

***Biscutella laevigata* L. - ein postglaziales botanisches Relikt in Mitteleuropa: Populationsstruktur und Interaktionen**

Maria FAULHABER und Monika PARTZSCH

9 Abbildungen und 2 Tabellen

Abstract

FAULHABER, M., PARTZSCH, M.: *Biscutella laevigata* L. - a post-glacial botanical relict in Central Germany: population structure and plant-plant interaction. - *Hercynia N. F.* 51 (2018): 58 – 79.

The xerothermic grasslands in the landscape of porphyry outcrops were formed under sheep grazing over centuries and developed a high biodiversity. In 1990 the traditional land use has been abandoned due to economical reasons with the consequences of expansion of grass species such as *Festuca rupicola* and the loss of dicotyledonous species. The glacial relict *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* is an indicator of historical old grasslands and strongly endangered and protected by law. In order to answer the following questions 1) how vital are the remaining populations of the dicot in the landscape of porphyry outcrops near Halle (Saxony-Anhalt) and is there a correlation between fitness and population size and 2) how endangered is the dicot by increasing grass density. We investigated 1) the vitality and fitness of the populations in the field and 2) the behavior of the dicot in stands with different densities of the grass *F. rupicola*. We calculated the population sizes of the dicot and measured a set of vegetative (above-ground biomass, number and length of leaves, SLA, extent and height of rosettes) and generative traits (generative biomass, number and length of flower-/fruit stems, number and weight of diaspores, seed germination). In a garden experiment, where a set of environmental factors keeps constant, the plant-plant interactions between *B. laevigata* and *F. rupicola* were investigated. In order to determine interspecific and intraspecific interactions, we conducted monocultures (B9, F9) and mixtures (B3F6, B6F3) each with nine individuals per pot and 12 replications.

Five of the populations of *B. laevigata* still documented in 1993 and 2003 were also found in 2013, but two populations were lost due to grass expansion. Generally, population sizes were very low, between 11 und 152 individuals. There was a significant negative correlation between population size and biomass of the surrounding vegetation. This shows that the species develops poorly in habitats with closed vegetation cover. Leaf length, SLA and height of rosettes showed positive relationship, but number and length of flower-/fruit stem showed negative relationship with population size, but without significance. Seed size and seed weight showed a positive trend with population size. Number of fruits and germination did not show some relationship.

The interaction experiment showed that performance of *B. laevigata* ssp. *gracilis* is reduced under interspecific competition with *F. rupicola*, and *F. rupicola* performed worst under intraspecific competition. In order to counteract the expansion of highly competitive grasses like *F. rupicola* and the decline of rare endangered species like *B. laevigata* ssp. *gracilis*, the traditional grazing should be reintroduced. Moreover, through trampling and biomass removal, herbivores create gaps that serve as important regeneration niches for other plant species and positively promote biodiversity.

Key words: fitness, field investigation, garden experiment, growth parameters, interspecific competition, intraspecific competition

1 Einleitung

Während der quartären Vereisungen konnten alpine Pflanzen nur in zerstreuten, eisfreien Gebieten innerhalb der Alpen oder an deren Peripherie überdauern. *Biscutella laevigata* L. (Glattes Brillenschötchen, Brassicaceae) zog sich auf Gebiete südlich der Alpen zurück und konnte von hier aus nach Rückzug der Gletscher die Alpen und nördlich gelegene Gebiete wiederbesiedeln (MANTON 1934, PARISOD 2008). Die Art gilt als Glazialrelikt, das im Zuge der Wiederbewaldung Europas infolge von Klimaverbesserungen auf Refugialstandorte auch außerhalb der Alpen zurück gedrängt wurde (DANNEMANN 2000). Heute kommt sie hauptsächlich im alpinen bis subalpinen Raum vor, besiedelt aber auch im Tiefland Felsfluren und Xerothermrassen (JÄGER 2017). Die Art gilt als Zeiger historisch alter Xerothermrassen, die sich lange Zeit unter relativ ungestörten, konstanten Bedingungen entwickeln und erhalten konnte (POTT 1996, PARTZSCH 2001, RICHTER et al. 2003). Insgesamt unterscheidet man sechs Unterarten, wobei ssp. *gracilis* im Saaletal zwischen Halle (Saale) und Rothenburg und im Elbtal bei Magdeburg vorkommt. Mittlerweile ist die Art sehr selten geworden, wird in der Roten Liste des Landes Sachsen-Anhalt mit der Kategorie 2 (stark gefährdet) geführt und ist durch die Bundesartenschutzverordnung als besonders geschützt eingestuft (FRANK et al. 2004).

Die Populationsstruktur von Pflanzen umfasst eine Vielzahl von Merkmalen, wie Populationsgröße, Populationsdichte, Wachstumsrate, Altersstruktur, Mortalität, Ausbreitungsstruktur, Fitness und genetische Struktur (HARPER 1977). Beeinflusst wird die Populationsstruktur sowohl von biotischen als auch abiotischen Faktoren und wird durch räumliche und zeitliche Veränderungen der Individuen innerhalb der Populationen geregelt (WATKINSON 1997, SILVERTOWN & CHARLESWORTH 2001). Umweltveränderungen, wie Landschaftsfragmentierung, Klimaveränderung oder Eutrophierung können Vegetationsstrukturen verändern, da es zu Bestandsrückgängen von Arten bzw. zur Auslöschung ganzer Populationen kommen kann (QUINN & HARRISON 1988, HOUGHTON et al. 1996, DIEKMANN & FALKENGREN-GRERUP 2002). Zudem führt auch veränderte Landnutzung zu Veränderungen innerhalb von Pflanzengesellschaften und zu veränderten Ausbreitungsmustern der Arten (DONOHUE et al. 2000, PARTZSCH 2000, 2001, RÖMERMANN et al. 2005). Fortschreitende Verringerung der Populationsgröße kann sich negativ auf die genetische Diversität der Pflanzenarten auswirken und damit einhergehende Inzuchtdepressionen bzw. genetische Drift führen zu einer verringerten Fitness (OOSTERMEIJER 1996, DANNEMANN 2000, HENSEN & WESCHE 2006, BECKER 2013). Generell wird die Fitness einer Art stark vom Etablierungserfolg bestimmt, der durch Keimung, Wachstum und Überleben der verschiedenen Entwicklungsstadien der Arten bestimmt wird (JONGEJANS et al. 2006, JORRITSMAN-WIENK et al. 2007, PARTZSCH et al. 2018).

