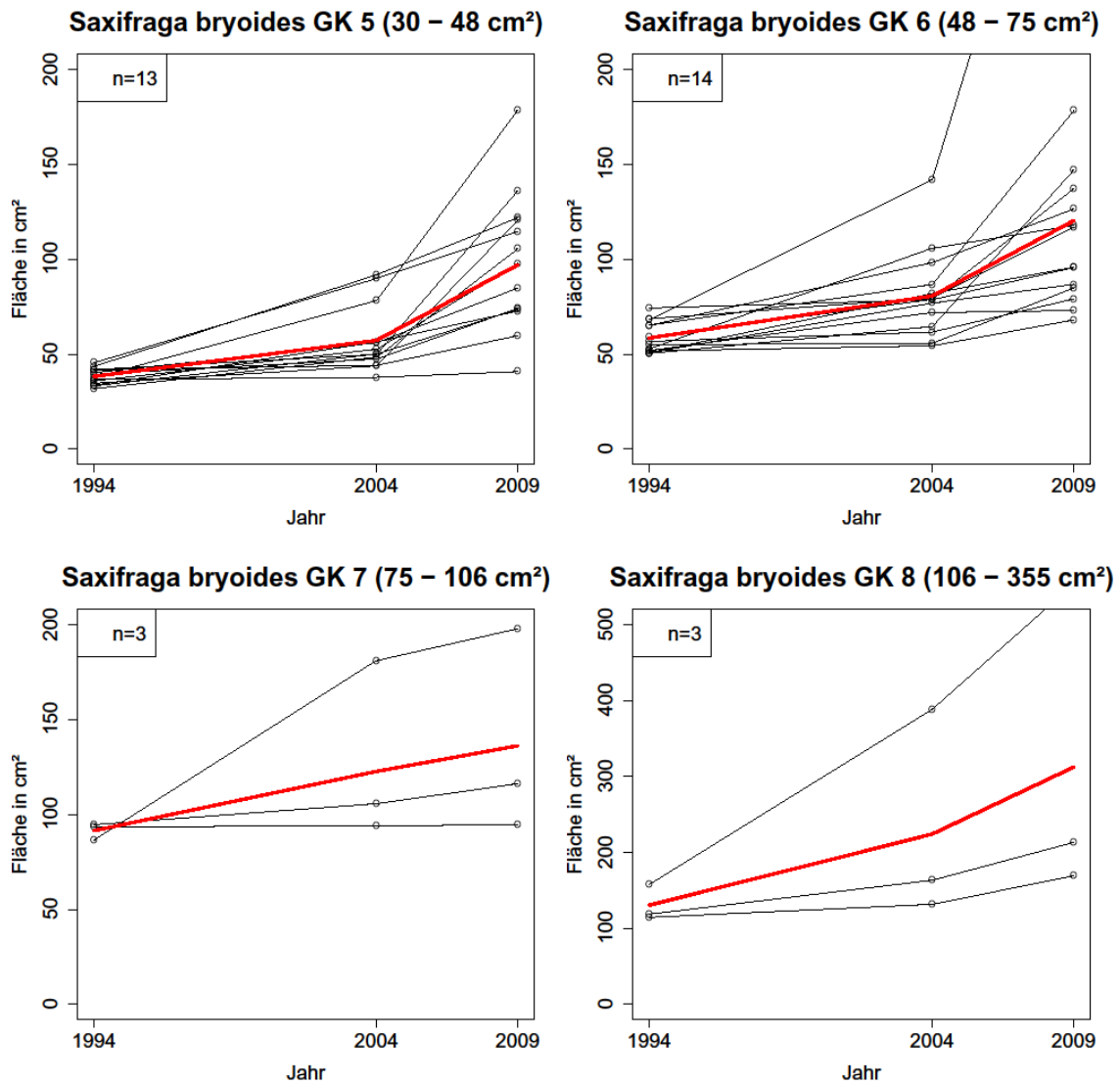


Abb. 24: Wachstumsverlauf jener *Saxifraga bryoides*-Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 5 bis 8. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar. Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen auf der y-Achse.

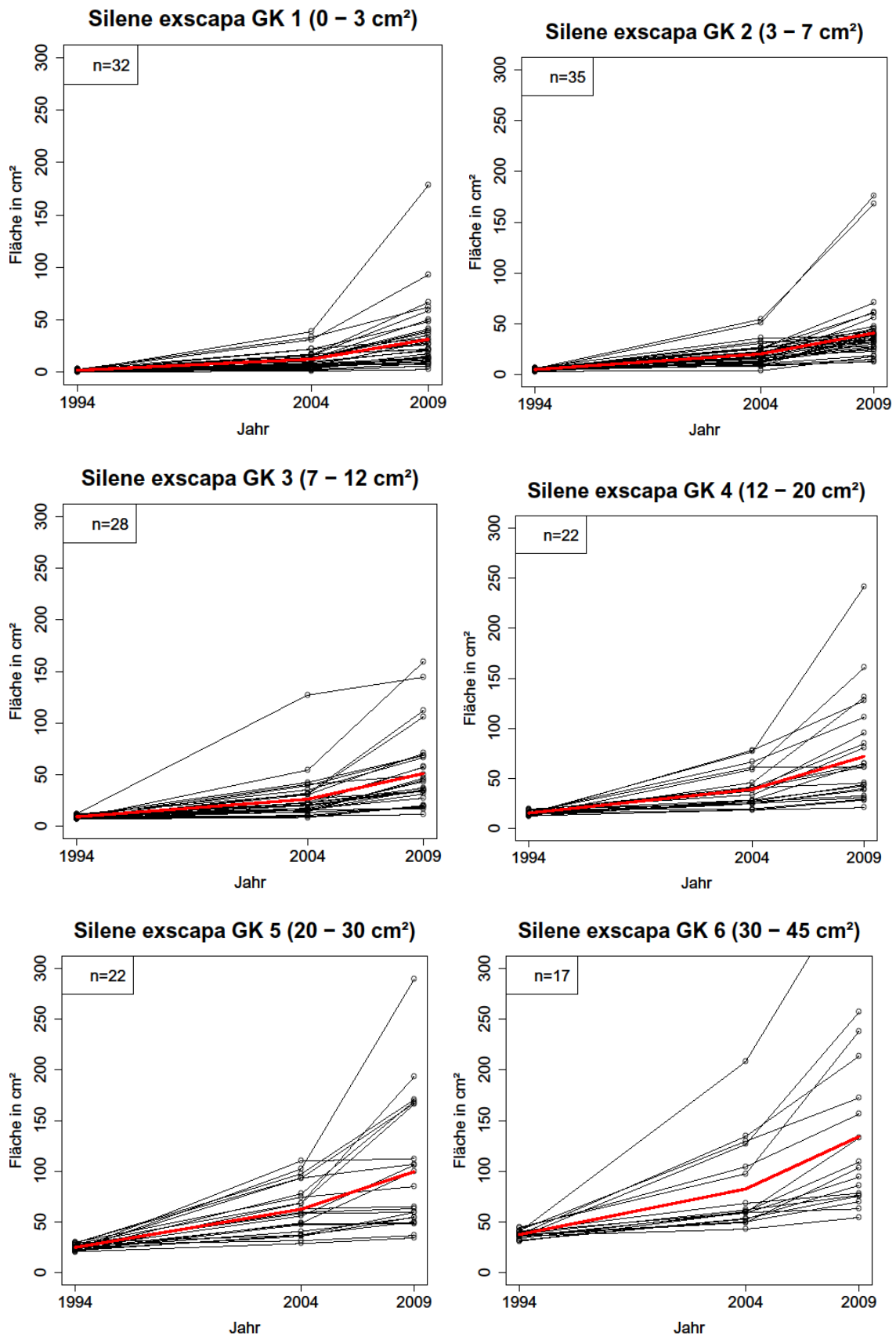


Abb. 25: Wachstumsverlauf jener *Silene exscapa*-Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 1 bis 6. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar.

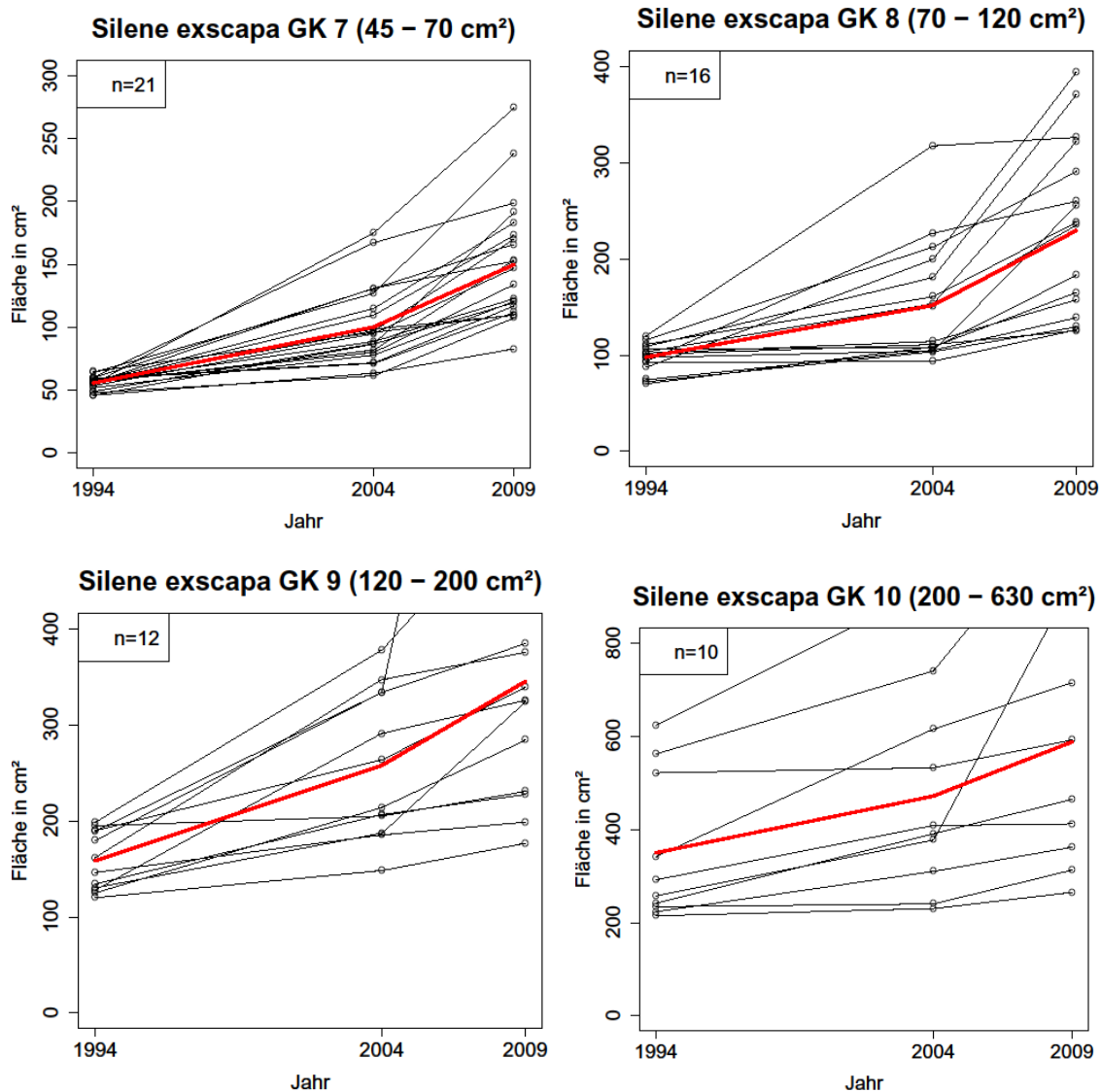


Abb. 26: Wachstumsverlauf jener *Silene exscapa*-Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 7 bis 10. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar. Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen auf der y-Achse.

5.2.4 Abnahme der Polsterfläche in den Sektoren

Abb. 27 und Abb. 28 zeigen, wie die Pflanzen mit rückgängiger Polsterfläche auf die Sektoren verteilt sind. Dazu wurden die Werte der Kategorie „geschrumpft“ von Tab. 8 verwendet, und dargestellt, wie viele dieser Polster sich im Süden, Südwesten und Südosten befinden. Dies wurde für jede Wachstumsperiode durchgeführt. Bei *Saxifraga bryoides* lässt sich ein klarer Trend feststellen. Die meisten Polster, deren Fläche abgenommen hat, befinden sich im Südwesten, gefolgt vom Süden. Im Südosten sind die wenigsten Polster geschrumpft.

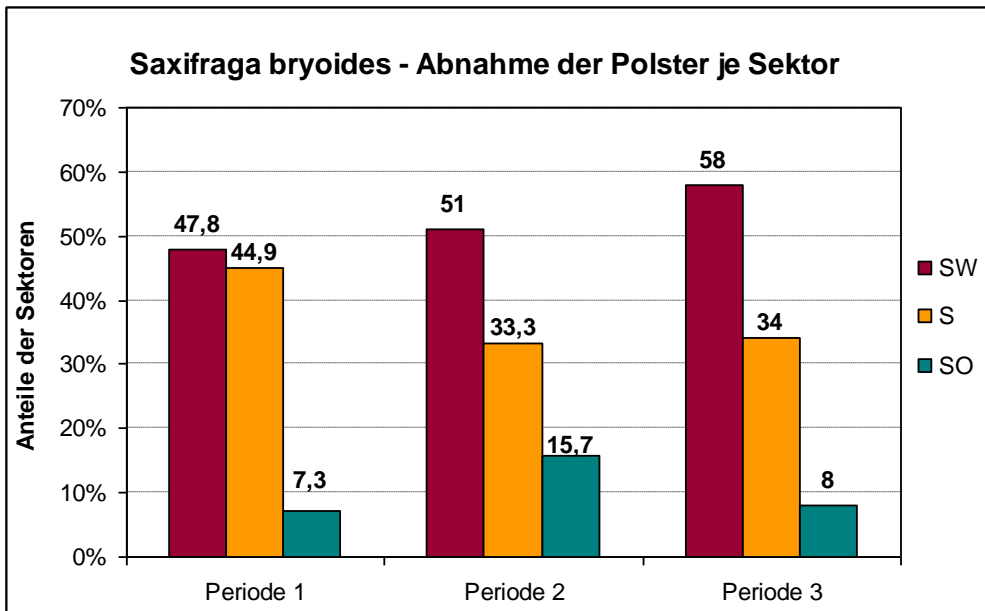


Abb. 27: Verteilung der *Saxifraga bryoides*-Individuen deren Fläche abgenommen hat je Sektor. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 – 2004, n=69; Periode 2: 2004 – 2009, n=51) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 – 2009, n=50). Die Summe der drei Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.

Bei *Silene exscapa* sind in der ersten Teilperiode und der Gesamtperiode jeweils im Süden die meisten Polster geschrumpft, gefolgt vom Südwesten und dem Südosten. In der zweiten Teilperiode verhält es sich jedoch genau umgekehrt. Im Südosten sind die meisten Polster geschrumpft, im Süden die wenigsten.

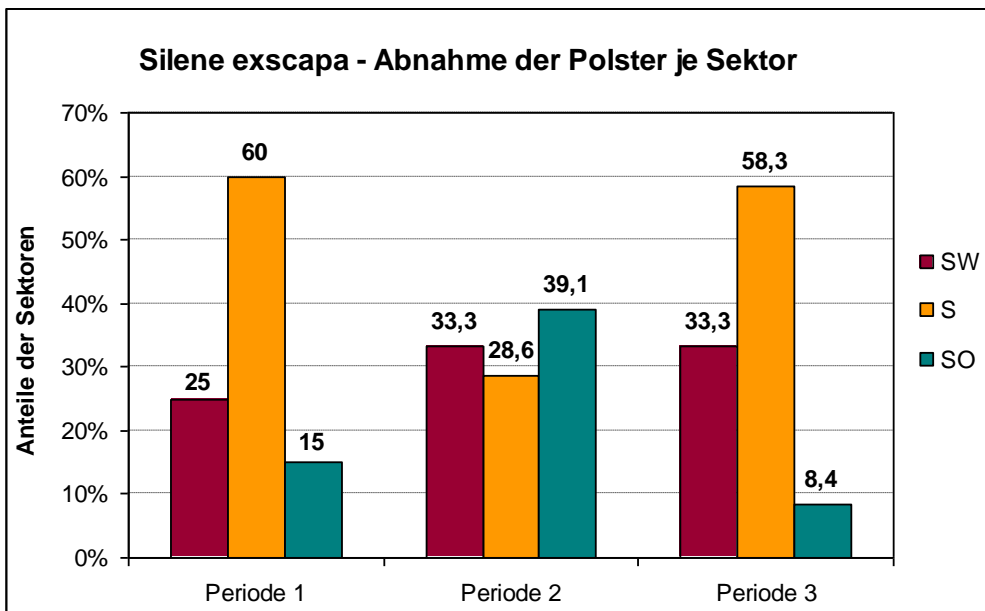


Abb. 28: Verteilung der *Silene exscapa* Individuen deren Fläche abgenommen hat je Sektor. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 – 2004, n=20; Periode 2: 2004 – 2009, n=42) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 – 2009, n=12). Die Summe der drei Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.

5.2.5 Abnahme der Polsterfläche in den Höhenklassen

Um festzustellen, ob sich die beiden Arten in ihrem Verhalten bezüglich der Flächenabnahme in den Höhenklassen der Untersuchungsflächen unterscheiden, wurde in Abb. 29 und Abb. 30 dargestellt, wie die Polster deren Fläche abgenommen hat auf die Höhenklassen verteilt sind. Dazu wurden die Werte „geschrumpft“ von Tab. 8 verwendet, und dargestellt, wie viele dieser Polster sich in den unteren (Höhenklasse 1: der untere Teil des alpin-nivalen Ökoton – also von der oberalpinen Rasenstufe bis etwa zur Ökoton-Mitte) und in den oberen (Höhenklasse 2: etwa von der Mitte des alpin-nivalen Ökoton bis zur Nivalstufe) Untersuchungsflächen befinden. Auch hier wurden die beiden Teilperioden und die Gesamtperiode getrennt betrachtet. Bei beiden Arten haben in allen Perioden in Höhenklasse 2 mehr Polster an Fläche abgenommen, als in Höhenklasse 1. Der Unterschied zwischen den Höhenklassen ist bei *Silene exscapa* aber deutlich stärker ausgeprägt, wobei Periode 2 wieder eine Ausnahme darstellt und dieser Trend verglichen mit den beiden anderen Perioden an Deutlichkeit verliert.