Das Zusammenleben von Pflanzen innerhalb einer Gemeinschaft bzw. Gesellschaft wird durch Interaktionen bestimmt (BROOKER et al. 2008), die wichtige Schlüsselfaktoren für die Zusammensetzung, Produktivität, Struktur und Dynamik von Pflanzengesellschaften sind (FOWLER 1986, CALLAWAY 1995, 2007). Diese können sowohl positiv („facilitation“) als auch negativ („competition“) und zwischen den Individuen einer Art (intraspezifisch) bzw. den Individuen verschiedener Arten (interspezifisch) stattfinden. Diese vielfältigen Interaktionen zwischen den Pflanzen werden von den Umweltbedingungen und den Eigenschaften der Arten beeinflusst (CALLAWAY & WALKER 1997, HOLMGREN et al. 1997). Dabei ist das generative Wachstum in Bezug auf die Fertilität und damit auf die Fitness der Arten ein viel sensitiverer Indikator für deren Vitalität als die vegetative Biomasseproduktion (AARSSSEN & KEOGH 2002, FRECKLETON et al. 2009). Pflanzen, die einen positiven Effekt auf ihre Nachbarn ausüben, werden als „nurse plants“ bezeichnet (FRANCO & NOBEL 1988). Sie fördern die koexistierenden Arten, indem sie Umweltbedingungen positiv beeinflussen und zum Beispiel Schutz vor Herbivoren und extremen Temperaturschwankungen bieten, Bodeneigenschaften verbessern und für höhere Luftfeuchtigkeit sorgen (BROOKER et al. 2008). Zwischen den Arten existieren aber auch negative Nachbarschaftseffekte, da die verfügbaren Ressourcen nur begrenzt vorliegen und Konkurrenz um Bodennährstoffe, Wasser, Licht, durchwurzelbares Erdreich, Bestäuber usw. stattfindet (TRINDER et al. 2013, ASCHEHOUG et al. 2016). Durch Landnutzungsänderungen können die pflanzlichen Interaktionen und das Überleben von Populationen negativ beeinflusst werden (DONOHUE et al. (2000). Vor allem der Wegfall der traditionellen Beweidung führt zu einer Ab-

nahme der Biodiversität (BALMER & ERHARDT 2000, POSCHOLD & WALLIS DE VRIES 2002, MARIOTTE et al. 2013) als eine Folge der zunehmenden Dominanz von Gräsern, wie es aus verschiedenen Gebieten Europas beschrieben wurde: *Arrhenatherum elatius* (BAIER & TISCHEW 2004, DOSTÁLEK & FRANTÍK 2008), *Brachypodium pinnatum* (WILLEMS 1987, BOBBINK et al. 1998), *Bromus erectus* (BORNKAMM 2006), *Festuca* ssp. (PARTZSCH 2000, 2001, KLIMASCHEWSKI et al. 2006), *Poa angustifolia* (PARTZSCH 2000, WESCHE et al. 2005) oder *Stipa* ssp. (ENYEDI et al. 2008). So gelten Gräser als konkurrenzstark im Vergleich zu niedrigwüchsigen, dikotylen Arten, die leicht in ihrer Entwicklung gehemmt und verdrängt werden können (GOLDBERG et al. 2001, DEL-VAL & CRAWLEY 2005).

Die Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale) ist ein interessantes Untersuchungsgebiet, da sich die vorkommenden Xerothermrassen unter jahrhundertelanger extensive Beweidung, meist durch Schafe, entwickelt haben (RICHTER et al. 2003) und sich durch eine hohe Biodiversität auszeichnen. Aus ökonomischen Gründen wurde diese Form der traditionellen Landnutzung mit der politischen Wende um 1990 bis heute fast vollständig aufgegeben (PARTZSCH 2007). Als Folge finden sich anstelle ehemals artenreicher Gesellschaften artenarme Bestände, die von Gräsern wie *Festuca rupicola* dominiert werden (PARTZSCH 2000, 2001, 2018). Die Reliktart *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* gehört zu den mittlerweile im Mitteldeutschen Trockengebiet seltenen und im Rückgang befindlichen Xerothermrassenarten. Sie wurde deshalb als Studienobjekt ausgewählt, um folgende Fragen zu klären:

- 1) Welche Populationsstruktur besitzen die Vorkommen von *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* in der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale) und gibt es einen Zusammenhang zwischen Populationsgröße und Umgebungsvegetation?
- 2) Wie reagiert *B. laevigata* ssp. *gracilis* auf die sich expansiv ausbreitende Grasart *Festuca rupicola*?

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen an *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* fanden in der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale) statt, die zum Mitteldeutschen Trockengebiet gehört. Die Landschaft liegt im Regenschatten des Harzes und ist durch kontinental getöntes Klima gekennzeichnet. Der mittlere Jahresniederschlag liegt zwischen 450 und 500 mm und die mittlere Jahrestemperatur bei 9,2 °C. Das Untersuchungsgebiet gehört zu den trockensten Regionen Deutschlands (DÖRING 2004).

Durch glaziale und periglaziale Aktivitäten sowie den erosiven Einfluss der Saale wurde die Geomorphologie des Gebietes geprägt. Der als Grundgestein vorherrschende saure Porphyr ist größtenteils von basischem Löss bedeckt. Die Löss-Ablagerungen entwickelten sich zu fruchtbaren Böden im Umfeld der Porphyrkuppen, die durch Ackerbau bis heute intensiv genutzt werden. An einigen Stellen ist der Porphyr allerdings erodiert, wodurch isolierte Kuppen unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Entwicklungszeiten entstanden sind. Die Porphyrkuppen wurden seit alters her extensiv als Weideflächen für Schafe genutzt (RICHTER et al. 2003). Heute ist diese Form der traditionellen Landnutzung nahezu vollständig aus ökonomischen Gründen aufgegeben worden (PARTZSCH 2000, 2007).

Mit zunehmender Flächengröße und höherem Alter der Porphyrkuppen nimmt die Artenvielfalt auf ihnen deutlich zu (PARTZSCH 2001). Darunter ist eine Vielzahl von Arten, die in der Roten Liste von Sachsen-Anhalt als im Rückgang befindlich, gefährdet oder stark gefährdet ausgewiesen sind und/oder unter gesetzlichem Schutz stehen (FRANK et al. 2004).

2.2 Studienobjekte

Biscutella laevigata ssp. *gracilis* MACH.-LAUR. (Glattes Brillenschötchen, Brassicaceae) ist ein dikotyler, sommergrüner, ausdauernder Hemikryptophyt (Abb. 1). Sie bildet Halbrosetten, erreicht eine Wuchshöhe von 15 bis 30 cm und blüht hellgelb von Mai bis Juni. Die Art ist selbstinkompatibel und zur vegetativen

Vermehrung befähigt. In den brillenförmigen Spaltfrüchten (Schötchen) werden jeweils 4 Samen gebildet, die ausgestreut und durch den Wind ausgebreitet werden. Die lang gestielten, lanzettlichen Blätter sind behaart und relativ derb (JÄGER 2017). Nach DANNEMANN (2000) tritt die Art vorwiegend im Thymo-Festucetum cinerea Mahn 1959 auf, kann aber auch auf kontinentale Trockenrasen übergehen. PARTZSCH & KRUMBIEGEL (1996) fanden die Art auch im Festuco valesiacae-Stipetum capillatae (Libb. 1931) Mahn 1959 emend., lückigen Beständen des Festuco rupicolae-Brachypodietum pinnati Mahn 1959 emend. und im Filipendulo-Helictotrichetum pratensis Mahn 1959.

Festuca rupicola HEUFF. (Furchen-Schwengel, Poaceae) ist eine sommergrüne, ausdauernde Grasart. Sie bildet kompakte Horste, erreicht Wuchshöhen von bis zu 80 cm und blüht von Mai bis Juli (JÄGER 2017). *F. rupicola* ist in der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale) weit verbreitet. In den letzten 30 Jahren hat sich die Art stark ausgebreitet und dominiert weite Bereiche der Xerothermvegetation, unter anderem als Ergebnis der veränderten Landnutzung durch Wegfall der Beweidung (PARTZSCH 2000, 2001, 2011).



Abb. 1 *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* (Foto: M. Schachtschabel 2011).

Fig. 1 *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis*

2.3 Untersuchungen zur Populationsstruktur

Ältere Vegetationsaufnahmen aus den 1990er Jahren (PARTZSCH & KRUMBIEGEL 1996) zeigten, dass auf vier Porphyrkuppen in der Nähe von Lettin und Brachwitz Bestände von *B. laevigata* ssp. *gracilis* vorkamen. Diese vier Kuppen (III/9, IV/5, IV/22, IV/29) sowie weitere benachbarte Kuppen wurden auf aktuelle Vorkommen untersucht. Auf den Kuppen III/9 und IV/5 waren jeweils zwei Teilpopulationen vorhanden, welche aufgrund ihrer räumlichen Trennung als getrennte Populationen aufgenommen wurden. Außerdem wurde von RICHTER et al. (2003) eine kleine Population bei Mücheln/Wettin gefunden.

Die fünf verbliebenen Populationen wurden hinsichtlich ihrer Habitatbedingungen, der Populationsgröße, des Wuchsverhaltens und der Fitness der Art im Jahr 2011 untersucht (Tab. 1). In 4 x 4 m-Plots wurden Vegetationsaufnahmen mit der LONDO-Skala zur Bestimmung der Pflanzengesellschaft nach SCHUBERT et al. (1995) erhoben, der Deckungsgrad der Schichten und die mittlere sowie maximale Wuchshöhe der Umgebungsvegetation von *B. laevigata* erfasst. Die Produktivität der Pflanzengesellschaft wurde durch randomisierte Entnahme von fünf Biomasseproben bestimmt, die nach acht Stunden Trocknung bei 80 °C ausgewogen wurden.

Die Erfassung der artspezifischen Merkmale der *B. laevigata*-Individuen im Freiland erfolgte im Juni 2011. Soweit vorhanden, wurden 20 Individuen (als gut abgrenzbare Rosetten) pro Population randomisiert ausgewählt und die Höhe sowie Ausdehnung der Rosette, die Blattanzahl, das längste Blatt, die Anzahl, die Länge und die Verzweigungen der Blüten- bzw. Fruchtstände sowie die Anzahl der Früchte pro Fruchtstand bestimmt. Um die spezifische Blattfläche (SLA) zu ermitteln, wurde jeweils das größte Blatt pro Individuum geerntet, gescannt und nachfolgend bei 80 °C über acht Stunden getrocknet und ausgewogen. Für die Erfassung der Diasporenmerkmale wurden, wenn vorhanden, die Samen von 20 Fruchtständen pro Population geerntet und deren Gewicht und Größe (Länge, Breite, Fläche) mit dem Programm WinSeedle bestimmt.

2.4 Untersuchungen zu den pflanzlichen Interaktionen

Im Sommer 2012 wurde ein Freilandversuch im Botanischen Garten Halle angesetzt, um die pflanzlichen Interaktionen zwischen *B. laevigata* ssp. *gracilis* und *F. rupicola* zu untersuchen. Die Diasporen der verschiedenen Populationen stammten aus dem Vorjahr und wurden für den experimentellen Ansatz gemischt. Dafür wurden Keimpflanzen beider Arten zeitgleich im Keimschrank bei 20 / 10 °C angezogen, bis sich die Radikula stabil ausgebildet hatte. Anschließend wurden die Keimlinge in Mitscherlich-Gefäße mit einem Erde-Sand-Gemisch im Verhältnis 3:1 gesetzt. Pro Topf wurden jeweils neun Individuen der beiden Arten *B. laevigata* (B) und *F. rupicola* (F) ausgebracht. Die unterschiedlichen Ansätze bestanden aus Monokulturen von *B. laevigata* (B9) und *F. rupicola* (F9) sowie Mischkulturen der beiden Arten (B6F3, B3F6). Die Arten mit geringerer Dichte wurden diagonal in den Topf gepflanzt. Es wurden pro Ansatz zwölf Wiederholungen angelegt, so dass insgesamt 48 Töpfe auf der Versuchsfläche aufgestellt wurden. Zum Schutz der Keimlinge vor starkem Regen und Hitze wurden die Töpfe, bis zur erfolgreichen Etablierung, mit Glasplatten überdacht.

Im Sommer 2013 erfolgte die Aufnahme der Wachstumsparameter von *B. laevigata*, wie Höhe der Rosette, maximale Ausdehnung der Rosette, Anzahl der Blätter, Anzahl der Blütenstände, Höhe der Blütenstände, Verzweigungen der Blütenstände sowie Anzahl der Blüten und Früchte. Außerdem wurden die Diasporen abgeerntet, um Größe und Gewicht der Samen zu bestimmen. Für *F. rupicola* wurden die Wuchshöhe anhand des längsten Blattes sowie die Blattanzahl bestimmt. Für beide Arten wurde die spezifische Blattfläche (SLA) ermittelt.