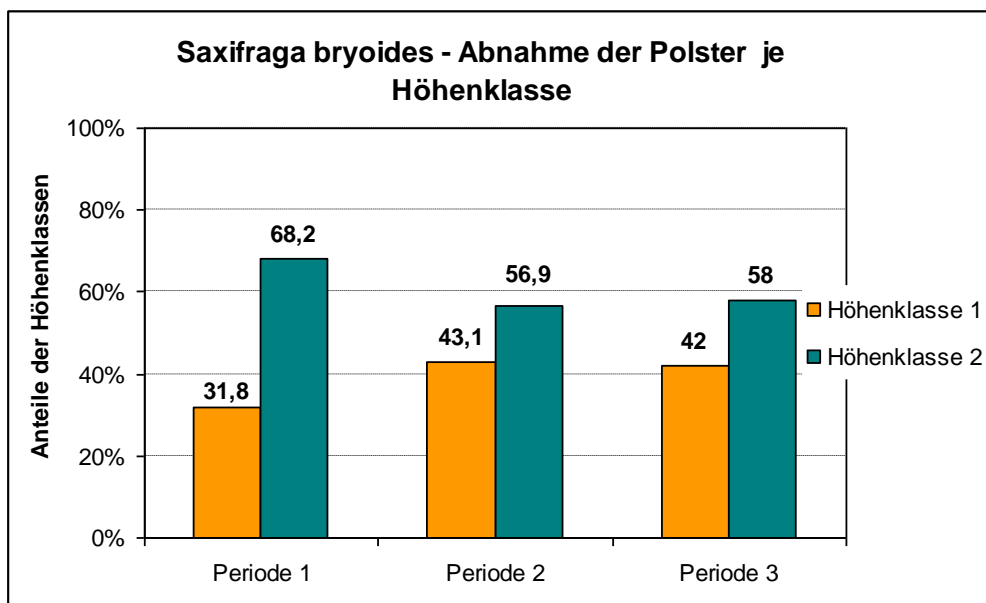


Abb. 29: Verteilung der *Saxifraga bryoides*-Individuen, deren Fläche abgenommen hat, je Höhenklasse (1= untere Transekte, 2= obere Transekte) der Untersuchungsflächen. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 – 2004, n=69; Periode 2: 2004 – 2009, n=51) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 – 2009, n=50). Die Summe der beiden Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.

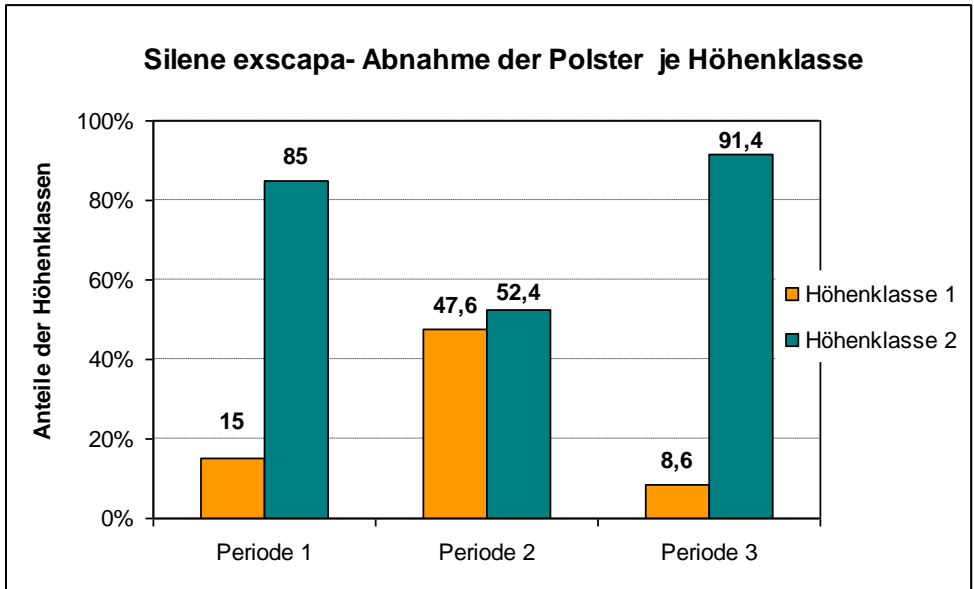


Abb. 30: Verteilung der *Silene exscapa*-Individuen, deren Fläche abgenommen hat, je Höhenklasse (1= untere Transekte, 2= obere Transekte) der Untersuchungsflächen. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 – 2004, n=20; Periode 2: 2004 – 2009, n=42) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 – 2009, n=12). Die Summe der beiden Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.

5.3 BESCHÄDIGUNG DER POLSTERFLÄCHE

Es lässt sich ein deutlicher Unterschied bezüglich der Polsterbeschädigung zwischen den beiden Arten feststellen. Trägt man in einem Diagramm die Prozent der abgestorbenen Fläche (Beschädigung) gegen die Individuenzahl mit der jeweiligen Beschädigung auf, so ergibt sich für *Saxifraga bryoides* eine tendenziell Poissonverteilte Kurve (Abb. 31). Bei *S. exscapa* (Abb. 32) waren 41 % der Polster unbeschädigt (das sind bei *S. bryoides* nur 2,5 %) und fast ebenso viele waren nur leicht beschädigt. Starke Schäden waren hingegen deutlich seltener.

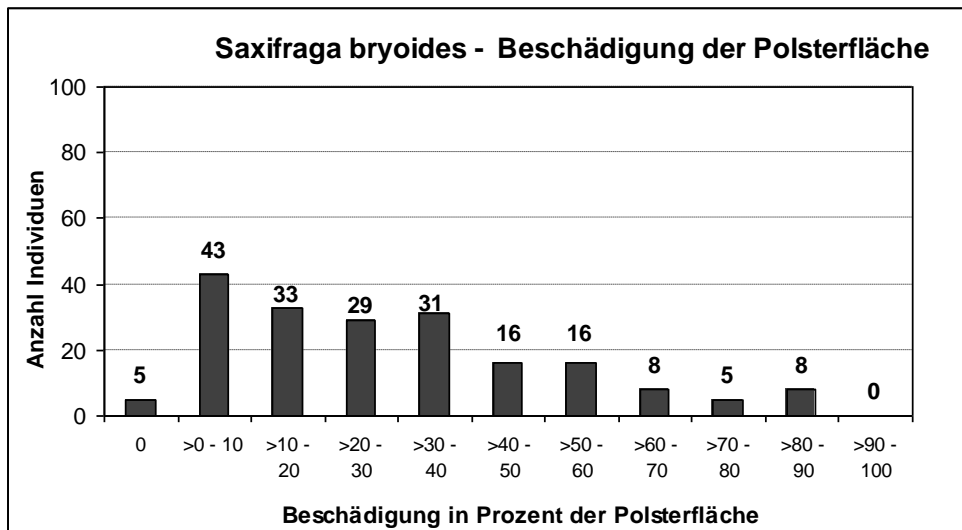


Abb. 31: Beschädigungsanteil der Polsterfläche in Prozent bei *Saxifraga bryoides* Individuen.

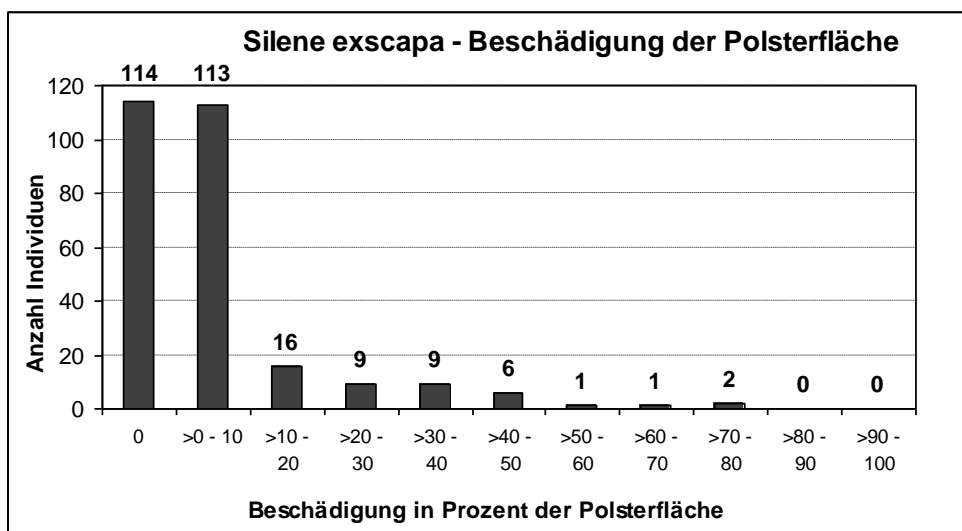


Abb. 32: Beschädigungsanteil der Polsterfläche in Prozent bei *Silene exscapa* Individuen.

5.3.1 Beschädigung in Abhängigkeit von der Polstergröße

Aus den Darstellungen in den Abb. 33 und Abb. 34 ist ersichtlich, dass sich *S. bryoides* und *S. exscapa* deutlich voneinander unterscheiden. Bei *S. bryoides* kommen unbeschädigte Polster praktisch nur in GK1 vor (der Anteil unbeschädigter Polster in GK2 ist sehr klein), alle anderen Beschädigungsklassen kommen bei allen Polstergrößen vor, wobei der Beschädigungsanteil mit der Polstergröße deutlich ansteigt. In GK3 gibt es kaum B1 und keine B0. Bei *S. exscapa* kommen hingegen Unbeschädigte mit großem Anteil in allen Größenklassen vor. B1 und B2 kommen auch in allen GK vor, aber starke Beschädigungen sind nur bei mittelgroßen und großen Polstern – zu jeweils sehr kleinen Anteilen – zu finden. Im Gegensatz dazu kommen hohe Beschädigungsanteile bei *S. bryoides* auch bei kleinen Polstern häufig vor.

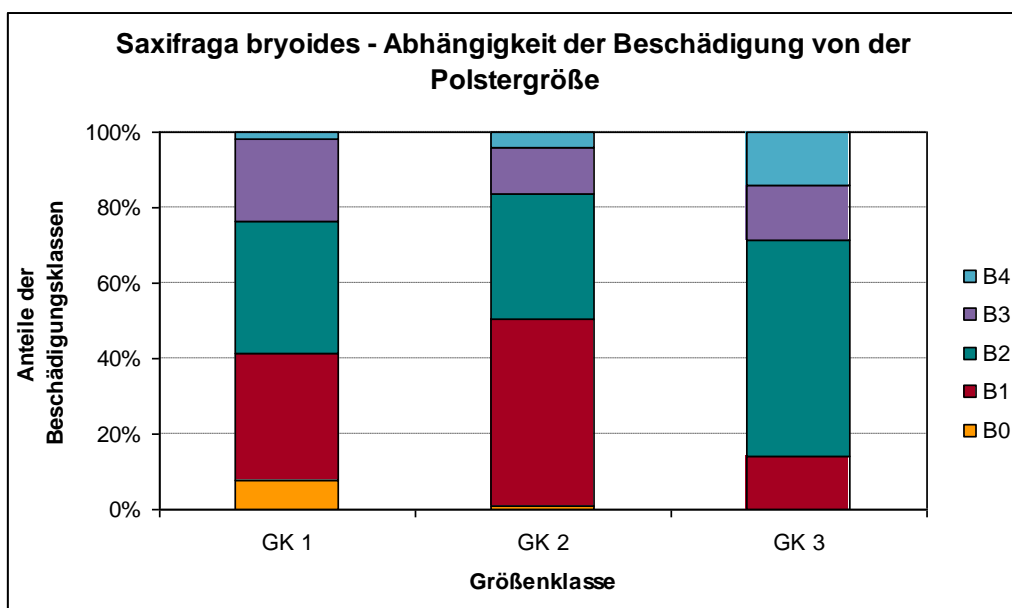


Abb. 33: Abhängigkeit der Beschädigung von der Polstergröße für *Saxifraga bryoides*. Größenklassen: GK 1 = 0-20cm², GK 2 = 20-170cm², GK 3 = >170cm²; Beschädigungsklassen: B0 = 0%, B1 = >0-25%, B2 = >25-50%, B3 = >50-75%, B4 = >75-100%.

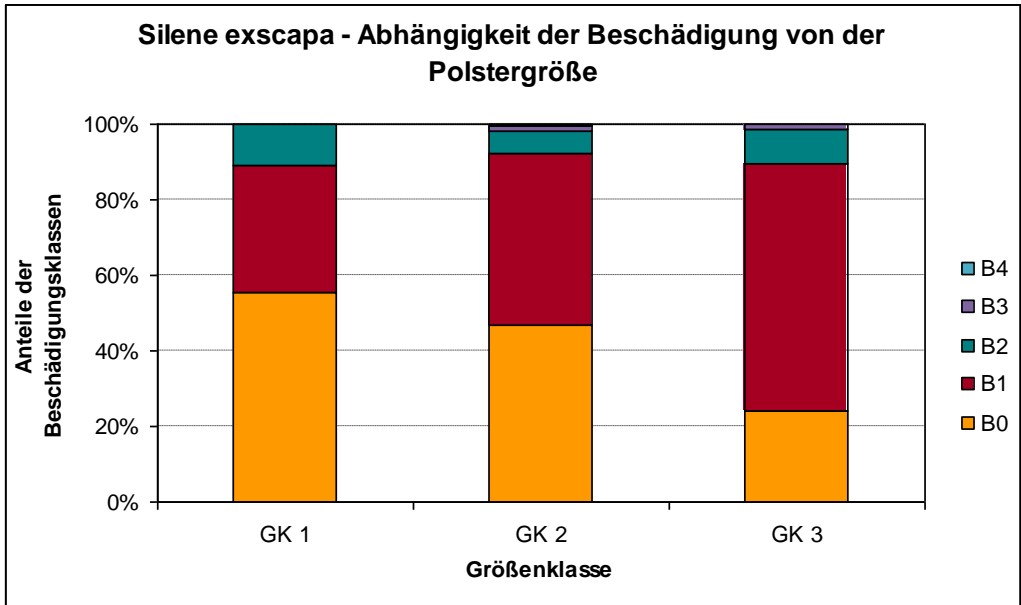


Abb. 34: Abhängigkeit der Beschädigung von der Polstergröße für *Silene exscapa*. Größenklassen: GK 1 = 0-20cm², GK 2 = 20-170cm², GK 3 = >170cm²; Beschädigungsklassen: B0 = 0%, B1 = >0-25%, B2 = >25-50%, B3 = >50-75%, B4 = >75-100%.

5.4 WACHSTUMSANALYSEN MIT DEM POLSTERDURCHMESSER

5.4.1 Berechnung einer durchschnittlichen Wachstumsrate

Hierfür wurden alle Individuen ausgewählt, welche in allen Zeitspannen gewachsen sind, bzw. deren Durchmesser in keiner Teilperiode abgenommen hat. Dies sind bei *S. bryoides* 91, bei *S. exscapa* 213 Pflanzen. Die jährliche Wachstumsrate steigt mit der Größe an (Tab. 11). Auffällig ist, dass für die zweite Teilperiode fast immer höhere Raten als für die erste Teilperiode ermittelt wurden. Die Wachstumsraten von *S. exscapa* sind in Periode 1 und 3 deutlich größer als jene von *S. bryoides*, in Periode 2 ist es umgekehrt, dort wuchs *S. bryoides* schneller als *S. exscapa*.

Tab. 11: Wachstumsraten in mm/Jahr von *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* Polstern in den Teilperioden (Periode 1: 1994 - 2004 und Periode 2: 2004 - 2009) und der Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009) für die Größenklassen (1 = 0-20mm, 2 = >20-40mm, 3 = >40-60mm, 4 = >60-80mm, 5 = >80-100mm, 6 = >100-120mm, 7 = >120-300mm).

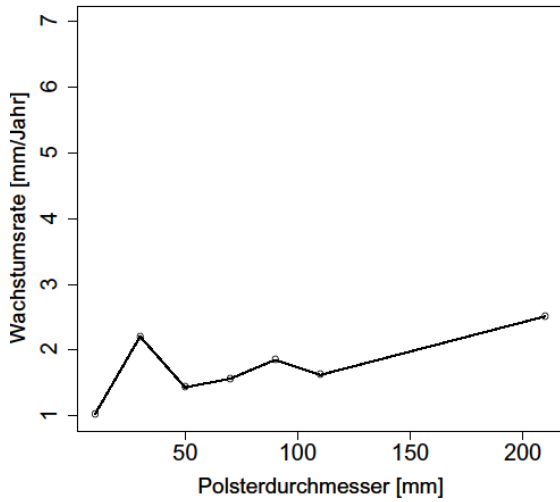
Größenklasse	<i>Saxifraga bryoides</i>			<i>Silene exscapa</i>		
	Wachstumsgeschwindigkeit [mm/Jahr]			Wachstumsgeschwindigkeit [mm/Jahr]		
	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 1	Periode 2	Periode 3
1	1,02	3,26	1,81	2,21	2,25	2,94
2	2,21	3,8	3,41	2,24	3,49	2,98
3	1,43	5,97	3,08	2,82	3,8	3,35
4	1,56	6,13	2,89	2,6	4,87	3,52
5	1,85	4,98	3,05	2,76	5,36	3,49
6	1,62	4,33	1,47	2,46	6,08	3,88
7	2,51	7,12	3,67	3,83	6,5	4,69
Durchschnitt	1,74	5,08	2,77	2,7	4,62	3,55

5.4.2 Erstellen einer Wachstumskurve für *S. bryoides* und *S. exscapa*

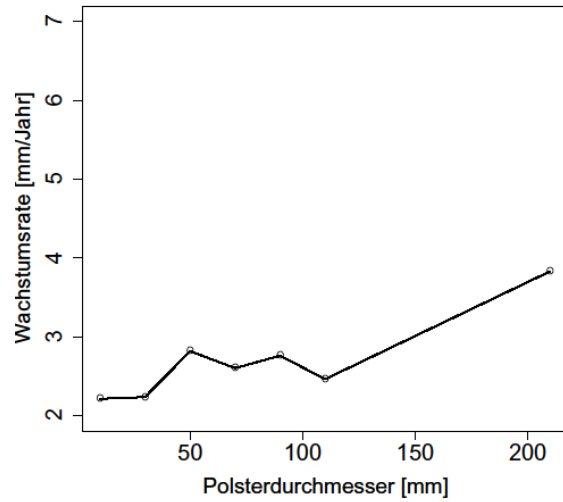
Um eine Wachstumskurve zu erhalten, wurde in Abb. 35 der Polsterdurchmesser gegen die zuvor ermittelten Wachstumsraten (vgl. Tab. 11) aufgetragen. Dazu wurde für jede Größenklasse ihre mittlere Wachstumsrate aufgetragen und die Punkte miteinander verbunden. Dies wurde für alle 3 Perioden durchgeführt.

Silene exscapa weist eine homogenere Wachstumskurve als *Saxifraga bryoides* auf. Ein Einbruch in der Kurve stellt keine Abnahme der Polstergröße dar, sondern nur eine Verlangsamung der Wachstumsgeschwindigkeit.

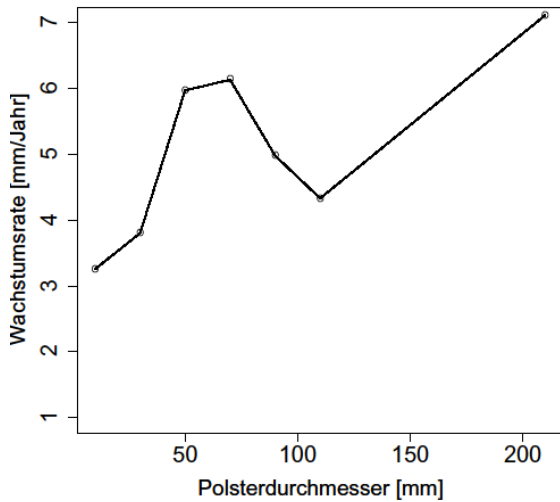
Saxifraga bryoides Periode 1 (1994 – 2004)



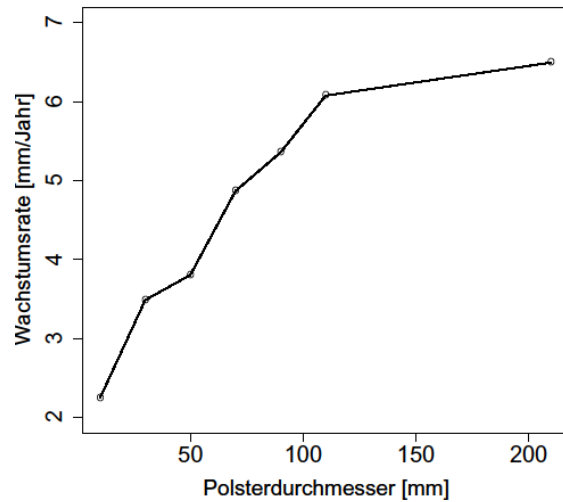
Silene exscapa Periode 1 (1994 – 2004)



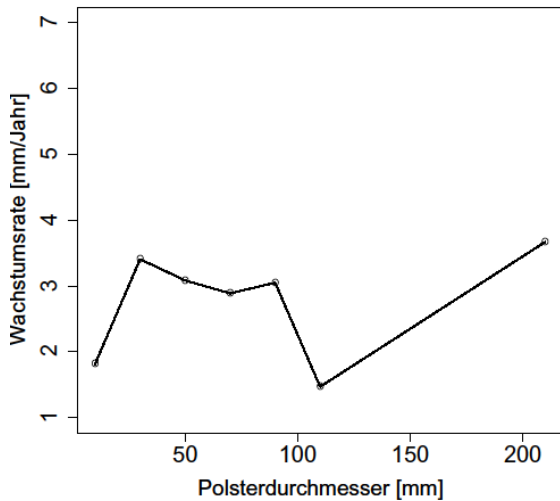
Saxifraga bryoides Periode 2 (2004 – 2009)



Silene exscapa Periode 2 (2004 – 2009)



Saxifraga bryoides Periode 3 (1994 – 2009)



Silene exscapa Periode 3 (1994 – 2009)

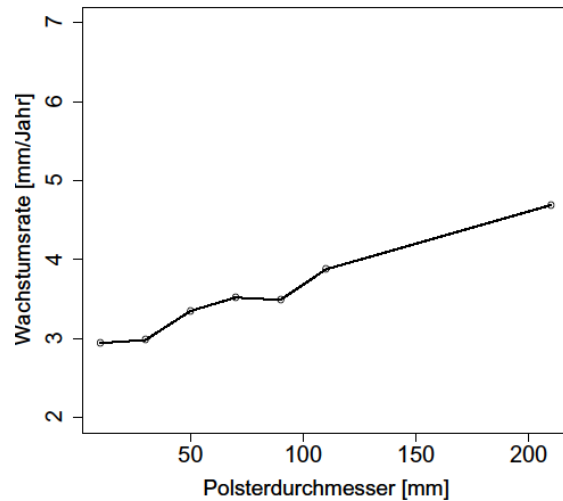


Abb. 35: Wachstumskurven für *Saxifraga bryoides* (links) und *Silene exscapa* (rechts) für die beiden Teilperioden (oben und Mitte) und die Gesamtperiode (unten); Auf der x-Achse sind die mittleren Polsterdurchmesser pro Größenklasse dargestellt.

5.4.3 Versuch einer Altersbestimmung

Um die Ergebnisse aus den drei Zeitspannen (5,10 und 15 Jahre) miteinander zu vergleichen, wurden die Messreihen je in einer Grafik für *Saxifraga bryoides* (Abb. 36) und *Silene exscapa* (Abb. 37) dargestellt. Bei *S. bryoides* unterscheiden sich alle drei generierten Kurven wesentlich voneinander. Für ein geschätztes Alter von beispielsweise 30 Jahren ergeben sich Durchmesser von 5cm, 7cm und 12cm aus 10, 15 und 5 Jahren Zeitspanne. Bei *S. exscapa* stimmen die Kurven aus 10 und 15 Jahren etwas besser überein, die Kurve aus der fünfjährigen Zeitspanne hat aber auch hier einen deutlich steileren Anstieg. Hier ergeben sich für ein geschätztes Alter von 30 Jahren Durchmesser von 7,5cm, 10cm und 16cm. Die Kurven aus 2004-2009 (grüne Dreiecke) weisen bei beiden Arten etwa die doppelte Steigung wie die Kurve aus 1994-2004 (schwarze Quadrate) auf.

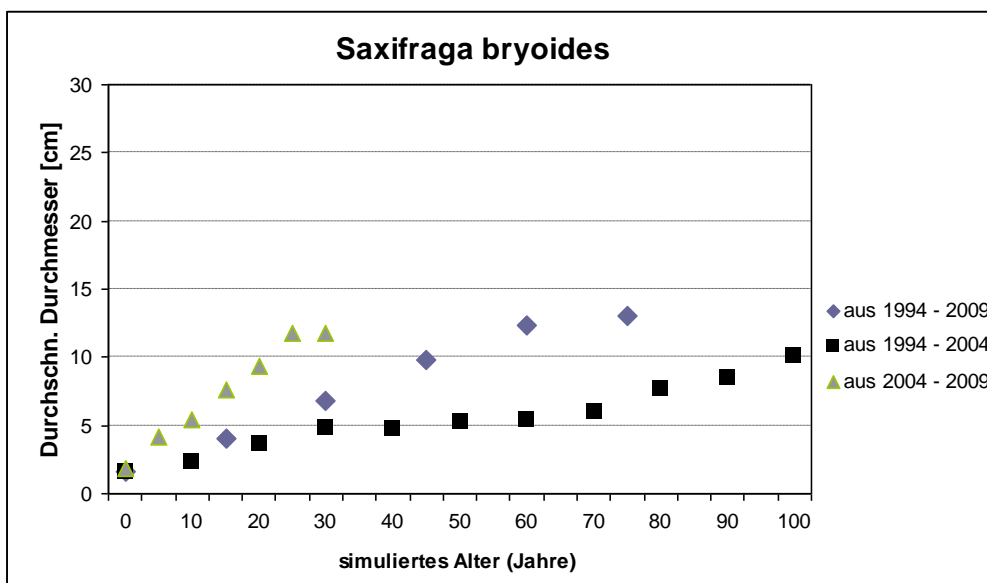


Abb. 36: Simulierte Alterskurve für *Saxifraga bryoides*. Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters im Jahre 1994 wurde das Wachstum in 10- (schwarze Quadrate) bzw. 15-jährigen (blaue Rauten) Intervallen verfolgt. Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters von 2004 konnte das Wachstum in einem 5-jährigen Intervall verfolgt werden (grüne Dreiecke).

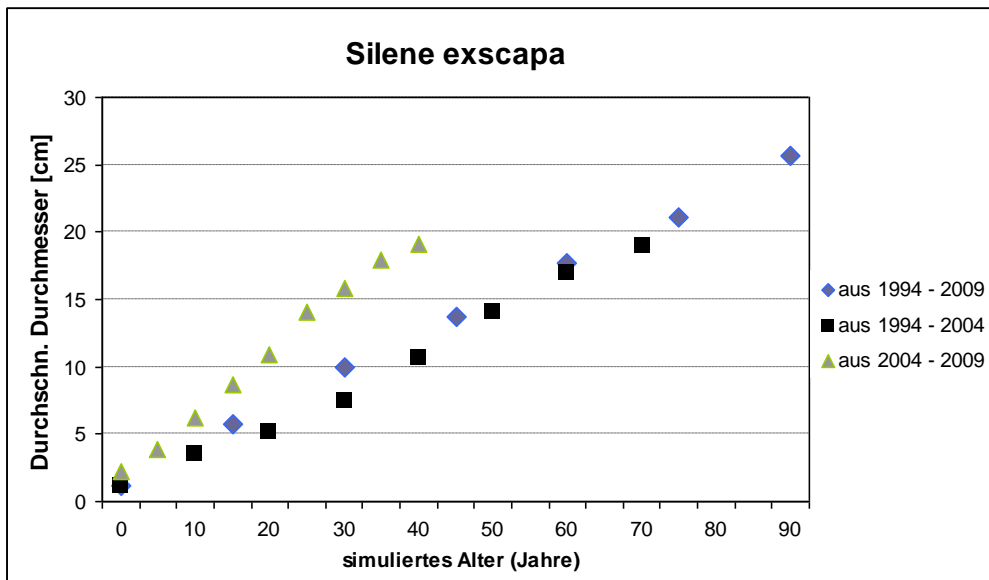


Abb. 37: Simulierte Alterskurve für *Silene exscapa*. Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters im Jahre 1994 wurde das Wachstum in 10- (schwarze Quadrate) bzw. 15-jährigen (blaue Rauten) Intervallen verfolgt. Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters von 2004 konnte das Wachstum in einem 5-jährigen Intervall verfolgt werden (grüne Dreiecke).

5.5 HINDERNISSE

Das häufigste Hindernis, das beobachtet wurde, ist, dass Polsterpflanzen an einen Fels oder Stein stoßen (Tab. 12). Dies kam bei *S. bryoides* bei 66,6% der Individuen vor, bei *S. exscapa* bei 56,6%. Danach folgt die Kategorie „Polster stößt an eine andere Pflanze“ mit 33,3% bzw. 47%. Ungehindert wachsen konnten nur 15,3% bzw. 15,1% der Polster. Am seltensten kamen die Hindernisklassen „Der Polster wächst über einen Stein“, „Ein Stein liegt auf dem Polster“ und „Der Polster wächst in einer Spalte“ vor. Die letzte Kategorie unterscheidet sich von „Der Polster stößt an einen Fels“ dadurch, dass die Pflanze von zwei Seiten durch Fels begrenzt ist.

Tab. 12: Vorkommen von Hindernissen bei *Silene exscapa* und *Saxifraga bryoides*. f= der Polster stößt an einen Fels, pf= der Polster stößt an eine andere Pflanze, u= der Polster wächst ungehindert, ue= der Polster wächst über einen Stein, st= ein Stein liegt auf dem Polster, sp= der Polster wächst in einer Felsspalte. Angabe in absoluten Zahlen (links) und in Prozent (rechts).

Art	f	in %	pf	in %	u	in %	ue	in %	st	in %	sp	in %
<i>Silene exscapa</i>	154	56,6	128	47	41	15	20	7,3	15	5,5	2	0,7
<i>Saxifraga bryoides</i>	130	66,6	65	33,3	30	15,3	6	3	5	2,5	0	0

5.6 POLSTERGÄSTE

Insgesamt wurden 35 Pflanzenarten gefunden, die als Gäste auf *Silene exscapa* und *Saxifraga bryoides* vorkommen (Abb. 40), wobei die beiden untersuchten Arten auch als Gäste auf der jeweils anderen Art vorkommen. Auf *S. exscapa* wurden geringfügig häufiger Gäste gefunden als auf *S. bryoides* (Abb. 38). Die durchschnittliche Anzahl der Pflanzenarten auf Polstern mit Gästen beträgt auf *S. bryoides* 2,76, auf *S. exscapa* 3,00.

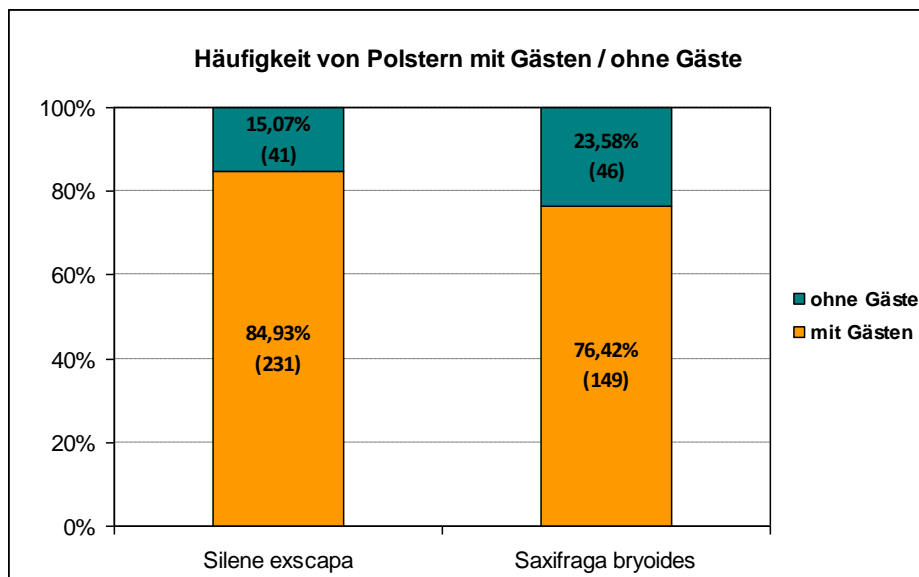


Abb. 38: Darstellung der Häufigkeiten von Polstern mit Gästen bzw. Polstern ohne Gäste in Prozent. Die absoluten Zahlen sind in Klammer angegeben.

Auf *Saxifraga bryoides* wurden 26 Arten gefunden, davon sind 3 Arten ausschließlich auf *S. bryoides* vorgekommen. Dies sind *Botrychium lunaria*, *Silene exscapa* und *Salix herbacea*. Auf *Silene exscapa* wurden 32 Arten gefunden, wovon 9 Arten ausschließlich auf dieser Polsterpflanze vorkommen. Dies sind *Carex curvula*, *Draba fladnizensis*, *Pedicularis aspleniifolia*, *Potentilla frigida*, *Saxifraga androsacea*, *Saxifraga bryoides*, *Saxifraga oppositifolia*, *Senecio carniolicus* und *Sibbaldia procumbens*.

5.6.1 AltiRank - Klassifizierung der Polstergäste

Alle Polstergäste, die auf *S. bryoides* und *S. exscapa* gefunden wurden, wurden nach ihrer Höhenrangstufe (AltiRank; vgl. Kap. 4.9) geordnet und in Abb. 39 dargestellt, wie häufig die Polstergäste auf den beiden untersuchten Pflanzen vorkommen.

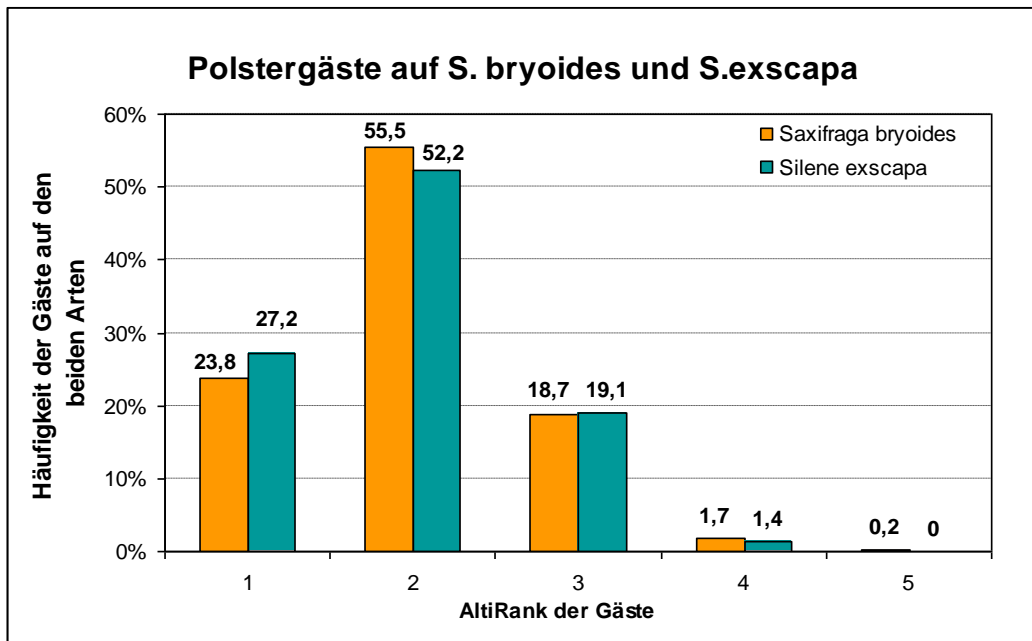


Abb. 39: Prozentueller Anteil der Polstergäste auf *Saxifraga bryoides* (gelb) und *Silene exscapa* (blaugrün). Die Gäste sind nach ihren Höhenrangstufen (AltiRanks) klassifiziert. Definition der Höhenrangstufen: 1= nival, 2= alpin/subnival, 3= alpin, 4= Baumgrenze/alpin, 5=Baumgrenze, 6= montan verbreitete Pflanzen.

Am häufigsten kamen Pflanzen mit dem AltiRank 2 als Gäste auf den untersuchten Polsterpflanzen vor, gefolgt von AltiRank 1, 3, 4 und 5. Dabei konnte bezüglich der Häufigkeitsverteilung der AltiRanks zwischen *S. bryoides* und *S. exscapa* kein nennenswerter Unterschied festgestellt werden. Pflanzen mit dem AltiRank 6 wurden nicht gefunden.