2.5 Untersuchungen zur Keimungsbiologie

Das Keimverhalten von *B. laevigata* ssp. *gracilis* wurde im Keimschrank bei einem Temperaturverhältnis von 20 / 10 °C und einem Rhythmus von 12 h Licht / 12 h Dunkelheit untersucht. Dazu wurden jeweils 30 Samen auf mit destilliertem Wasser getränktes Filterpapier in einer Glaspetrischale mit Wasserre-

reservoir ausgelegt und dieses bei Bedarf aufgefüllt. Keimansätze erfolgten für die Diasporen, die in den Populationen in Lettin und Brachwitz geerntet worden waren sowie für die geernteten Diasporen des Interaktionsversuches der Ansätze B9, B6F3 und B3F6. Je Ansatz gab es sechs bzw. fünf Wiederholungen, je nachdem, wie viele Samen zur Verfügung standen. Die Petrischalen wurden regelmäßig kontrolliert und sobald die Radikula sichtbar war, wurden die Samen entfernt. Die Beobachtungsdauer des Versuchs betrug 45 Tage und zum Abschluss wurden die nicht gekeimten Samen auf ihre Lebensfähigkeit überprüft (Konsistenz der Samen).

2.6 Datenanalyse

Je Population wurden die vegetativen und generativen Pflanzenmerkmale von jeweils 20 randomisiert ausgewählten Individuen bestimmt und die Mittelwerte, Standardabweichungen und Standardfehler berechnet sowie für die grafischen Darstellungen verwendet. Die Normalverteilung der aufgenommenen Daten wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Anschließend konnten einfaktorielle Varianzanalysen (ANOVA) und post-hoc Tukey-Tests angewendet werden, um die Ergebnisse auf signifikante Unterschiede zu prüfen. Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt. Um die Korrelationen zwischen den verschiedenen Pflanzenmerkmalen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* und der Populationsgröße zu prüfen, wurden die Pearson-Korrelationskoeffizienten berechnet und auf Signifikanz getestet. Dafür wurden die jeweiligen Mittelwerte der einzelnen Wachstumsparameter für die Populationen genutzt. Die Datenaufbereitung erfolgte mit Microsoft Excel 2010 und für die statistische Auswertung wurde das Programm WinSTAT 2007 verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Populationsstruktur

3.1.1 Populationsgröße

In Jahr 2011 konnten nur noch fünf Populationen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* auf drei Kuppen in der Porphyrkuppenlandschaft gefunden werden. Eine Population war mit 11 Individuen sehr klein und drei Populationen mit 48, 51 bzw. 67 Individuen mittelgroß. Die größte Population bestand aus 152 Individuen. Auf der Kuppe IV/22 bei Lettin war die Population von *B. laevigata* verschwunden. Dies gilt ebenso für eine kleine Population in Mücheln bei Wettin (RICHTER et al. 2003).

Tab. 1 Vorkommen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* zwischen 1992 und 1995 (PARTZSCH & KRUMBIEGEL 1996) und 2003 (RICHTER et al. (2003) sowie die Vorkommen und die Populationsgrößen von 2013 (SCHACHTSCHABEL 2013).

Table 1 Locations of *B. laevigata* ssp. *gracilis* between 1992 and 1995 (PARTZSCH & KRUMBIEGEL 1996) and 2003 (RICHTER et al. (2003) and the locations and population size of 2013 (SCHACHTSCHABEL 2013).

Gebiet	Kuppen	Populationsgröße 2013	Koordinaten
Brachwitz	III/9 N	11	N51° 32.839 E11° 53.004
	III/9 SO	67	N51° 32.816 E11° 53.018
Lettin	IV/5-1	152	N51° 31.692 E11° 53.392
	IV/5-2	48	N51° 31.688 E11° 53.420
	IV/22	-	N51° 31.115 E11° 53.243
	IV/29	51	N51° 31.532 E11° 53.261
Wettin	Mücheln	-	N51° 34.447 E 11° 49.401

3.1.2 Habitateigenschaften

Die beiden größten Populationen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* waren in den lückigen Beständen des Thymo-Festucetum cinereae Mahn 1959, die mittlere in einem etwas dichteren Festuco valesiicae-Stipetum capillatae (Libb. 1931) Mahn 1959 emend. und die beiden kleinsten Populationen im Festuco rupicola-Brachypodietum pinnati Mahn 1959 emend. zu finden (Tab 2., im Anhang).

Die mittlere oberirdische Biomasse der Umgebungsvegetation zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Populationen (Abb. 2). In der kleinsten Population (III/9 N) war sie am größten und in der größten Population (IV/5-1) signifikant am kleinsten. Es ergab sich eine signifikant negative Korrelation zwischen der Biomasse der Umgebungsvegetation und der Populationsgröße von *B. laevigata* ($r = -0,89$, $P = 0,021$).

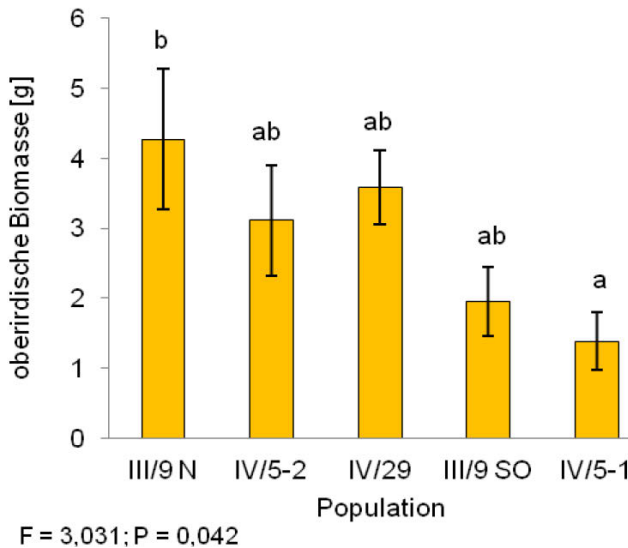


Abb. 2 Oberirdische Biomasse der Umgebungsvegetation der *B. laevigata*-Populationen in den verschiedenen Populationen (geordnet nach steigender Populationsgröße; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 2 Above-ground biomass of the surrounding vegetation of *B. laevigata* in the different populations (ordered by increasing population size; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

3.1.3 Vegetative Merkmale von *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis*

Die mittlere Blattanzahl pro Individuum war signifikant am höchsten in der kleinsten Population, aber am niedrigsten in einer mittelgroßen Population (Abb. 3a). Es gab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Blattanzahl und der Populationsgröße ($r = 0,290$, $P = 0,318$).

Die signifikant längsten Blätter bildete *B. laevigata* in einer mittelgroßen Population, die kürzesten Blätter wurden in der größten Population gemessen (Abb. 3b). Es lag eine positive Beziehung zwischen der Länge der Blätter und der Populationsgröße vor ($r = 0,562$, $P = 0,162$). Sie war aber nicht signifikant.