Polstergäste auf *Silene exscapa* und *Saxifraga bryoides*

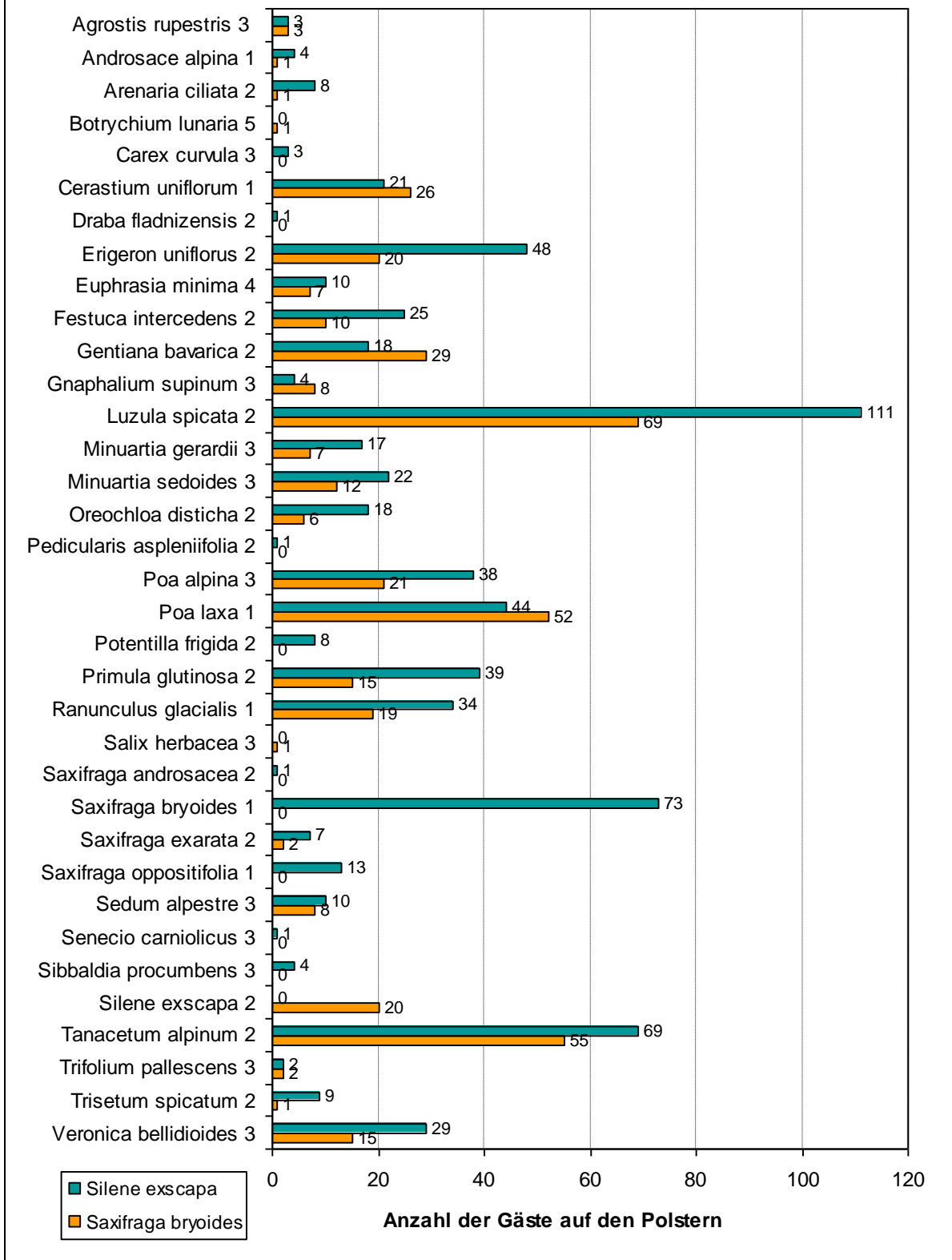


Abb. 40: Häufigkeiten der Polstergäste, die auf den untersuchten Ammenpflanzen *Silene exscapa* (blaugrün) und *Saxifraga bryoides* (gelb) gefunden wurden. Die Ziffer neben den Pflanzennamen ist der Altirank. Definition der Höhenrangstufen: 1= nival, 2= alpin/subnival, 3= alpin, 4= Baumgrenze/alpin, 5=Baumgrenze, 6= montan verbreitete Pflanzen.

5.6.2 Anzahl der Polstergäste in Abhängigkeit von der Seehöhe

Hierbei handelt es sich um die Anzahl von Pflanzenarten, welche auf einem Polster (Ammenpflanze) als Gast vorkommen. Um einen durchgehenden Höhengradienten zu erhalten, wurden hier die Flächen aus Transekt 22 nicht miteinbezogen, da sich dieser etwa 400 Höhenmeter unterhalb von allen anderen Transekten befindet. Aus einem linearen Modell, das für beide Arten getrennt gerechnet wurde ist ersichtlich, dass bei *Silene exscapa* die Anzahl der Polstergäste mit steigender Seehöhe signifikant abnimmt (p- Wert <0,001, df 225). Bei *Saxifraga bryoides* verhält es sich ebenso (p- Wert 0,001, df 138), siehe dazu Tab. 13 und Abb. 41. Um die Grafik besser zu veranschaulichen wurde im Programm „R“ die Funktion „jitter“ verwendet. Diese streut übereinanderliegende Punkte geringfügig ohne die Daten zu verändern.

Tab. 13: Ergebnisse des linearen Modells für die Abhängigkeit der Anzahl der Polstergast-Arten von der Seehöhe. p-value=p-Wert, df=Freiheitsgrade.

R-output	<i>Silene exscapa</i>	<i>Saxifraga bryoides</i>
intercept	25,095400	24,271734
Seehöhe	-0,007293	-0,007114
p-value	<0,001	0,001
df	225	138

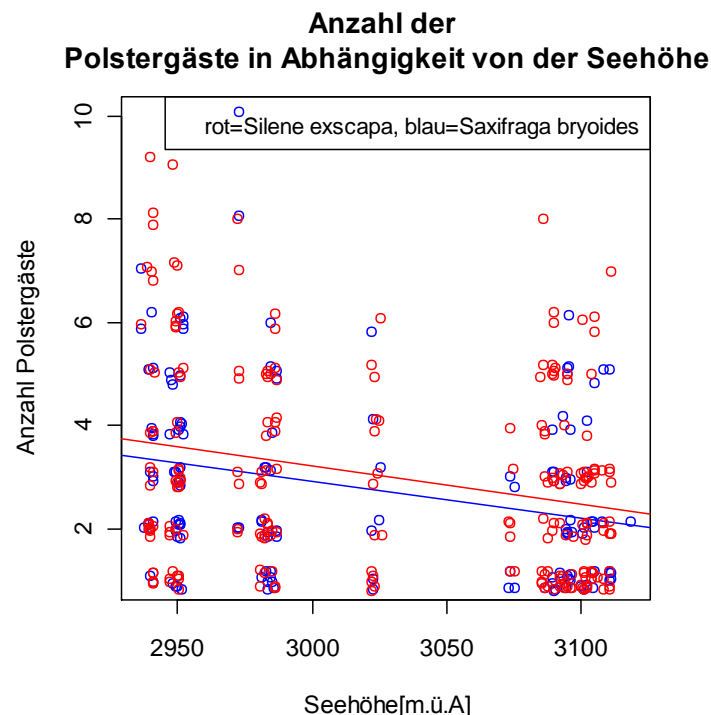


Abb. 41: Abhängigkeit der Anzahl von Polstergästen (= Anzahl der Polstergast-Arten pro Ammenpflanze) von der Seehöhe. Die Regressionsgeraden sind aus einem linearen Modell errechnet.

5.7 WACHSTUMSANALYSE MIT EINEM MIXED EFFECTS MODEL

Um die Ergebnisse verständlicher zu machen, ist in Tab. 14 ein Ausschnitt aus dem Datensatz, mit dem im „R“ gearbeitet wurde, angegeben.

Tab. 14: Ausschnitt aus dem Datensatz „polster“ mit dem das mixed effects model gerechnet wurde. SPECCODE: Code des Individuums. SPEC: 1= *Saxifraga bryoides*, 2= *Silene exscapa*, Area: Polsterfläche in cm².

SPECCODE	SPEC	Area	Year
020101SAX0450	1	45,8	1994
020101SAX0450	1	89,7	2004
020101SAX0450	1	115,1	2009
020101SIL1050	2	1,6	1994
020101SIL1050	2	38,9	2004
020101SIL1050	2	179,2	2009

Um eine Normalverteilung der Daten zu erhalten wurde eine Logarithmustransformation der Fläche durchgeführt. Getestet wurde dies mit einem „normal QQ plot“. Aus dem R- output (Tab. 15) für das Modell

```
wachstum.lme <- lme ( fixed = Area ~ Year + Year:SPEC,  
random = ~ Year | SPECCODE, data = polster)
```

ist ersichtlich, dass die Polsterfläche signifikant vom Jahr abhängt, und dass sich die beiden Arten in dieser Abhängigkeit signifikant voneinander unterscheiden (p-Wert < 0,05). Aus der Koeffizienteninterpretation lässt sich weiters schließen, dass die Art *Silene exscapa* (Steigungswert 0,085) etwa doppelt so schnell wächst, wie *Saxifraga bryoides* (Steigungswert 0,039). Die Variabilität innerhalb der Arten ist aber groß (Steigungswert für SPECCODE in den Random effects), das heißt es gibt eine große Schwankung im Wachstumsverhalten von Polster zu Polster, unabhängig davon welcher Art der Polster angehört. Dieser Wert ist größer als der Steigungskoeffizient für *Saxifraga bryoides*, aber kleiner als jener von *Silene exscapa*. Die unerklärte Restvarianz ist ebenfalls beträchtlich (Residual), sie übersteigt den Wert der anderen erklärenden Variablen.

Die Parameterschätzung erfolgte mittels „REML“ (restricted maximum likelihood). Der Wert für die Güte des Modells (AIC) ist mit 3368,45 relativ groß. Der Datensatz besteht aus 1401 Einträgen, welche in 467 Gruppen aufgeteilt sind⁴.

⁴ 467 ist die Anzahl der untersuchten Polster, für jeden Polster liegen 3 Messungen vor (das ergibt 1401).

Tab. 15: Ergebnisse des lme aus dem Programm „R“. df= Freiheitsgrade, p- value= p- Wert.

Fixed Effects	Intercept	<i>Saxifraga bryoides</i>	<i>Silene exscapa</i>
Wert	3,07	0,039	0,085
df	932	932	932
p- value	0	0	0
Random Effects	Intercept	SPECCODE	Residual
Wert	1,39	0,049	0,403

5.8 MESSFEHLER

Ein Vergleich der Messwerte von 2009 aus dem AUTOCAD und dem Freiland hat ergeben, dass die AUTOCAD- Messwerte durchschnittlich um 2,67% bis 5,02% unter denen der Freilandmessung liegen (Tab. 16). Die Freilandmesswerte werden als Referenzwert angesehen – sozusagen die 100% Genauigkeit. Innerhalb des 95%-Intervalls liegt der Fehlerbereich zwischen -24,7% bis +16,5%. Für 72 % der Individuen liegt der Messfehler im Bereich von +/-10% (in der Tabelle nicht dargestellt).

Tab. 16: Die durchschnittliche Genauigkeit der AUTOCAD-Messung von 2009 bezogen auf die Freilandmessung von 2009. Angabe des Fehlers, den 95% der Daten haben. Diam. max = Maximaler Durchmesser 2009, Diam. perp. = darauf rechtwinkliger Durchmesser 2009. Die Ausreißer beziehen sich auf 95% der Daten.

	<i>Saxifraga bryoides</i>		<i>Silene exscapa</i>	
	Diam. max	Diam. perp	Diam. max	Diam. perp
Mittelwert	97,23%	97,33%	94,98%	96,58%
95% der Daten	75,65 % - 117%	70,39% - 121,62%	75,9% - 113,38%	79% - 114%
Anzahl Ausreißer	7	5	9	12

6. DISKUSSION

6.1 ZU- UND ABNAHME SOWIE BESCHÄDIGUNG DER POLSTERFLÄCHE

Zusammenfassend können die wichtigsten Ergebnisse der Wachstums- und Beschädigungsanalysen wie folgt dargestellt werden:

- Die Polsterflächen von *Saxifraga bryoides* nahmen häufiger ab als jene von *Silene exscapa*.
- Die Flächenabnahme tritt bei *S. bryoides* vielfach schon bei kleinen Individuen auf, bei *S. exscapa* ist dieses Phänomen vorwiegend bei großen Polstern zu beobachten.
- Die Ergebnisse des mixed effects models besagen, dass *S. exscapa* deutlich schneller wächst als *S. bryoides*.
- An *S. bryoides* konnten Beschädigungen der Polsterfläche häufiger als bei *S. exscapa* beobachtet werden. Große Anteile abgestorbener Fläche treten bei *S. bryoides* im Gegensatz zu *S. exscapa* vielfach schon bei kleinen Individuen auf.

Die Ergebnisse bestätigen die eingangs formulierte Hypothese, dass die nival verbreitete Art *Saxifraga bryoides*, welche im Ökoton rückgängig ist (PAULI, 2007; vgl. Kap. 1), häufiger Flächenabnahmen und größere Beschädigungswerte aufzeigt als die alpin verbreitete Art *Silene exscapa*. Auch die Vermutung, dass bei *S. bryoides* schon kleine Individuen absterben und beschädigt sind, konnte bestätigt werden.

Diese Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass sich die beiden Pflanzen in ihrer Wachstumsstrategie grundlegend voneinander unterscheiden. Für die Interpretation dieser Unterschiede wird an dieser Stelle noch einmal ausführlich auf die Wuchsformen der beiden Polsterpflanzen eingegangen.

6.1.1 Die Wuchsformen als erklärender Faktor

Im Hochgebirge auftretende Wuchsformen sind eng an morphologische und physiologische Funktionalität gekoppelt und stellen somit eine Anpassung an extreme bzw. limitierende Umweltbedingungen dar (NAGY & GRABHERR, 2009). Dies tritt besonders bei Polsterpflanzen deutlich in Erscheinung.

Die folgenden Beschreibungen der Wuchsformen stammen aus RAUH (1939): „Über polsterförmigen Wuchs“.

In jugendlichen Stadien bildet *S. bryoides* zunächst Radialvollflachpolster, die nach einer kräftigen Entwicklung mit einer Ausläuferbildung beginnen. Hierbei wächst ein anfänglich orthotroper Primärspross (Abb. 42 I) nach kurzer Zeit plagio-geotropisch weiter und schmiegt sich dabei dem Substrat an (Abb. 42 II). Anschließend entspringen dem Primärspross orthotrope Spitzenknospen (Abb. 42 III). In diesem

Stadium werden kompakte, gewölbte Polster gebildet. Diese Form wird jedoch nicht lange beibehalten, sondern es kommt zur Ausläuferbildung, wobei der Polster an der Peripherie auflockert und sich randliche Sprosse zu Kriechsprossen umbilden. Deren anfänglich dicht beblätterte Internodien strecken sich mit der Zeit und nehmen somit eine perlenschnurartige Gestalt mit locker sitzenden Rosetten an (Abb. 42 IV). Für die Kriechsprosse gibt RAUH Längen von bis zu 50cm an und bemerkt weiters: „Mit Vorliebe wachsen die Ausläufer in Felsspalten, Rissen und schmalen Rinnen, wobei sie ihre geotropische Empfindlichkeit aufzugeben scheinen, da sie sowohl senkrecht nach unten, wie auch nach oben wachsen können“. Die im Alter auftretende Polsterform bei *Saxifraga bryoides* bezeichnet RAUH als Kriechpolster.

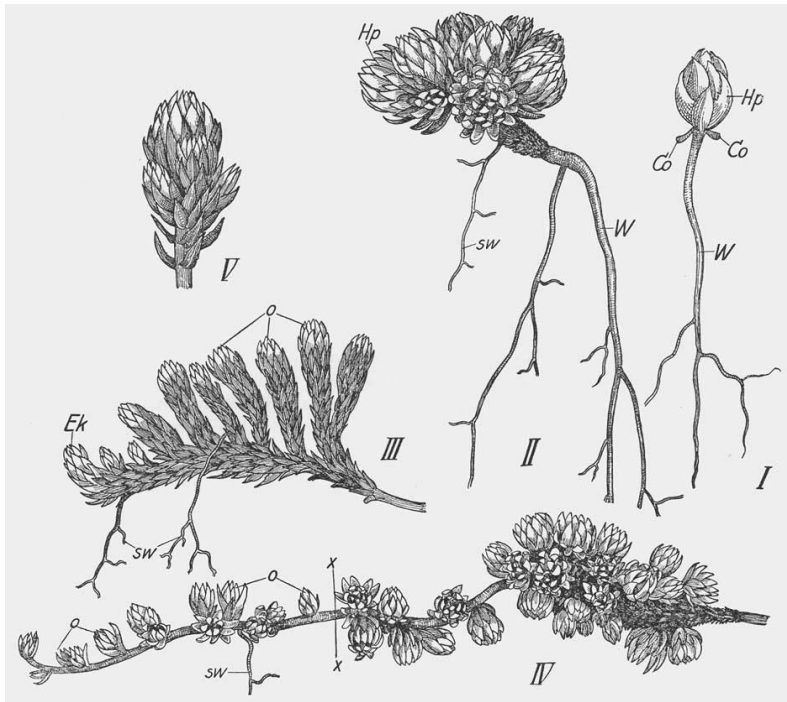


Abb. 42: *Saxifraga bryoides*. I einjährige Pflanze. II dreijährige Pflanze. Hp=Hauptspross. III randlicher Sproß eines kompakten, noch nicht zur Kriechsproßbildung übergegangenen Polsters. IV Kriechspross mit kurztriebartigen Seitenästen. Aus RAUH (1939).

Bei RAUH (1939) werden die Entwicklungsstadien und der Wachstumsverlauf von *Silene acaulis* sehr genau beschrieben. Da sich diese von *S. exscapa* in ihrer Wuchsform kaum unterscheidet und für *S. exscapa* ähnliche Literaturangaben nicht gefunden werden konnten, werden RAUH's Angaben hier übernommen. Demnach bildet *S. acaulis* grundsätzlich deutlich kompaktere Polster als *S. bryoides*. Ausläufer wie bei letzterer Art können nicht beobachtet werden. Eine Entwicklung von der Keimung über die ersten Jahre ist in Abb. 43 dargestellt. Der Primärspross (Abb. 43 I) beginnt sich spätestens im dritten Jahr zu verzweigen, der Längenzuwachs desselben ist jedoch zeitlebens gering. Das Längenwachstum findet hauptsächlich in den Seitenästen statt, welche dem Substrat aufliegen und vom Primärspross ausgehend radial nach allen Seiten ausstrahlen. Zusätzliche Adventivwurzeln der Seitenäste helfen der Pflanze sich auf unebenem Untergrund gut zu verankern.

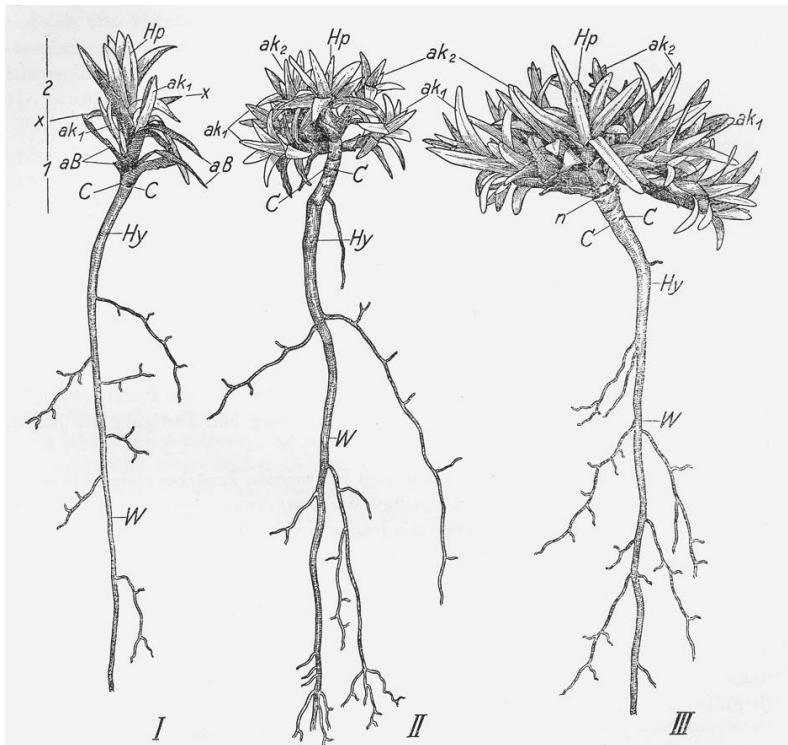


Abb. 43: Entwicklung eines *Silene acaulis* Polsters. Die Grenze der Triebperioden 1 und 2 liegt bei x – x. I Sämling zu Beginn des zweiten Jahres. II und III Dreijährige Polster. Hp Primärspross. ak1 und ak2 Achselknospe des 1. und 2. Jahres. W Wurzel. C Narben der Cotyledonen. Hy Hypocotyl. Aus RAUH (1939).

Obwohl die zwei Arten nach LANDOLT et al. (2010) gleichermaßen als immergrüne, krautige Chamaephyten intermediär zwischen Konkurrenz- und Stresstrategen einzuordnen sind, dürften sie sich dennoch in ihrer Strategie unterscheiden, wobei *S. exscapa* konkurrenzstärker zu sein scheint. Hat sie sich einmal etabliert, formt sie äußerst erfolgreich kompakte Polster und gibt den Standort anderen Pflanzen in der Regel nicht frei. Der konkurrenzschwächere *S. bryoides* hingegen weicht bei Hindernissen wie Steinen oder anderen Pflanzen mit seinen schnurförmigen Ausläufern in eine andere Richtung aus und kriecht dabei oft in Rinnen (WETTER, 1918; RAUH, 1939; eigene Beobachtungen). Dies zeigte sich auch in den in Abschnitt „5.5 Hindernisse“ dargestellten Ergebnissen, wo die Kategorien „Der Polster wächst über einen Stein“ und „Der Polster stößt an eine andere Pflanze“ an *S. exscapa* häufiger beobachtet wurden. *S. bryoides* kann sich sehr gut an seinen Wuchsort anpassen. WETTER (1918) gibt „kompakte Polster“, „lockere Rasen“ sowie „gemischte Polster“ als mögliche Wuchsformvariationen an. Seine Ausläufer werden leicht von der Mutterpflanze abgetrennt, darin liegt möglicherweise auch einer der Gründe, warum die Flächen dieser Art häufiger abnehmen als jene von *S. exscapa*. Solch isolierte Ausläuferästchen können jedoch wieder bewurzeln und der vegetativen Vermehrung dienen (RAUH, 1939). *S. exscapa* hat die Fähigkeit sich durch Wurzelsprosse vegetativ zu vermehren (LANDOLT et al., 2010; RAUH, 1939; WETTER, 1918).

Mechanische Störungen wie Steinschlag, Hangrutschungen oder Unwetter, bei denen Teile der Polsterpflanze abgetrennt oder beschädigt werden, können Gründe für eine Abnahme der Polsterfläche sein. Weiters kann das Absterben von

Polsterteilen im Wassermangel und hoher Verdunstung in Trockenperioden, in Überhitzung oder Frostschäden begründet sein.

In fast allen diesen Punkten weist *Silene exscapa* große Vorteile gegenüber *Saxifraga bryoides* auf. Sie kann durch ihre kompaktere, widerstandsfähigere und deutlich kugeligere Polsterform mechanische Störungen möglicherweise besser ertragen, ohne großen Schaden zu nehmen. Auch bezüglich der Überdauerung von oben genannten ungünstigen klimatischen Ereignissen scheint sie im Vorteil zu sein, wie folgende Tatsachen zeigen: RAUH (1939) weist mehrmals auf die Akkumulation von abgestorbenem Pflanzenmaterial im Inneren des *Silene*- Polsters hin, welches als Wärmedämmung sowie Nährstoff- und Wasserspeicher fungiert. Durch die lockere rasenartige Wuchsform ist *S. bryoides* nicht nur anfälliger gegen mechanische Störungen, sondern auch gegen Verdunstung durch hohe Windbelastung oder große Hitze. Weitere Belege für die bessere Wärme- und Wasserhaltekapazität von *S. acaulis* zeigt WETTER (1918) in seiner Arbeit. Pflanzenarten beeinflussen die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse des Humus artspezifisch. Hierbei und in weiteren Messungen von WETTER ist ersichtlich, dass *S. acaulis* höhere Humustemperaturen als *S. bryoides* aufweist (Tab. 17). Ein Einfluss von Bodenfrösten auf das Wachstum alpiner Pflanzen konnte von JONAS et al. (2008) allerdings nicht nachgewiesen werden.

Tab. 17: Von WETTER (1918) erstellte Temperaturmessungen im Humus von *Silene acaulis* und *Saxifraga bryoides* Polstern vom 17.7.1913 auf der Rotondohütte (2570m). Das Wetter war neblig, zwischen 9h und 11h wechselten Sonne und Schneefall. Die Lufttemperatur wurde in Nordexposition gemessen, die Polsterpflanzen standen ostexponiert.

Uhrzeit	Lufttemperatur in geschützter Lage [°C]	Humustemperatur [°C] <i>Saxifraga bryoides</i>	Humustemperatur[°C] <i>Silene acaulis</i>
9h	6,4	5,4	6,4
10h	8,0	6,0	7,6
11h	12,6	7,6	8,9
12h	9,8	7,9	10,4
13h	8,8	7,6	10,4
14h	8,0	6,8	8,7
15h	6,2	6,8	8,7
16h	6,4	6,5	8,4
17h	6,8	6,0	7,8
18h	5,9	5,4	6,8
19h	4,4	4,6	5,4
Tagesmittel	7,6	6,4	8,1

Bei Untersuchungen zum Feuchtigkeitsgehalt des Humus verschiedener Pflanzenarten wurde aus einer Bodenprobe von 8,83g ein Wassergehalt von 7,25% für *Silene acaulis* ermittelt, für *Saxifraga bryoides* waren dies 5,3% Wassergehalt bei 8,87g Probe (WETTER, 1918)⁵.

⁵ Da es sich WETTER's Untersuchung von 1918 auf die „Ökologie der Felsflora kalkarmer Gesteine “ bezieht, könnte es sich in seiner Arbeit auch um die kalkfliehende *Silene exscapa*, und nicht um *Silene acaulis* handeln.

6.1.2 Allgemeines zur Beschädigung von Polsterpflanzen

Das Wachstum alpiner Pflanzen wird primär durch Lufttemperaturen während der Vegetationsperiode und die Dauer der Schneebedeckung gesteuert (JONAS et al., 2008; KÖRNER, 2003). Nach JONAS et al. (2008) setzt das Wachstum der Pflanzen alpiner Rasen etwa 2 bis 3 Wochen nach der Schneeschmelze ein; diese „safety period“ geht mit den Beobachtungen einher, dass ab diesem Zeitpunkt episodische Fröste vermindert auftreten. Die Schneeschmelze verschiebt sich pro 100 Höhenmeter um etwa 3,5 bis 4 Tage nach hinten (JONAS et al. 2008).

Als Temperaturoptimum für die Photosynthese gibt KÖRNER (2007) Werte von etwa 23°C an. Das absolute Temperaturlimit für Pflanzenwachstum scheint zwischen 0 und 2 °C zu liegen, wobei messbare Wachstumsraten für kälteadaptierte arktisch-alpine Pflanzenarten erst ab Temperaturen über 6°C beobachtet wurden (LADINIG et al., 2009).

In der subnivalen und nivalen Zone sind Sommerfröste von -7°C bis -9°C keine Seltenheit, Schäden an Pflanzen treten gewöhnlich aber nur auf, wenn die schützende Schneeschicht unzureichend oder gar nicht ausgebildet ist (LARCHER et al., 2010). Nach einer sommerlichen Kaltphase mit Temperaturen von -5°C bis -7°C am Brunnenkogel (3440m.ü.A.) in den Öztaler Alpen waren vegetative Sprosse von Rosetten- und Polsterpflanzen unbeschadet, während deren Blühtriebe Schäden aufwiesen; bei *S. bryoides* wurden die Blühtriebe teilweise bis vollständig zerstört (LARCHER et al., 2010).

TASCHLER & NEUNER (2004) geben für *Silene acaulis* eine mittlere Sommerfrostresistenz von etwa -6°C, für *Saxifraga bryoides* von -8.5°C an. KÖRNER (2003) gibt für *S. acaulis* eine maximale Frostresistenz von -23°C in der Wurzel bzw. -10°C in den Blättern für den Sommer, und je -196°C für den Winter an. Ist der Polster zuvor 3 bis 5 Tagen einer Warmphase ausgesetzt, liegen die Werte bei -7°C, -11°C, bzw. bei -30°C.

Nach LARCHER et al. (2010) sind die Lufttemperaturen in der nivalen Zone für gewöhnlich so niedrig, dass es praktisch nie zu Hitzeschäden kommt. Im Allgemeinen fehlen trotz der starken Einstrahlung hohe Temperaturen an der Pflanzenoberfläche nivaler Standorte. Dennoch können extreme Hitzeereignisse zweifelsfrei Schäden verursachen. An einem *S. acaulis*-Polster wurde von GAUSLAA (1984 in KÖRNER, 2003) über eine Zeitspanne von 2 Stunden eine Oberflächentemperatur von 45°C gemessen. Am darauffolgenden Tag wies dieser Teil des Polsters braune Blätter auf. Eine Beschädigung durch Austrocknung konnte ausgeschlossen werden, da der vorangegangene Tag regnerisch war, die Schäden wurden auf Überhitzung der Blätter zurückgeführt. Bei *S. bryoides* konnte im außerordentlich heißen Sommer 2003 von LADINIG et al. (2007) aufgrund der hohen Temperaturen in Kombination mit einer scheinbar großen Bodentrockenheit eine komplette Zerstörung der Blüten und Knospen auf 3450m beobachtet werden.

6.1.3 Flächenabnahme und Beschädigung in Abhängigkeit von der Polstergröße

Mit den bereits diskutierten Fakten wird auch versucht, eine Erklärung für das Phänomen der frühzeitigen und schon häufig bei kleinen Polstern auftretenden Flächenabnahme bei *Saxifraga bryoides* zu finden. Bei *Silene exscapa* wurden bei kleinen Polstern nur sehr wenige Individuen gefunden, deren Fläche abgenommen hat und erst bei großen Polstern wurden höhere Anteile gefunden. Hier scheint das Schrumpfen also eindeutig ein Altersphänomen zu sein, nicht so bei *S. bryoides*. Für ihn gilt zwar auch die Beobachtung „je größer der Polster, desto mehr Polster schrumpfen“, jedoch gibt es bei *S. bryoides* keine Größenklasse, in der alle Polster gewachsen sind.

Dieser Unterschied tritt auch bei der beschädigten Polsterfläche in Abhängigkeit von der Polstergröße deutlich hervor (vgl. Abb. 33 und Abb. 34). Bei *S. exscapa* ist die Mehrheit der Polster nicht oder wenig beschädigt, KÖRNER (2003) schreibt dazu jedoch: „In den Zentralalpen sind braune, blattlose Stellen auf der südexponierten Seite von *Silene acaulis* Polstern nichts Ungewöhnliches. Kompakte Polster und niederliegende Pflanzen sind sehr anfällig für Überhitzung...“. Bei *S. bryoides* kommen starke Beschädigungswerte schon bei kleinen Polstern häufig vor. Dieses gegensätzliche Verhaltensmuster der beiden Arten konnte auch von PROHASKA (unpubl.) im Jahr 2009 auf der Schwarzenbergmoräne südlich des Schrankogels gefunden werden. Ob die abgestorbenen Stellen auf Polsterpflanzen eine Folge von Überhitzung, Frostereignissen oder mechanischen Belastungen sind, wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht. Es müssen jedoch alle Möglichkeiten in Betracht gezogen werden. Das häufige Absterbephänomen bei *S. bryoides* wird auch von WETTER (1918) erwähnt. Er zählte an einem Ausläufer 87 Rosetten, wovon 61 grün, 3 in Blüte und 23 abgestorben waren. Die Beobachtung von WETTER (1918), dass *Saxifraga bryoides* Polster gewöhnlich von der Mitte her absterben und sich abgestorbene Rosetten daher bevorzugt im Zentrum des Polsters befinden, wurden in dieser Diplomarbeit nicht gemacht.

6.1.4 Flächenabnahme in den Sektoren

Bei beiden Arten sind (außer in Periode 2 bei *S. exscapa*) auf den Südost exponierten Flächen die wenigsten Polster geschrumpft. Die Begünstigung in diesem Sektor wird folgendermaßen erklärt. Da im Gebirge die direkte Strahlungsintensität allgemein höher ist als in tiefen Lagen (BURGA et al., 2004; LARCHER, 1994) und dort gleichzeitig die diffuse Strahlung geringer ist, werden Expositionsunterschiede bezüglich der Wärmezufuhr besonders im Sommer deutlich (GEIGER in FRANZ, 1979). Im Sommer kommt es bekanntlich häufig zu Wärmegewittern am Nachmittag, dadurch erfahren Südostexpositionen in der Regel mehr Wärmezufuhr als Südwestexpositionen. Im Falle des Schrankogels ist zudem anzumerken, dass der Südostgrat von allen untersuchten Sektoren am nächsten beim Schwarzenbergferner liegt und von diesem eine hohe Rückstrahlung möglich ist. Diese kann eine zusätzliche Erwärmung bedingen.

Die Sektoren Südwesten, Süden und Südosten unterscheiden sich nicht nur in ihrer anfangs bereits beschriebenen Vegetation voneinander, sondern auch in ihrer Geländemorphologie und Geologie. Der Südwesthang ist von relativ homogener Neigung. Die Oberfläche wird von feinem bis grobem Schutt und Silikatblöcken dominiert. Im Gegensatz dazu sind der Süden und der Südosten von anstehendem Fels und Felsblöcken dominierte Lebensräume mit steileren Hangneigungen und größerer Steinschlaggefahr. In den Untersuchungsflächen dieser Sektoren kommen geschlossene Rasen wie sie im Südwesten zu finden sind nicht mehr vor.

Warum jedoch *S. bryoides* im Südwesten am häufigsten schrumpft und *S. exscapa* im Süden, bleibt vorerst ungeklärt. Im Falle des subnival-nival zentrierten *S. bryoides* könnte der verstärkte Flächenrückgang im SW an der geringeren Seehöhe dieser Probeflächen liegen – und damit möglicherweise mit einer stärkeren Auswirkung der überdurchschnittlich warmen Jahre in den letzten Dekaden verbunden sein. Für *S. exscapa* würde diese Erklärung hier allerdings nicht zutreffen.

6.1.5 Flächenabnahme je Höhenklasse

Bei beiden Arten wurden Abnahmen der Polsterflächen häufiger in den höher gelegenen Untersuchungsflächen (Höhenklasse 2) als in den unteren Untersuchungsflächen (Höhenklasse 1) festgestellt. Eine Erklärung dafür liegt möglicherweise in den günstigeren Wachstumsverhältnissen bezüglich Temperaturen und Schneedeckendauer in den unteren Flächen des Ökotons – bzw. in einem geringeren Ausmaß kältebedingter Stresseffekte. Bei *S. bryoides* ist der Unterschied zwischen den Höhenklassen 1 und 2 weniger ausgeprägt als bei *S. exscapa* (hier gilt jedoch Periode 2 wieder als Ausnahme, dort ist der Unterschied wesentlich geringer), was auch mit den Habitatspräferenzen der beiden Arten einhergeht. Während *S. bryoides* nach der GLORIA Höhenrangstufen-Zuordnung (AltiRank) subnivale Standorte bevorzugt, ist *S. exscapa* in alpinen Höhenlagen anzusiedeln. MCCARTHY (1992) konnte für *S. acaulis* keine Abhängigkeit der Wachstumsrate von der Seehöhe feststellen. Der „Zeitplan“ der Pflanzenentwicklung ist nach JONAS et al. (2008) eine Funktion der Seehöhe. Zur Verkürzung der Wachstumsperiode mit zunehmender Seehöhe ist hier auch die Temperatursumme innerhalb der schneefreien Zeit wesentlich für den vegetativen und speziell für den generativen Wachstumserfolg. Eine spätere Ausaperung kann also zum Teil durch höhere Temperaturen in der fortgeschrittenen Jahreszeit kompensiert werden.