Die spezifische Blattfläche (SLA, specific leaf area) war signifikant am höchsten in den beiden Populationen auf Kuppe III/9 und am größten auf der Kuppe IV/5 (Abb. 3c). Die SLA zeigte einen negativen Trend mit steigender Populationsgröße von *B. laevigata* ($r = 0,568$, $P = 0,159$).

Die Ausdehnung der Rosette wies keinen signifikanten Unterschied zwischen den Populationen auf und korrelierte nicht mit der Populationsgröße ($r = -0,201$, $P = 0,197$). Die Höhe der Rosetten wies signifikante Unterschiede zwischen den Populationen mit den niedrigsten Werten in der größten Population auf (Abb. 3d). Es lag eine negative Beziehung zwischen der Höhe der Rosetten und der Populationsgröße vor, die allerdings nicht signifikant war ($r = -0,558$, $P = 0,164$).

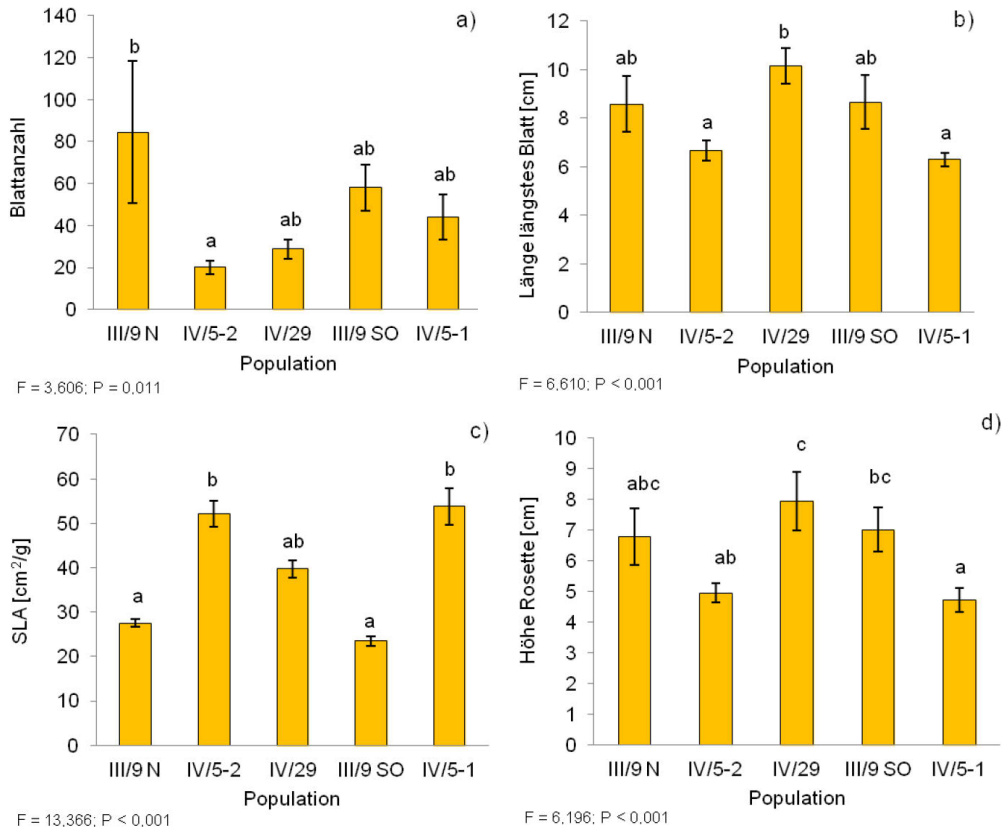


Abb. 3 Blattanzahl (a), Länge des längsten Blattes (b), SLA (c) und Höhe der Rosetten (d) von *B. laevigata*-Individuen in den Populationen unterschiedlicher Größe (geordnet nach steigender Populationsgröße; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 3 Number of leaves (a), leaf length (b), SLA (c) and height of rosettes of *B. laevigata* individuals in the different populations (ordered by increasing population size; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

3.1.4 Generative Merkmale von *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis*

Die Anzahl der Fruchtsände pro *Biscutella*-Individuum war signifikant am höchsten in den beiden Populationen auf der Kuppe III/9 und am kleinsten in einer Population auf Kuppe IV/5 (Abb. 4a). Die Anzahl der Fruchtsände wies einen negativen Trend zur Populationsgröße auf ($r = -0,302$, $P = 0,310$).

Die Anzahl der Verzweigungen der Fruchtsände zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Populationen (Abb. 4b). Der höchste Wert war in der kleinsten Population zu finden. Es lag eine negative Beziehung mit der Populationsgröße vor ($r = -0,524$, $P = 0,182$).

Die Länge der längsten Fruchtstände wies signifikante Unterschiede zwischen den Populationen auf (Abb. 4c). Es lag eine negative Beziehung mit der Populationsgröße vor ($r = -0,577$, $P = 0,154$).

Die Anzahl der Früchte ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Populationen (Abb. 4d). Der Korrelationskoeffizient lag bei $-0,037$ ($P = 0,476$).

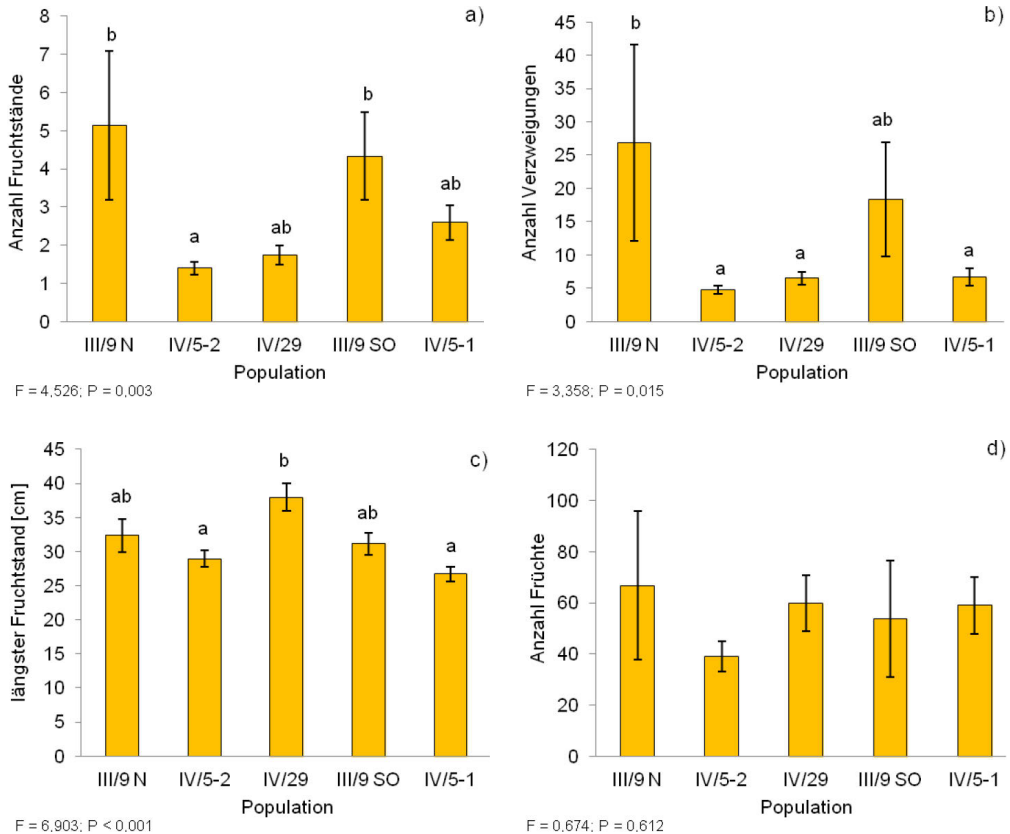


Abb. 4 Anzahl der Fruchtstände (a), Anzahl der Verzweigung der Fruchtstände (b), Länge des längsten Fruchtstandes (c) und Anzahl der Früchte je Individuum (d) von *B. laevigata* ssp. *gracilis* in den verschiedenen Populationen (geordnet nach der Populationsgröße; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 4 Number of fruit stems (a), number of branches of fruit stems (b), length of longest fruits stem (c) and number of fruits per individual of *B. laevigata* in the different populations (ordered by increasing population size; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

Die mittlere Samenfläche lag zwischen $0,040 \text{ cm}^2$ und $0,054 \text{ cm}^2$ und das mittlere Samengewicht zwischen $1,24 \text{ mg}$ und $2,14 \text{ mg}$. Beide Parameter zeigten einen positiven Zusammenhang mit der Populationsgröße (Samenfläche: $r = 0,471$, $P = 0,211$; Samengewicht: $r = 0,465$, $P = 0,215$), allerdings waren die Beziehungen nicht signifikant (Abb. 5a, b). Die prozentuale Endkeimung (Abb. 5 c) variierte sehr stark und lag zwischen $8,0 \%$ und $88,3 \%$ (Abb. 5c). Dabei keimten die beiden Populationen auf der Kuppe III/9 signifikant am schlechtesten. Eine signifikante Korrelation mit der Populationsgröße war nicht feststellbar ($r = 0,218$, $P = 0,362$).

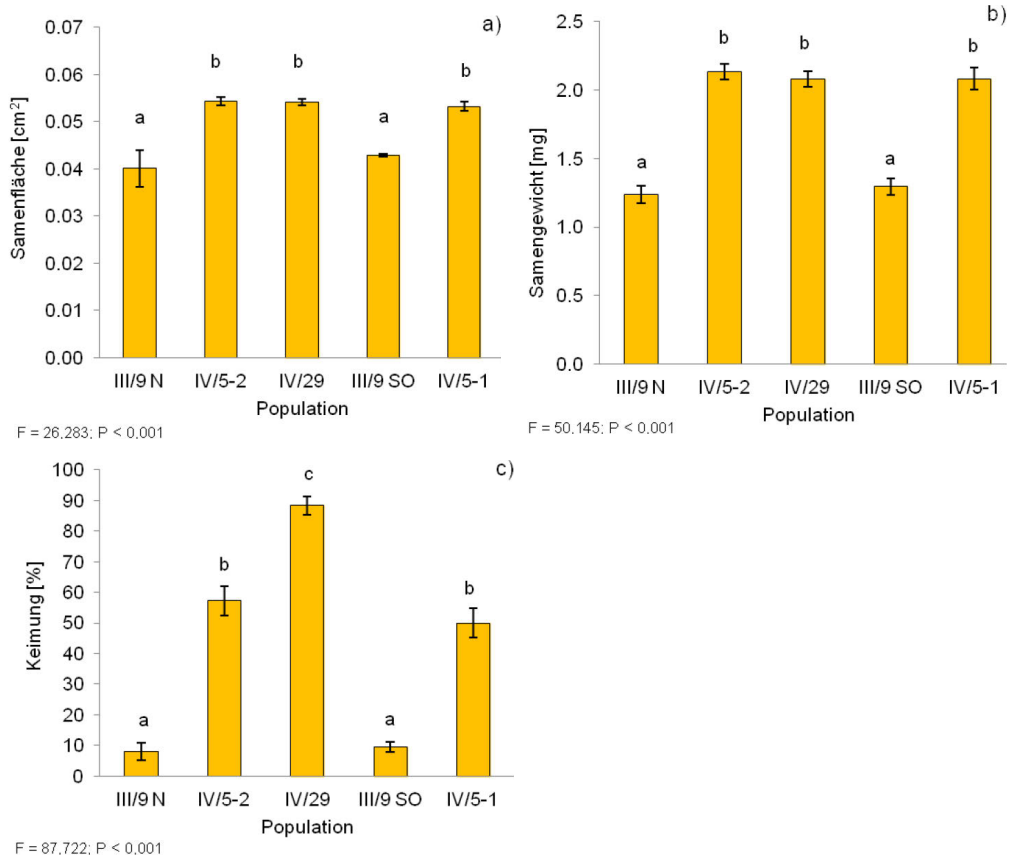


Abb. 5 Fläche (a) und Gewicht der Samen (b) sowie die prozentuale Endkeimung (c) von *B. laevigata* in den verschiedenen Populationen (geordnet nach der Populationsgröße; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben).

Fig. 5 Area (a) and weight of seeds (b), and germination percentage (c) of *B. laevigata* in the different populations (ordered by increasing population size; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

3.3 Interaktion von *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* und *Festuca rupicola*

3.3.1 Vergleich der vegetativen Merkmale

Die oberirdische Biomasse von *B. laevigata* war signifikant am höchsten in der Monokultur im Vergleich zu den beiden Mischungen (Abb. 6a) und die Länge des längsten Blattes signifikant in B3F6 am niedrigsten (Abb. 6b). Die SLA war in allen drei Behandlungen ähnlich (Abb. 6c). Im Vergleich dazu zeigte *F. rupicola* den signifikant höchsten Wert für die Biomasseproduktion in B6F3 und den niedrigsten in B3F6, wobei die Monokultur zwischen den beiden Werten lag (Abb. 6a). Die Länge des längsten Blattes unterschied sich nicht signifikant (Abb. 6b), während die signifikant höchste SLA in B6F3 zu finden war (Abb. 6c).