6.1.6 Die Ausnahme- Periode 2004 - 2009

Periode 2 (2004-2009) dürfte eine „Ausnahmeperiode“ – vor allem für *Silene exscapa* – gewesen sein, da die Ergebnisse häufig von den sonst durchgängigen Trends abweichen.

- Alle zunehmenden Polster beider Arten zeigten während der Periode 2 (2004 - 2009) eine raschere Flächenzunahme als in den 10 Jahren davor (Periode 1, 1994 – 2004).
- Die Wachstumsraten von *S. exscapa* sind in Periode 1 und 3 größer als jene von *Saxifraga bryoides*, in Periode 2 verhält es sich umgekehrt.
- In Periode 2 sind *Silene exscapa*- Individuen häufiger geschrumpft als in den Perioden 1 und 3. Zusätzlich lässt sich bezüglich Sektoren und Höhenklassen eine Trendumkehr feststellen.

Über die Hintergründe dieser Befunde kann nur spekuliert werden. Ein Grund könnten mögliche Unterschiede in den klimatischen Verhältnissen zwischen den beiden Perioden sein. Falls Periode 2 wärmer gewesen wäre als Periode 1, könnte man schließen, dass *S. exscapa* durch ihren kompakteren Polsterwuchs an Überhitzung litt. Durchgehende Klimadaten für die Zeitspanne von 1994 bis 2009 für die Ötztaler Alpen sind jedoch nicht verfügbar. Unbestritten ist, dass die Jahre 2000 bis 2010 mit $+1.0 \pm 0.12^\circ\text{C}$ die signifikant wärmste Dekade in Europa seit Beginn der Messungen (ARNDT et al., 2010; JOLLY et al., 2005; ZAMG, 2011) waren. Die Temperaturen lagen im Jahresmittel in Österreich im Bergland um 1°C höher als das Mittel des 20. Jahrhunderts (ZAMG, 2011). Die ZAMG gibt für die österreichischen Gipfelregionen 2003 mit 131% Sonnenschein als sonnigstes Jahr, 1994 mit $\Delta T = +1.8^\circ\text{C}$ als das wärmste Jahr an. Als Referenzwert gilt das Mittel der Periode 1901-2000. Auch das Jahr 2009, in dem die Datenaufnahme am Schrankogel erfolgte, war in Europa mit $+1.05 \pm 0.07^\circ\text{C}$ außergewöhnlich warm (ARNDT et al., 2010).

Die von JOLLY et al. (2005) untersuchten Auswirkungen des warmen Sommers 2003 auf die Vegetation der Schweizer Alpen zeigte eine Verlängerung der effektiven Vegetationsperiode um 2% für die alpine, 12% für die subnivale und 64% für die nivale Höhenstufe gegenüber dem zehnjährigen Mittel von 1995 bis 2004. Während in tiefen Lagen das Pflanzenwachstum durch Trockenheit gehemmt war, erfuhren Pflanzen in höheren Lagen eine Begünstigung, da dort das Pflanzenwachstum primär temperaturgesteuert ist (KÖRNER & PAULSEN, 2004 in JOLLY et al., 2005). Literaturangaben, ob sich eine derart heiße, sonnige Vegetationsperiode auch auf das Pflanzenwachstum in den Folgejahren auswirkt, konnten nicht gefunden werden.

6.2 WACHSTUMSGESCHWINDIGKEIT UND WACHSTUMSKURVE

Zahlreiche Studien haben bereits das Wachstumsverhalten an Polsterpflanzen wie *Silene acaulis* (BENEDICT, 1989; MCCARTHY, 1992; MORRIS & DOAK, 1998), *Azorella selago* (LE ROUX & MCGEOCH, 2004; FRENOT et al., 1993) oder *Diapensia lapponica* (MOLAU, 1997) studiert und häufig wurden dabei Altersbestimmungen durchgeführt. Die berechneten Wachstumsraten variieren inter- und intraspezifisch stark. LE ROUX & MCGEOCH (2004) fanden bei *Azorella selago*, dass die Wachstumsgeschwindigkeit unabhängig von der Pflanzengröße ist und zwischen den Standorten variiert. Weiters sei sie mit abiotischen und biotischen Faktoren verknüpft. Eine Unabhängigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit von der Pflanzengröße konnte in der vorliegenden Diplomarbeit nicht festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigen jedoch eine Zunahme der Wachstumsgeschwindigkeit mit der Größe der Pflanze. Dies konnte für *S. acaulis* neben MORRIS & DOAK (1998) auch von BENEDICT (1989) festgestellt werden. Letzterer konstruierte eine sigmoide Wachstumskurve für diese Polsterpflanze. Anfangs wächst die Pflanze langsam, was auf die geringe Photosynthesefläche zurückgeführt wird. Bei einem Durchmesser von 20 bis 35cm wird die größte Wachstumsrate erreicht (20 bis 30mm Zuwachs pro Jahr). Im hohen Alter, wenn der Durchmesser des Polsters schon sehr groß ist, verringert sich die Wachstumsrate wieder, da die Pflanze hohen Bedarf an Wasser und Nährstoffen hat und diese über relativ weite Strecken von der Wurzel in die Ästchen transportiert werden müssen (BENEDICT, 1989). Eine anfänglich hohe Wachstumsrate, die mit der Größe des Polsters abnimmt, konnte von MCCARTHY (1992) für *S. acaulis* festgestellt werden. Seine Angaben bewegen sich je nach Alter des Substrats – und damit auch der Größe des Polsters – zwischen 0,6mm und 18,2mm mittlerer Zuwachs pro Jahr. Er deutet an, dass die unterschiedlichen Ergebnisse aus verschiedenen Arbeiten durch standortsbedingte mikroklimatische Variationen resultieren.

In der vorliegenden Diplomarbeit lässt sich wie zu erwarten feststellen, dass *S. exscapa* eine homogenere Zunahme der Wachstumsgeschwindigkeit als *S. bryoides* aufweist. Das Pflanzenwachstum hängt bekanntlich von unzähligen Faktoren ab, die in einer Freilanduntersuchung wahrscheinlich nie alle berücksichtigt werden können und auch nicht Gegenstand dieser Arbeit waren. Daher kann die große unerklärte Restvarianz des lme-Modells hier auch nicht im Detail interpretiert werden. Möglicherweise liegt ein Grund darin, dass die bereits festgestellte Abhängigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit von der Polstergröße im lme nicht berücksichtigt wurde.

6.3 ALTERSBESTIMMUNG

Die hier angewendete Methode ist in der Praxis schwer umzusetzen, da ein besseres Datendesign erforderlich wäre. Es wäre eine homogenere Verteilung bezüglich des Größenspektrums der Pflanzen notwendig, da es in diesem Datensatz deutlich mehr kleine als große Polster gibt (was allerdings der tatsächlichen Populationsstruktur in den Beobachtungsflächen entsprach). Für eine speziell auf Altersbestimmung fokussierte Analyse wäre es auch hier sinnvoll nur jene Polster zu verwenden, die nie einen Flächenrückgang zeigen, da schrumpfende Polster die Kurve stark

verfälschen. Vor allem bei *S. bryoides* ist dies deutlich ersichtlich. Nach Abb. 36 hätte in der Kurve aus 1994 bis 2004 für das simulierte Alter von 30 bis 70 Jahren kein Wachstum stattgefunden. Dies liegt daran, dass im Datensatz sehr viele Individuen vorhanden sind, deren Fläche abgenommen hat und daher der Mittelwert nach 10 Jahren nach unten gedrückt wird. Bei Betrachtung der Ergebnisse dieser Arbeit drängt sich der Verdacht auf, dass *S. bryoides* für eine Altersbestimmung und Konstruktion von Wachstumskurven, die auf der Beziehung von Größe zu Durchmesser basieren, nicht besonders gut geeignet ist.

Die Literaturangaben für *S. acaulis* (für *S. exscapa* gibt es keine Untersuchungen) unterscheiden sich je nach Studie stark voneinander. MORRIS & DOAK (1998) geben für einen Durchmesser von 20cm ein Mindestalter von 322 Jahren an. Der entsprechende Wert aus BENEDICT's (1989) Alterskurve liegt etwa bei einem Alter von 25 Jahren, jener McCARTHY's (1992) bei etwa 30 Jahren. Die entsprechenden Werte dieser Diplomarbeit (aus Abb. 37) liegen mit 40 Jahren – berechnet aus der Periode 2004 bis 2009 – bzw. 70 Jahren – berechnet aus der Periode 1994 bis 2004 – in der Mitte. SCHWEINGRUBER gibt in LANDOLT et al. (2010) jedoch ein maximales Alter für *Silene exscapa* von 20 Jahren an, gemessen an den Jahresringen am Wurzelkragen.

Für *S. bryoides* sind mir keine veröffentlichten Studien über die Beziehung von Durchmesser zum Alter der Pflanze bekannt. Die Vermutung, dass er dafür schlecht geeignet ist, liegt nach den Ergebnissen in dieser Diplomarbeit nahe. LADINIG et al. (2009) untersuchten die Blütenentwicklung und das Wachstum der vegetativen Sprosse von *S. bryoides* am Hintertuxer und Stubai Gletscher. Dabei wurde aber nicht mit Durchmessern gearbeitet sondern es wurde der jährliche Blattumsatz (leaf turnover) analysiert und eine mittlere Lebensdauer der Blätter von etwa 12 Monaten festgestellt. Die untersuchten Individuen begannen sofort nach der Schneeschmelze bis Mitte August zu wachsen, anschließend wurde eine Verringerung der Blattanzahl auf den vegetativen Sprossen verzeichnet (LADINIG et al., 2009).

6.4 POLSTERGÄSTE

Silene exscapa Polster beherbergen häufiger Gastpflanzen als *Saxifraga bryoides*. Auch die durchschnittliche Anzahl von Pflanzenarten ist bei *S. exscapa* höher als bei *S. bryoides*. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass *S. exscapa* durch ihre kompaktere Wuchsform einen geschützteren Wuchsort für Polstergäste bietet als *S. bryoides*. Zudem hat *S. exscapa* ihren Verbreitungsschwerpunkt im Vergleich zu *S. bryoides* in tieferen Lagen. Da der Artenreichtum von Gefäßpflanzen mit der Seehöhe abnimmt (NAGY & GRABHERR, 2009), ist in der alpinen Höhenstufe ein größeres Artenspektrum zu erwarten als in der Nivalen. Dies könnte auch die Ergebnisse einer weiteren Analyse erklären, bei der die Anzahl der Polstergast-Arten mit steigender Seehöhe abnahmen. In diesem Trend unterscheiden sich die beiden untersuchten Arten nicht voneinander. Einige Studien belegen zwar, dass positive Interaktionen mit der Seehöhe (ANTONSSON et al., 2009) und daraus resultierenden Stressgradienten (ANTONSSON et al., 2009; ARREDONDO-NUÑEZ, 2009; CALLAWAY, 2002; DULLINGER et al., 2007) zunehmen. Jedoch konnten CAVIERES et al.

(2005) in den Anden (Zentral- Chile) einen gegenteiligen Gradienten beobachten, bei dem in tieferen Lagen mehr positive Interaktionen verzeichnet wurden als in höheren Lagen. Sie begründen dies mit weniger günstigen Wachstumsbedingungen für Pflanzen (vor allem große Trockenheit) in tiefen Lagen.

Subnivale Pflanzenarten beherbergen vielfach Gäste aus tieferen Lagen und erleichtern ihnen somit die Besiedelung von höher gelegenen Standorten (KIKVIDZE & NAKHUTSRISHVILI, 1998). In dieser Diplomarbeit stellen Gäste mit dem AltiRank 1 und 2 zwar den größten Teil der Polstergäste, aber der Gesamtanteil an tiefer verbreiteten Arten (AltiRank 3, 4 und 5) als Gäste ist mit 20.6% trotzdem noch beachtlich.

6.5 MESSFEHLER

Der teilweise große Messfehler ergibt sich hauptsächlich aus der Geländemorphologie (vgl. Abb. 48), welche ein Fotografieren aus einer standardisierten Höhe über den Polsterpflanzen nicht zulässt. Dadurch kann sich eine verzerrte Projektion der 1x1m-Untersuchungsfläche am Bild ergeben (vgl. Abb. 44). Dies hat die Vermessungsarbeit im AUTOCAD natürlich erschwert, da in solchen Fällen ein Bild mehrmals skaliert werden musste, je nachdem, wo im Bild sich die zu vermessenden Pflanzen befanden. Zudem wurden die Bilder aus dem Jahr 1994 mit einer analogen Kamera, jene aus 2004 und 2009 mit digitalen Kameras aufgenommen. Dabei wurden Objektive mit verschiedenen Brennweiten verwendet.



Abb. 44: Beispiele für ein kaum verzerrtes Foto (links) und verzerrte Fotos (mitte und rechts) von Untersuchungsflächen aus dem Jahr 2009.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Alpenvereins- Karte 1:25.000 Blatt 31/1: Stubaier Alpen, Hochstubaier

ABRATE, S. (1998): Vegetationskarte des Schrankogel, Stubaier Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien.

AESCHIMANN, D., LAUBER, K., MOSER, D. M., THEURILLAT, J.-P. (2004): Flora alpina. - Haupt Verlag, Bern.

ANTONSSON, H., BJÖRK, R. G. & MOLAU, U. (2009): Nurse Plant Effect of the Cushion Plant *Silene acaulis* (L.) Jacq. in an Alpine Environment in the Subarctic Scandes, Sweden. *Plant Ecology and Diversity* 2(1): 17–25.

ARNDT, D. S., BARINGER, M. O., & JOHNSON, M. R., Eds. (2010): State of the Climate in 2009. *Bulletin of the American Meteorological Society* 91 (7): 1–224.

ARREDONDO-NUÑEZ, A., BADANO, E. I. & BUSTAMANTE, R. O. (2009): How Beneficial Are Nurse Plants? A Meta-Analysis of the Effects of Cushion Plants on High-Andean Plant Communities. *Community Ecology* 10 (1): 1-6.

BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R. (1994): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. - Springer Verlag, Berlin.

BENEDICT, J. B. (1989): Use of *Silene acaulis* for Dating: The Relationship of Cushion Diameter to Age. *Arctic and Alpine Research* 21 (1): 91-96.

BRAUN- BLANQUET, J. (1922): Saxifragaceae. In: HEGI G.: Illustrierte Flora von Mitteleuropa.

BRUNO, J.F., STACHOWICZ, J.J. & BERTNESS, M.D. (2003): Inclusion of Facilitation into Ecological Theory. *Trends in Ecology and Evoution* 18: 119–125.

BURGA, C. A., KLÖTZLI, F. & GRABHERR, G. (2004): Gebirge der Erde. Landschaft, Klima, Pflanzenwelt. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

CALLAWAY, R. M., BROOKER, R. W., CHOLER, P., KIKVIDZE, Z., LORTIE, C. J., MICHALET, R., PAOLINI, L., PUGNAIRE, F. I., NEWINGHAM, B., ASCHEHOUG, E. T., ARMAS, C., KIKODZE, D. & COOK, B. J. (2002): Positive Interactions among Alpine Plants Increase With Stress. *Nature* 417: 844–848.

CASTY, C., WANNER, H., LUTERBACHER, J., ESPER, J., BÖHM, R. (2005): Temperature and Precipitation Varirability in the European Alps since 1500. *International Journal of Climatology* 25: 1855–1880.

CAVIERES, L. A., BADANO, E. I., SIERRA-ALMEIDA, A., GÓMEZ-GONZÁLEZ, S. & MOLINA-MONTENEGRO, M. (2005): Positive Interactions Between Alpine Plant Species and the Nurse Cushion Plant *Laretia acaulis* Do Not Increase With Elevation in the Andes of Central Chile. *New Phytologist* 169: 59-69.

CORREYON H. (1911): The Alpine Flora. Von www.biodiversitylibrary.org

CRAWLEY, M.J. (2002): Statistical Computing. An Introduction to Statistical Analysis using S-Plus. John Wiley & Sons Ltd, England.

DIETZ, H. J. & SCHWEINGRUBER, F. H. (2002): Annual Rings in Native and Introduced Forbs of Lower Michigan, U.S.A. *Canadian Journal of Botany* 80: 642 – 649.

DIETZ, H. J., v. ARX, G. & DIETZ, S. (2004): Growth Increment Patterns in the Roots of Two Alpine Forbs Growing in the Center and the Periphery of a Snowbank. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 36: 591 – 597.

DULLINGER, S. (1998): Vegetation des Schrankogel, Stubai Alpen. Diplomarbeit, Universität Wien.

DULLINGER, S., KLEINBAUER, I., PAULI, H., GOTTFRIED, M., BROOKER, R., NAGY, L., THEURILLAT, J.-P., HOLTEN, J. I., ABDALADZE, O., BENITO J.-L., BOREL, J.-L., COLDEA, G., GHOSN, D., KANKA, R., MERZOUKI, A., KLETTNER, C., MOISEEV, P., MOLAU, U., REITER, K., ROSSI, G., STANISCI, A., TOMASELLI, M., UNTERLUGAUER, P., VITTOZ, P., GRABHERR, G. (2007): Weak and Variable Relationships between Environmental Severity and Small-Scale Co-Occurrence in Alpine Plant Communities. *Journal of Ecology* 95: 1284-1295.

ELLENBERG, H. & LEUSCHNER C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. - 6. Aufl. - Eugen Ulmer Verlag Stuttgart.

ENGLER, A. (1872): Monographie der Gattung *Saxifraga* L. Mit besonderer Berücksichtigung der geographischen Verhältnisse. - J. U. Kern's Verlag (Max Müller). Breslau 1872.

FISCHER, M. A., OSWALD, K. & ADLER, W. (2008): Exkursionsflora für Österreich Liechtenstein und Südtirol. - 3. Aufl. - Biologiezentrum der oberösterreichischen Landesmuseen, Linz.

FRANZ, H. (1979): Ökologie der Hochgebirge. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

FRENOT, Y., GLOAGUEN, J.C., PICOT, G., BOUGÈRE, J. & BENJAMIN, D. (1993): *Azorella selago* Hook. Used to Estimate Glacier Fluctuations and Climatic History in the Kerguelen Islands Over the Last Two Centuries. *Oecologia* 95: 140-144.