Die signifikant höchsten Werte für die Anzahl der Blätter, der Rosettenausdehnung, der Höhe der Rosetten und der Verzeigung der Individuen von *B. laevigata* waren jeweils in der Monokultur zu finden (Abb. 7a-d).

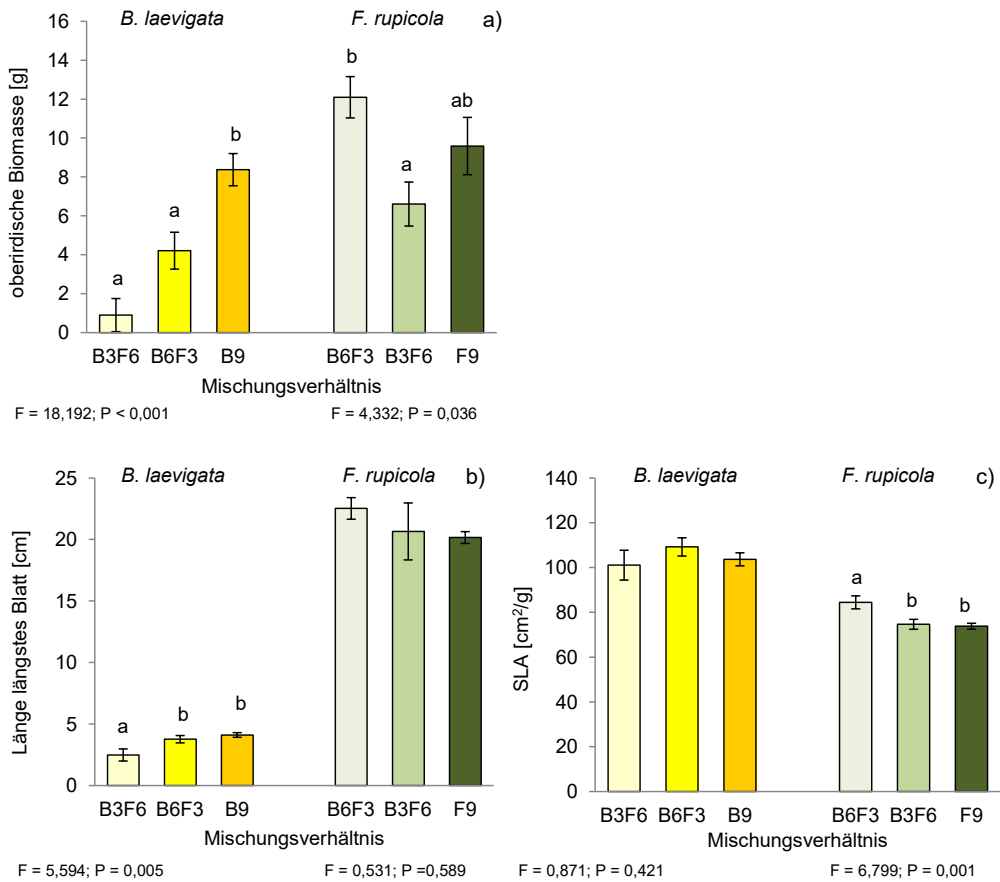


Abb. 6 Oberirdische Biomasse (a), Länge des längsten Blattes (b) und SLA (c) von *B. laevigata* ssp. *gracilis* und *F. rupicola* in den verschiedenen Mischungen (B3F6, B6F3) und Monokulturen (B9, F9; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 6 Above-ground biomass (a), leaf length (b) and SLA (c) of *B. laevigata* ssp. *gracilis* and *F. rupicola* in the different mixtures (B3F6, B6F3) and monocultures (B9, F9; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

3.3.2 Vergleich der generativen Merkmale

Die generative Biomasse von *B. laevigata* je Individuum und die Anzahl der Blüten- bzw. Fruchtsände waren signifikant am höchsten in den Monokulturen (Abb. 8a, 8c), die Blüten- bzw. Fruchtsände waren signifikant am längsten in B6F3 und B9 (Abb. 8b).

Festuca rupicola zeigte hinsichtlich der generativen Biomasse keine signifikanten Unterschiede in den drei Behandlungen (Abb. 8a), aber die Länge und Anzahl der Blüten- bzw. Fruchtsände waren in F9 signifikant am niedrigsten (Abb. 8b, 8c).

Biscutella laevigata bildete die höchste Anzahl von Früchten je Individuum in der Monokultur (Abb. 9a), allerdings mit den signifikant kleinsten Samen (Abb. 10a). *Festuca rupicola* entwickelte die längsten Rispen in dem Treatment mit den wenigsten Gras-Individuen (B6F3) (Abb. 9c).

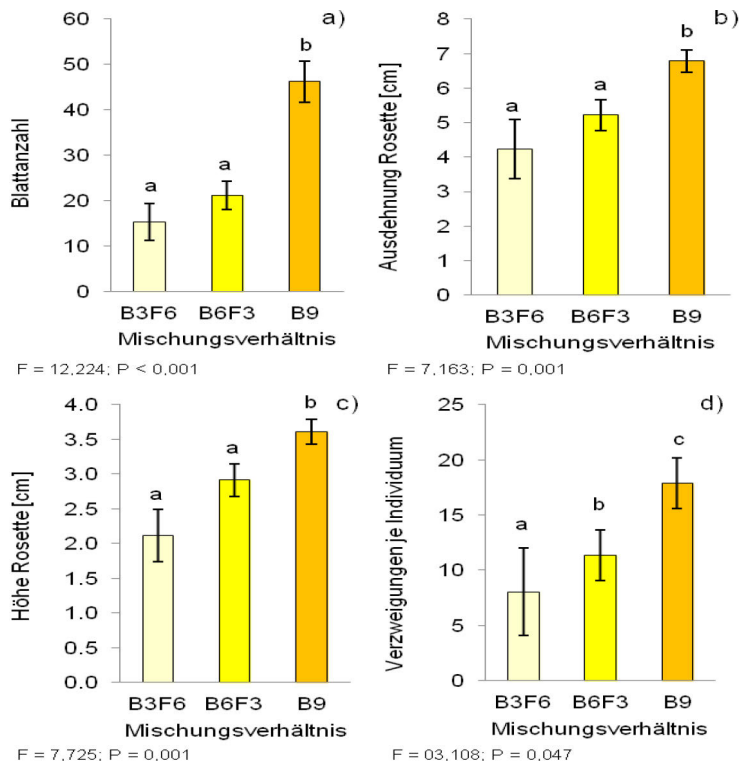


Abb. 7 Blattanzahl (a), Ausdehnung (b) und Höhe der Rosette (c) sowie Anzahl der Verzweigungen je Individuum (d) von *B. laevigata* ssp. *gracilis* in den verschiedenen Mischungen (B3F6, B6F3) und der Monokultur (B9; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 7 Number of leaves (a), extent (b) and height of rosettes (c) of *B. laevigata* ssp. *gracilis* and *F. rupicola* in the different mixtures (B3F6, B6F3) and monocultures (B9, F9; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

4 Diskussion

4.1 Welche Populationsstruktur besitzen die Vorkommen von *Biscutella laevigata* ssp. *gracilis* in der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale)?