- FOX, J. (2002): Linear Mixed Models. Appendix to an R and S-Plus Companion to Applied Regression. Sage, Thousand Oaks, CA.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT WIEN (1999): Geologische Übersichtskarte Österreich.
- GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT WIEN (2002): Rocky Austria. Eine bunte Erdgeschichte von Österreich. - 2. Aufl. - Geologische Bundesanstalt Wien.
- GOTTFRIED, M., PAULI, H. & GRABHERR, G. (1994): Die Alpen im "Treibhaus": Nachweis für das erwärmungsbedingte Höhersteigen der alpinen und nivalen Vegetation. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt e. V. München*.
- GOTTFRIED, M., PAULI, H. & GRABHERR, G. (1998): Prediction of Vegetation Patterns at the Limits of Plant Life: A New View of the Alpine-Nival Ecotone. *Arctic and Alpine Research* 30 (3): 207-221.
- 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* (eds. Körner C. & Spehn E.M.): 213-223. Parthenon Publishing, London, New York.
- GRABHERR, G. & MUCINA, L. (Hrsg.) (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil II. Natürliche waldfreie Vegetation. - Gustav Fischer Verlag, Jena.
- GRABHERR, G., GOTTFREID, M. & PAULI, H. (1994): Climate Effects on Mountain Plants. *Nature* 369: 448.
- GRABHERR, G. (1997): Farbatlas Ökosysteme der Erde. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- HEGI G. (1922): Alpenflora. die verbreitetsten Alpenpflanzen von Bayern, Österreich und der Schweiz. Von www.biodiversitylibrary.org
- JALAS, J., SUOMINEN, J. (1986): Atlas Florae Europaeae. Band 7 Caryophyllaceae (Silenoideae) - Helsinki.
- JALAS, J., SUOMINEN, J. (1999): Atlas Florae Europaeae. Band 12 Resedaceae - Platanaceae - Helsinki.
- JIRASEK F. A. (1806): Beiträuge zu einer botanischen provincial Nomenclatur von Salzburg, Baiern und Tirol. Von www.biodiversitylibrary.org
- JOLLY, W. M., DOBBERTIN, M. & ZIMMERMANN, N. E. (2005): Divergent Vegetation Growth Responses to the 2003 Heat Wave in the Swiss Alps. *Geophysical Research Letters* 32: L18409, doi:10.1029/2005GL023252

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: G03013, doi:10.1029/2007JG000680

KIKVIDZE, Z., NAKHUTSRISHVILI, G. (1998): Facilitation in Subnival Vegetation Patches. *Journal of Vegetation Science* 9: 261-264.

KÖRNER, CH. (2003): Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. - 2nd Edition - Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.

KÖRNER, CH. (2007): The Use of "Altitude" in Ecological Research. *Trends in Ecology and Evolution* 22 (11): 569-574.

LADINIG, U. & WAGNER, J. (2007): Timing of Sexual Reproduction and Reproductive Success in the High-Mountain Plant *Saxifraga bryoides* L. *Plant Biology* 9: 83-693.

LADINIG, U. & WAGNER, J. (2009): Dynamics of flower development and vegetative shoot growth in the high mountain plant *Saxifraga bryoides* L. *Flora* 204: 63-73.

LANDOLT, E., BÄUMLER, B., ERHARDT, A., HEGG, O., KLÖTZLI, F., LÄMMLER, W., NOBIS, M., et al. (2010): Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. - 2nd Edition - Haupt Verlag, Bern.

LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. - 5. Aufl. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

LARCHER, W., KAINMÜLLER, C. & WAGNER, J. (2010): Survival Types of High Mountain Plants Under Extreme Temperatures. *Flora* 205: 3-18.

LE ROUX, P. C. & MCGEOCH, M. A. (2004): The Use of Size as an Estimator of Age in the Subantarctic Cushion Plant *Azorella selago* (Apiaceae). *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 36 (4): 509-517.

MAURICE, S., DESFEUX, C., MIGNOT, A. & HENRY, J.-P. (1998): Is *Silene acaulis* (Caryophyllaceae) a Trioecious Species? Reproductive Biology of two Subspecies. *Canadian Journal of Botany* 76: 478-485.

MCCARTHY, D. P. (1992): Dating With Cushion Plants: Establishment of a *Silene acaulis* Growth Curve in the Canadian Rockies. *Arctic and Alpine Research* 24: 50-55.

MEUSEL, H., JÄGER, E. & WEINERT, E. (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. - Bd.1 (Text und Karten) - Gustav Fischer Verlag, Jena.

- MOLAU, U. (1997): Age- related Growth and Reproduction in *Diapensia lapponica*, an Arctic- alpine Cushion Plant. *Nordic Journal of Botany* 17 (3): 225 – 234.
- MORRIS, W. F. & DOAK, D. F. (1998): Life History of the Long- Lived Gynodioecious Cushion Plant *Silene acaulis* (Caryophyllaceae) Inferred from Size- Based Population Projection Matrices. *American Journal of Botany* 85 (6): 784-793.
- NAGY, L. & GRABHERR G. (2009): The Biology of Alpine Habitats. Oxford University Press.
- OBERDORFER, E. (1946): Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete. - 8. Aufl. - Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- OZENDA, P. (1988): Die Vegetation der Alpen im europäischen Gebirgsraum. - Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- 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., REITER, K., KLETTNER, 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. *Global Change Biology* 13: 147-156.
- PINHEIRO, J.C. & BATES, D. M. (2000): Mixed Effects Models in S and S-Plus. Springer Verlag, New York.
- RAUH, W. (1939): Über polsterförmigen Wuchs. Ein Beitrag zur Kenntnis der Wuchsformen der höheren Pflanzen. (Habilitation) In: Nova Acta Leopoldiana, Neue Folge 7: 268-508.
- REISIGL, H. & PITSCHMANN, H. (1958): Obere Grenze von Flora und Vegetation in der Nivalstufe der zentralen Öztaler Alpen (Tirol). *Vegetatio*, 8: 93-129.
- 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: 737-746.
- VON ARX, G., EDWARDS, P. J., DIETZ, H. J. (2006): Evidence for Life History Changes in High-Altitude Populations of Three Perennial Herbs. *Ecology*, 87 (3): 665 – 674.
- WALTER, H., LIETH, H. (1960): Klimadiagramm Weltatlas. - Gustav Fischer Verlag, Jena.

WALTHER, G.R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.-M., HOEGH-GULDBERG, O. & BAIRLEIN, F. (2002): Ecological Response to Recent Climate Change. *Nature* (416): 389-395.

WETTER, E. (1918): Oekologie der Felsflora kalkarmer Gesteine. Dissertation, ETH Zürich 1918.

ZAMG, 2011: <http://www.zamg.ac.at/klima/Klimawandel/Aktuelles/2011/2011-02-25.php> Zugriff am 1.3.2011, 13:22h.

www.gloria.ac.at

www.r-project.org

<http://cran.at.r-project.org>

www.geologie.ac.at Zugriff am 27.1.2011, 15:34h.

8. ANHANG

8.1 VERMESSUNG DER FOTOS AM COMPUTER

Im Programm AUTOCAD 2004 wurden für jeden Transekt Skizzen angefertigt (Abb. 45), je eine für 1994, 2004 und 2009. In die für diese Diplomarbeit relevanten Plots (schwarz) wurden die dazugehörigen Fotos platziert. Anschließend konnten die Polsterpflanzen vermessen werden. Beispiele sind in Abb. 46 und Abb. 47 zu sehen.

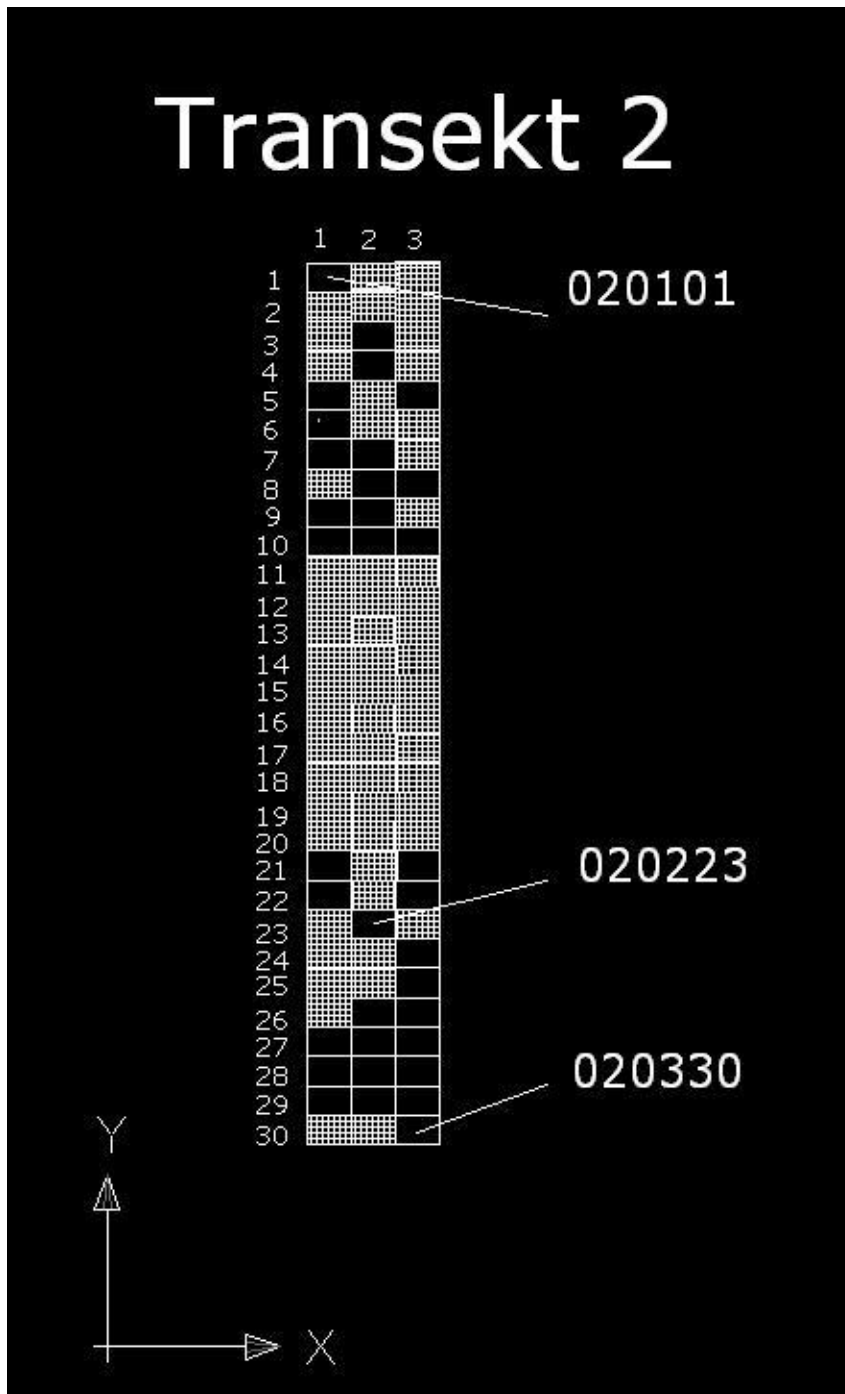


Abb. 45: Skizze aus dem AUTOCAD für Transekt 2. Mit 3 Beispielen für die Benennung der Dauerflächen (rechts). Weiß karierte Plots beinhalten keine Polsterpflanzen, die für diese Diplomarbeit ausgewählt worden sind. In die schwarzen Flächen wurden die Fotos der jeweiligen Plots platziert.

1994



2004



2009



Abb. 46: Beispiel für die Vermessung eines *Saxifraga bryoides* Polsters im Plot 030125. Im Polster sind die zu messenden Durchmesser eingezeichnet, die Werte am Rand sind die Durchmesser in cm. Man beachte beim Größenvergleich die unterschiedlichen Bildausschnitte.

1994



2004



2009

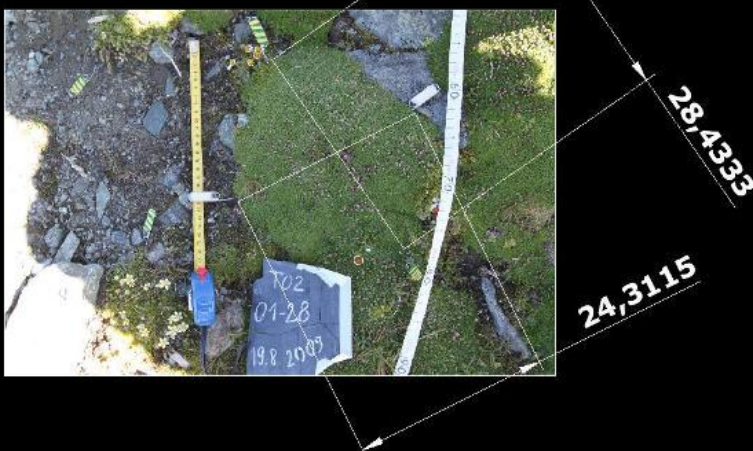


Abb. 47: Beispiel für die Vermessung eines *Silene exscapa* Polsters im Plot 020128. Im Polster sind die zu messenden Durchmesser eingezeichnet, die Werte am Rand sind die Durchmesser in cm. Man beachte beim Größenvergleich die unterschiedlichen Bildausschnitte.

8.2 BEISPIELFOTOS FÜR UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN



Abb. 48: Ausschnitte aus Transekt 7 (links) und Transekt 2 (rechts). Die unterschiedlichen Geländemorphologien, welche das Fotografieren oft erschwert haben, sind hier gut ersichtlich. Bildquelle: GLORIA.

8.3 TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Beispiel für die Namensgebung (SPECICODE = Speciescode) eines untersuchten Individuums. Spalte und Zeile bezeichnen die Position des Plots im Transekt. Die x/y – Koordinaten definieren die Position des Polsters im Plotfoto von 1994.	19
Tab. 2: Hindernisklassen beim Polsterwachstum.	23
Tab. 3: Einteilung der <i>S. bryoides</i> und <i>S. exscapa</i> Individuen in 8 bzw. 10 Größenklassen (GK) basierend auf der Polsterfläche vom Jahr 1994.	24
Tab. 4: Beschädigung und Pflanzengröße: a) Beschädigungsausmaß in 5 Beschädigungsklassen (B0 bis B4) und b) Fläche in 3 Größenklassen (GK1 bis GK3), angegeben in cm ² Polsterfläche. Die Beschädigungsklasse ergibt sich je nach Prozentanteil der abgestorbenen Polsterfläche. Im rechten Teil der Tabelle ist die Anzahl der Individuen der untersuchten Arten je Klasse angegeben.	25
Tab. 5: Einteilung der <i>Silene exscapa</i> und <i>Saxifraga bryoides</i> Polster, deren Durchmesser immer zugenommen hat, in 7 Größenklassen. Basierend auf dem durchschnittlichen Durchmesser vom Jahr 1994 (Anzahl 1994) und dem Jahr 2004 (Anzahl 2004).....	26
Tab. 6: Definition der Höhenrangstufen (AltiRanks).....	28
Tab. 7: Individuenverteilung in den Transekten des Untersuchungsgebietes. Seehöhe und Sektor beziehen sich auf die Transekte. Höhenklasse 1= untere Transekte, Höhenklasse 2= obere Transekte.	29
Tab. 8: Anzahl der Polsterpflanzen, die geschrumpft oder gewachsen sind, betrachtet über die Einzelperioden (Periode 1 und Periode 2) bzw. über die Gesamtperiode (Periode 3).	30
Tab. 9: Matrizen für den Vierfeldertest für die einzelnen Perioden und die Gesamtperiode. Getestet wird, ob sich die beiden Arten <i>Saxifraga bryoides</i> und <i>Silene exscapa</i> in ihrem Wachstumsverhalten voneinander unterscheiden. zugen. = Fläche hat zugenommen, abgen. = Fläche hat abgenommen.	32
Tab. 10: Ergebnisse des Vierfeldertests für die Perioden 1-3. Angegeben sind der Chi-Quadrat-Wert (X-squared), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p-value).	32
Tab. 11: Wachstumsraten in mm/Jahr von <i>Saxifraga bryoides</i> und <i>Silene exscapa</i> Polstern in den Teilperioden (Periode 1: 1994 - 2004 und Periode 2: 2004 - 2009) und der Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009) für die Größenklassen (1 = 0-20mm, 2 = >20-40mm, 3 = >40-60mm, 4 = >60-80mm, 5 = >80-100mm, 6 = >100-120mm, 7 = >120-300mm).....	44

Tab. 12: Vorkommen von Hindernissen bei <i>Silene exscapa</i> und <i>Saxifraga bryoides</i> . f= der Polster stößt an einen Fels, pf= der Polster stößt an eine andere Pflanze, u= der Polster wächst ungehindert, ue= der Polster wächst über einen Stein, st= ein Stein liegt auf dem Polster, sp= der Polster wächst in einer Felsspalte. Angabe in absoluten Zahlen (links) und in Prozent (rechts).....	47
Tab. 13: Ergebnisse des linearen Modells für die Abhängigkeit der Anzahl der Polstergast-Arten von der Seehöhe. p-value=p-Wert, df=Freiheitsgrade.	51
Tab. 14: Ausschnitt aus dem Datensatz „polster“ mit dem das mixed effects model gerechnet wurde. SPECCODE: Code des Individuums. SPEC: 1= <i>Saxifraga bryoides</i> , 2= <i>Silene exscapa</i> , Area: Polsterfläche in cm ²	52
Tab. 15: Ergebnisse des lme aus dem Programm „R“. df= Freiheitsgrade, p- value= p- Wert.....	53
Tab. 16: Die durchschnittliche Genauigkeit der AUTOCAD-Messung von 2009 bezogen auf die Freilandmessung von 2009. Angabe des Fehlers, den 95% der Daten haben. Diam. max = Maximaler Durchmesser 2009, Diam. perp. = darauf rechtwinkliger Durchmesser 2009. Die Ausreißer beziehen sich auf 95% der Daten.	53
Tab. 17: Von Wetter (1918) erstellte Temperaturmessungen im Humus von <i>Silene acaulis</i> und <i>Saxifraga bryoides</i> Polstern vom 17.7.1913 auf der Rotondohütte (2570m). Das Wetter war neblig, zwischen 9h und 11h wechselten Sonne und Schneefall. Die Lufttemperatur wurde in Nordexposition gemessen, die Polsterpflanzen standen ostexponiert.....	57

8.4 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Sofern nicht anders angegeben, stammen die Fotografien von der Autorin.

Abb. 1: Ausschnitt aus der Alpenvereinskarte Blatt 31/1, Stubaier Alpen/ Hochstubai (Maßstab 1:25.000).....	7
Abb. 2: Geologische Übersichtskarte von Österreich. Das Untersuchungsgebiet ist mit einem Viereck eingezeichnet. Nach http://www.geologie.ac.at/ Zugriff am 27.1.2011, 15:34h, leicht verändert.	8
Abb. 3: Der Schrankogel von Süden. Östlich des Berges sind der Schwarzenbergferner sowie im Süden dessen Seitenmoräne von 1850 und der Schwarzenbergsee zu erkennen. Bild aufgenommen am 1.9.2009 aus dem Hubschrauber.	9
Abb. 4: Klimadiagramm für Längenfeld im Ötztal (1179m.ü.A.) aus Walther & Lieth (1960). Das Jahresmittel der Temperatur beträgt 5,5°C, der Jahresniederschlag 736mm.	10
Abb. 5: Das alpin-nivale Ökoton am Schrankogel (gelb markiert). Die Untersuchungsflächen dieser Arbeit befinden sich in den Sektoren Südwesten (SW), Süden (S) und Südosten (SE). Bildquelle: http://www.gloria.ac.at/?a=42&b=56	11
Abb. 6: Stark wachsende Zonen (punktiert) in einem Radialflachpolster (links) und einem Radialvollkugelpolster. Aus Rauh (1939).	12
Abb. 7: Vergleich der Temperaturen eines <i>Silene exscapa</i> Polsters und der Lufttemperatur im Tagesverlauf, gemessen an einem sonnigen Tag in 2300m Höhe in den Alpen. Die Buchstaben markieren die Exposition der Messpunkte. Grau schattiert: Differenz zwischen Polster- und Lufttemperatur. Aus Körner (2003).	13
Abb. 8: <i>Silene acaulis</i> ssp. <i>exscapa</i> . Rechts: <i>Silene acaulis</i> mit starker Pfahlwurzel (W) und austreibenden Wurzelknospen (Wk). Aus Rauh (1939).	14
Abb. 9: Verbreitung von <i>Silene exscapa</i> . Aus: Atlas Florae Europaeae.....	15
Abb. 10: Verbreitung von <i>Silene acaulis</i> s.l. Aus: Meusel, 1965.....	15
Abb. 11: <i>Saxifraga bryoides</i>	16
Abb. 12: Verbreitung von <i>Saxifraga bryoides</i> . Aus: Atlas Florae Europaeae.	17
Abb. 13: Beispiel für eine 1x1m Untersuchungsfläche im Transekt 2. Auf der Tafel sind die Bezeichnung des Plots und das Datum der Aufnahme zu lesen.	20
Abb. 14: Vermessung eines <i>Saxifraga bryoides</i> Polsters mit der Schublehre. Foto: Harald Pauli.....	21
Abb. 15: Beispiele für beschädigte Polsterflächen: <i>Saxifraga bryoides</i> mit 10% Beschädigung (links) und <i>Silene exscapa</i> mit 45% Beschädigung (rechts).	22
Abb. 16: <i>Saxifraga bryoides</i> mit Polstergästen: <i>Silene exscapa</i> , <i>Poa laxa</i> , <i>Ranunculus glacialis</i> , <i>Tanacetum alpinum</i> und <i>Oreochloa disticha</i>	22
Abb. 17: <i>Silene exscapa</i> mit <i>Oreochloa disticha</i> und <i>Primula glutinosa</i> als Polstergäste.	22
Abb. 18: Verteilung der beiden Arten <i>Saxifraga bryoides</i> und <i>Silene exscapa</i> in den Sektoren. Die Breite der Säulen (x-Achse) entspricht dem Prozentanteil der untersuchten Polster im jeweiligen Sektor. Die Höhe einer Säule (y- Achse) entspricht allen Polstern in diesem Sektor, wobei der helle Teil den Anteil an <i>S. exscapa</i> , der dunkle Teil den Anteil an <i>S. bryoides</i> Individuen zeigt.	30

Abb. 19: Wachstumsverhalten der <i>Saxifraga bryoides</i> -Polster in den drei Perioden (Periode 1 = 1994 - 2004, Periode 2 = 2004 - 2009, Periode 3 = 1994 - 2009), n=195.	31
Abb. 20: Wachstumsverhalten der <i>Silene exscapa</i> -Polster in den drei Perioden (Periode 1 = 1994 - 2004, Periode 2 = 2004 - 2009, Periode 3 = 1994 - 2009), n=272.	31
Abb. 21: Wachstumsverhalten der <i>Saxifraga bryoides</i> -Individuen, gruppiert nach Größenklassen (GK) über die Gesamtperiode (1994 - 2009).	33
Abb. 22: Wachstumsverhalten der <i>Silene exscapa</i> -Individuen, gruppiert nach Größenklassen (GK) über die Gesamtperiode (1994 - 2009).	33
Abb. 23: Wachstumsverlauf der <i>Saxifraga bryoides</i> -Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 1 bis 4. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar.	34
Abb. 24: Wachstumsverlauf jener <i>Saxifraga bryoides</i> -Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 5 bis 8. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar. Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen auf der y-Achse.	35
Abb. 25: Wachstumsverlauf jener <i>Silene exscapa</i> -Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 1 bis 6. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar.	36
Abb. 26: Wachstumsverlauf jener <i>Silene exscapa</i> -Individuen (nur Pflanzen deren Fläche in beiden Perioden zugenommen hat wurden berücksichtigt), in den Größenklassen (GK) 7 bis 10. Die rote Linie stellt den durchschnittlichen Wachstumsverlauf in jeder GK dar. Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen auf der y-Achse.	37
Abb. 27: Verteilung der <i>Saxifraga bryoides</i> -Individuen deren Fläche abgenommen hat je Sektor. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 - 2004, n=69; Periode 2: 2004 - 2009, n=51) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009, n=50). Die Summe der drei Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.	38
Abb. 28: Verteilung der <i>Silene exscapa</i> Individuen deren Fläche abgenommen hat je Sektor. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 - 2004, n=20; Periode 2: 2004 - 2009, n=42) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009, n=12). Die Summe der drei Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.	38
Abb. 29: Verteilung der <i>Saxifraga bryoides</i> -Individuen, deren Fläche abgenommen hat, je Höhenklasse (1= untere Transekte, 2= obere Transekte) der Untersuchungsflächen. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 - 2004, n=69; Periode 2: 2004 - 2009, n=51) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009, n=50). Die Summe der beiden Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.	39
Abb. 30: Verteilung der <i>Silene exscapa</i> -Individuen, deren Fläche abgenommen hat, je Höhenklasse (1= untere Transekte, 2= obere Transekte) der Untersuchungsflächen. Dargestellt in Prozent für die Einzelperioden (Periode1: 1994 - 2004, n=20; Periode 2: 2004 - 2009, n=42) und die Gesamtperiode (Periode 3: 1994 - 2009, n=12). Die Summe der beiden Säulen für eine Periode ergeben jeweils 100%.	40
Abb. 31: Beschädigungsanteil der Polsterfläche in Prozent bei <i>Saxifraga bryoides</i> Individuen.	41
Abb. 32: Beschädigungsanteil der Polsterfläche in Prozent bei <i>Silene exscapa</i> Individuen.	41
Abb. 33: Abhängigkeit der Beschädigung von der Polstergröße für <i>Saxifraga bryoides</i> . Größenklassen: GK 1 = 0-20cm ² , GK 2 = 20-170cm ² , GK 3 = >170cm ² ; Beschädigungsklassen: B0 = 0%, B1 = >0-25%, B2 = >25-50%, B3 = >50-75%, B4 = >75-100%.	42
Abb. 34: Abhängigkeit der Beschädigung von der Polstergröße für <i>Silene exscapa</i> . Größenklassen: GK 1 = 0-20cm ² , GK 2 = 20-170cm ² , GK 3 = >170cm ² ; Beschädigungsklassen: B0 = 0%, B1 = >0-25%, B2 = >25-50%, B3 = >50-75%, B4 = >75-100%.	43
Abb. 35: Wachstumskurven für <i>Saxifraga bryoides</i> (links) und <i>Silene exscapa</i> (rechts) für die beiden Teilperioden (oben und Mitte) und die Gesamtperiode (unten); Auf der x-Achse sind die mittleren Polsterdurchmesser pro Größenklasse dargestellt.	45
Abb. 36: Simulierte Alterskurve für <i>Saxifraga bryoides</i> . Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters im Jahre 1994 wurde das Wachstum in 10- (schwarze Quadrate) bzw. 15-jährigen (blaue Rauten) Intervallen verfolgt. Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters von 2004 konnte das Wachstum in einem 5-jährigen Intervall verfolgt werden (grüne Dreiecke).	46
Abb. 37: Simulierte Alterskurve für <i>Silene exscapa</i> . Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters im Jahre 1994 wurde das Wachstum in 10- (schwarze Quadrate) bzw. 15-jährigen (blaue Rauten) Intervallen verfolgt. Basierend auf der Anfangsgröße eines Polsters von 2004 konnte das Wachstum in einem 5-jährigen Intervall verfolgt werden (grüne Dreiecke).	47
Abb. 38: Darstellung der Häufigkeiten von Polstern mit Gästen bzw. Polstern ohne Gäste in Prozent. Die absoluten Zahlen sind in Klammer angegeben.	48
Abb. 39: Prozentueller Anteil der Polstergäste auf <i>Saxifraga bryoides</i> (gelb) und <i>Silene exscapa</i> (blaugrün). Die Gäste sind nach ihren Höhenrangstufen (AltiRanks) klassifiziert. Definition der	

Höhenrangstufen: 1= nival, 2= alpin/subnival, 3= alpin, 4= Baumgrenze/alpin, 5=Baumgrenze, 6= montan verbreitete Pflanzen.....	49
Abb. 40: Häufigkeiten der Polstergäste, die auf den untersuchten Ammenpflanzen <i>Silene exscapa</i> (blaugrün) und <i>Saxifraga bryoides</i> (gelb) gefunden wurden. Die Ziffer neben den Pflanzennamen ist der AltiRank. Definition der Höhenrangstufen: 1= nival, 2= alpin/subnival, 3= alpin, 4= Baumgrenze/alpin, 5=Baumgrenze, 6= montan verbreitete Pflanzen.....	50
Abb. 41: Abhängigkeit der Anzahl von Polstergästen (= Anzahl der Polstergast-Arten pro Ammenpflanze) von der Seehöhe. Die Regressionsgeraden sind aus einem linearen Modell errechnet.....	51
Abb. 42: <i>Saxifraga bryoides</i> . I einjährige Pflanze. II dreijährige Pflanze. Hp=Hauptspross. III randlicher Sproß eines kompakten, noch nicht zur Kriechsproßbildung übergegangenen Polsters. IV Kriechspross mit kurztriebartigen Seitenästen. Aus Rauh (1939).....	55
Abb. 43: Entwicklung eines <i>Silene acaulis</i> Polsters. Die Grenze der Triebperioden 1 und 2 liegt bei x – x. I Sämling zu Beginn des zweiten Jahres. II und III Dreijährige Polster. Hp Primärspross. ak1 und ak2 Achselknospe des 1. und 2. Jahres. W Wurzel. C Narben der Cotyledonen. Hy Hypocotyl. Aus Rauh (1939).....	56
Abb. 44: Beispiele für ein kaum verzerrtes Foto (links) und verzerrte Fotos (mitte und rechts) von Untersuchungsflächen aus dem Jahr 2009.	64
Abb. 45: Skizze aus dem AUTOCAD für Transekt 2. Mit 3 Beispielen für die Benennung der Dauerflächen (rechts). Weiß karierte Plots beinhalten keine Polsterpflanzen, die für diese Diplomarbeit ausgewählt worden sind. In die schwarzen Flächen wurden die Fotos der jeweiligen Plots platziert.	71
Abb. 46: Beispiel für die Vermessung eines <i>Saxifraga bryoides</i> Polsters im Plot 030125. Im Polster sind die zu messenden Durchmesser eingezeichnet, die Werte am Rand sind die Durchmesser in cm. Man beachte beim Größenvergleich die unterschiedlichen Bildausschnitte.	72
Abb. 47: Beispiel für die Vermessung eines <i>Silene exscapa</i> Polsters im Plot 020128. Im Polster sind die zu messenden Durchmesser eingezeichnet, die Werte am Rand sind die Durchmesser in cm. Man beachte beim Größenvergleich die unterschiedlichen Bildausschnitte.	73
Abb. 48: Ausschnitte aus Transekt 7 (links) und Transekt 2 (rechts). Die unterschiedlichen Geländemorphologien, welche das Fotografieren oft erschwert haben, sind hier gut ersichtlich. Bildquelle: GLORIA.....	74

DANKSAGUNG

Allen voran möchte ich mich bei Prof. Grabherr für die Überlassung des interessanten Themas und die kompetente Betreuung herzlichst bedanken. Dr. Harald Pauli und Dr. Michael Gottfried danke ich vielmals für die fachliche Unterstützung während der Diplomarbeit, die immer wieder viel Zeit in Anspruch genommen hat. Vielen Dank dem gesamten GLORIA- Team unter der Leitung von Prof. Grabherr für die freund(schaft)liche und lustige Atmosphäre am Department!

Mein besonderer Dank gilt der lieben Reingard, in der ich nicht nur die beste Kollegin während der Freilandarbeit und der folgenden Zeit der Diplomarbeit, sondern auch eine Freundin gefunden habe, die mir sehr ans Herz gewachsen ist. Meinem lieben Andi danke ich neben fachlichen Anregungen noch für vieles mehr.

Weiterer Dank gilt

- dem gesamten Schrankogel- Team von 2009, allen voran den Mitgliedern von GLORIA, die die Freilandarbeit am Schrankogel nicht nur ermöglicht, sondern auch wesentlich verschönert haben: Sonya Laimer, Christian Klettner, Michi Gottfried und Harald Pauli, sowie Andreas Beiser, Markus Gottfried, Hermann Stockinger und Ruth Töchterle, bei der ich mich auch für fachliches Zu-Rate-Ziehen bedanke.
- dem Team der Amberger Hütte unter der Führung von Serafin und Lydia Gstrein.
- dem immer hilfsbereiten Martin Prinz für unzählige Computerproblem- Behebungen sowie Christian Klettner für selbiges und die Erstellung der Access- Datenbank.
- meinen StudienkollegInnen und FreundInnen für schöne gemeinsame Zeiten, Unterstützung und Ablenkung: Veronika Fontana, Tom Gassner, Gerhard Laister, Andrea Lamprecht, Theresia Markut, Hans Metzler, Christoph Milek, Reingard Prohaska, Christiana Staudinger, Klaus Steinbauer, Michael Suen und Christian Winsauer, sowie Ninja Konrad, Martin & Andreas Hasenöhr, Niko Mayr und besonders Matthias Nagl. Für die AUTOCAD Einführung bedanke ich mich bei Stefan Nagl.

Einen großen Dank möchte ich auch meiner Familie ausdrücken. Meinen Eltern, die meine Liebe zur Natur und den Bergen geweckt haben und mich während meines Studiums nicht nur finanziell unterstützt haben, sondern mich auch immer positiv motiviert haben. Meinem Bruder Stefan vor allem für unsere ersten gemeinsamen Jahre in Wien, und meinen Großeltern für jegliche Unterstützung und schöne Zeiten. Der lieben Ninja danke ich einfach für alles!

Zu guter Letzt bedanke ich mich für diese fünf wunderbaren Wochen am Schrankogel mit seiner imposanten Landschaft. Dafür, dass ich xund von all meinen Bergtouren wieder zurückgekommen bin und natürlich bei meinen geliebten Freunden *Saxifraga bryoides* und *Silene exscapa* für die innige Zusammenarbeit!



Ein Schweif in die Vergangenheit der Polsterpflänzchen...

Volkstümliche Namen der Gattungen Saxifraga und Silene

Saxifraga bryoides



Aus Jirasek (1806):

Steinmoos, blaues... der blaue und zweiblütige Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia* et *biflora*)... in der Fusch im Pinzgau.

Steinmoos, weisses... der meergrüne Steinbrech (*Saxifraga caesia* L.)... in der Fusch im Pinzgau.

Silene exscapa



Aus Hegi (1922):

Deuflspeitsch'n, Teufelspeitsche (Niederösterreich, Steiermark), Miesveigl, Miesnagl (Salzburg), Steinkraut (Berner - Oberland), Alpapolster (St. Gallen), Zigeunerkraut (Osttirol, Kärnten), Polsternagerln (Oberösterreich).

Aus Jirasek (1806):

Miesveigl und Miesnagl... die Alpennelke (*Dianthus alpinus* L.) und die Zwerg - Silene (*Silene acaulis* L.)... im Thale Fusch, im Pinzgau.

Abbildungen aus Correvon H. (1911): The Alpine Flora.

Lebenslauf Sophie Nießner

Persönliche Informationen

- Geburtsdatum: 07.10.1984
- Geburtsort: Hallein bei Salzburg
- Eltern: Wolfgang Nießner, Andrea Nießner

Ausbildung

1991 – 1995	Volksschule Josefiaw	Salzburg
1995 – 1998	Bundesgymnasium Salzburg-Nonntal	Salzburg
1998 – 2004	Realgymnasium Akademiestraße	Salzburg

Seit 2004 Studium der Biologie an der Universität Wien
seit 2007 Studienzweig Ökologie

Studienreisen nach Ecuador und Galapagos, Thailand, Kroatien, Jordanien, Slowenien.

Weitere Tätigkeiten

- 2007** Mitarbeit bei Biotopkartierung Salzburg
- 2009** Ausbildung zur Nationalparkbetreuerin im NP Thayatal
- seit 2009** Tätigkeit als Nationalparkbetreuerin im NP Thayatal
- 2009** Datenaufnahme für die Diplomarbeit am Schrankogel in Tirol
- 2009** Mitautorin in: Hülber et al. (2009): Ecological segregation drives fine-scale cytotype distribution of *Senecio carniolicus* in the Eastern Alps. *Preslia* 81: 309–319
- 2009 – 2011** Tutorien an der Universität Wien für die LV „Diversität und Systematik der höheren Pflanzen“ bei Prof. König, Prof. Schrott-Ehrendorfer und Prof. Schneeweis
- 2010** Feldarbeit in Osttirol für das FWF Projekt „Apomixis & Evolution of Cytological Complex Populations of *Potentilla pusilla*“
- 2010** Feldarbeit für das FWF Projekt „Entstehung und Erhalt von Cytotypenvariationen in Populationen von *Senecio carniolicus*“
- 2010** Auslesen von Temperaturdaten am Schrankogel für GLORIA
- 2011** Tutorin für die LV „Projektpraktikum Alpen“ bei Prof. Grabherr