Fünf der bereits in den 1990er Jahren in der Porphyrkuppenlandschaft dokumentierten Populationen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* (PARTZSCH & KRUMBIEGEL 1996) konnten nach 20 Jahren immer noch nachgewiesen werden (SCHACHTSCHABEL 2013). Dabei traten auf zwei Kuppen jeweils zwei Teilpopulationen auf, die räumlich voneinander getrennt waren und hier als eigenständige Populationen behandelt wurden. Die größte aufgefundene Population umfasste 152 und die kleinste 11 Individuen. Die übrigen Populationen waren mit 48 bis 67 Individuen mittelgroß. Auch DANNEMANN (2000) fand in den neun von ihr untersuchten Populationen der Porphyrkuppenlandschaft nur zwischen 26 und 257 Individuen pro Population im Jahre 1995, wobei es Schwankungen in der Populationsgröße durch Rückgang bzw. Zunahme an blühenden Individuen in den Folgejahren gab. Eine solche Fluktuation wird meist durch die Witterung im Frühjahr bestimmt. Im Vergleich zu anderen Arten ist die Anzahl der Individuen je Population sehr klein. So wurden für seltene, gefährdete und besonders streng geschützte Arten wie zum Beispiel *Dictamnus*

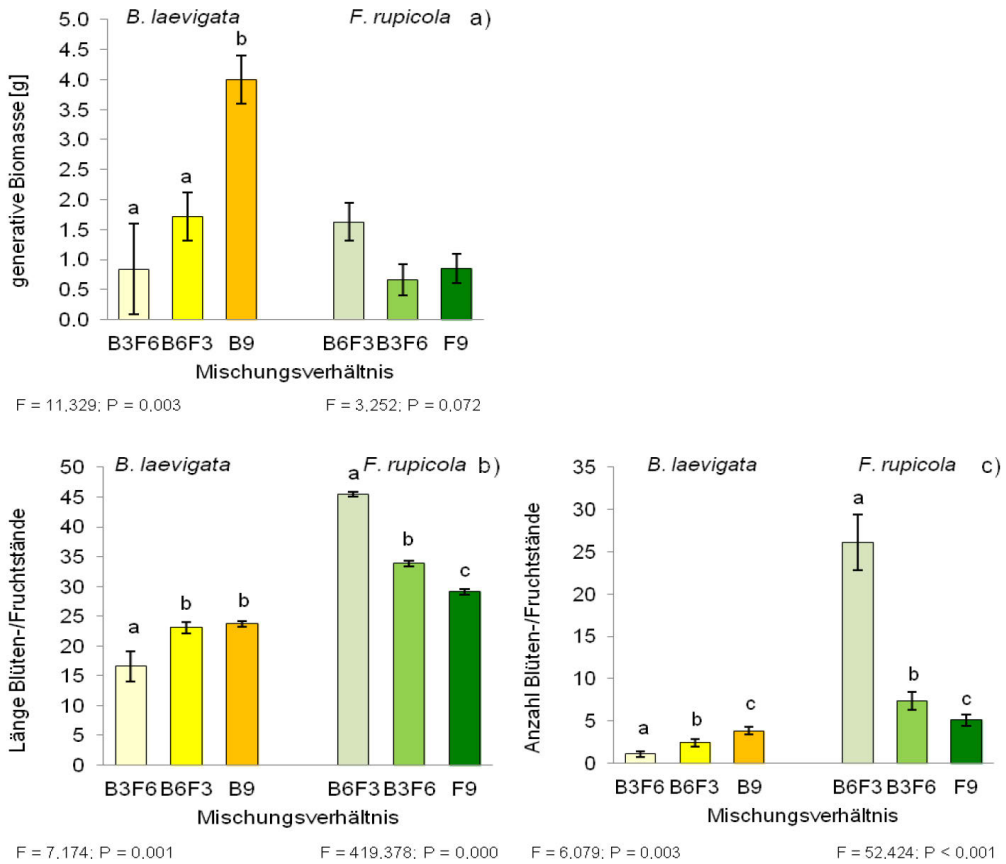


Abb. 8 Generative Biomasse (a), Länge (b) und Anzahl der Blüten-/Fruchtstände (c) von *B. laevigata* ssp. *gracilis* und *F. rupicola* in den verschiedenen Mischungen (B3F6, B6F3) und Monokulturen (B9; F9; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 8 Generative biomass (a), length (b) and number of flower-/fruit stems (c) of *B. laevigata* ssp. *gracilis* and *F. rupicola* in the different mixtures (B3F6, B6F3) and monocultures (B9, F9; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

albus L. bis zu 20.000 Exemplare (PARTZSCH 2009), für *Fritillaria meleagris* L. bis zu 1.100 Exemplare (KRUMBIEGEL 2017) und für *Gentianella campestris* (L.) BÖRNER bis zu 2.000 Exemplare (MARTIN 1986) je Population gefunden. Allerdings ist die Größe einer Population kein alleiniger Indikator für die Überlebensfähigkeit einer Art, da auch große Populationen überaltert sein können (COLLING et al. 2002). Je nach der demographischen Struktur, die den Anteil der verschiedenen Entwicklungsstadien (Keimlinge, Juvenile und Adulte) widerspiegelt, können die Populationen als „dynamisch“, „stabil“ und „regressiv“ bzw. „senil“ eingestuft werden (OOSTERMEIJER 1996). Am Beispiel von *Dictamnus albus* konnte gezeigt werden, dass kleine Populationen durchaus stabil sein können (PARTZSCH 2009). Nach DANNEMANN (2000) gilt dies ebenso für *B. laevigata*. Größere Populationen können aber auch regressiv sein und aufgrund von Überalterung biologische Ermüdung („biological inertia“) zeigen (SUMMERFIELD 1972: *Narthecium ossifragum*; MEHRHOFF 1989: *Isotria medeoides*; HUTCHINGS et al. 1998: *Orchis militaris*).

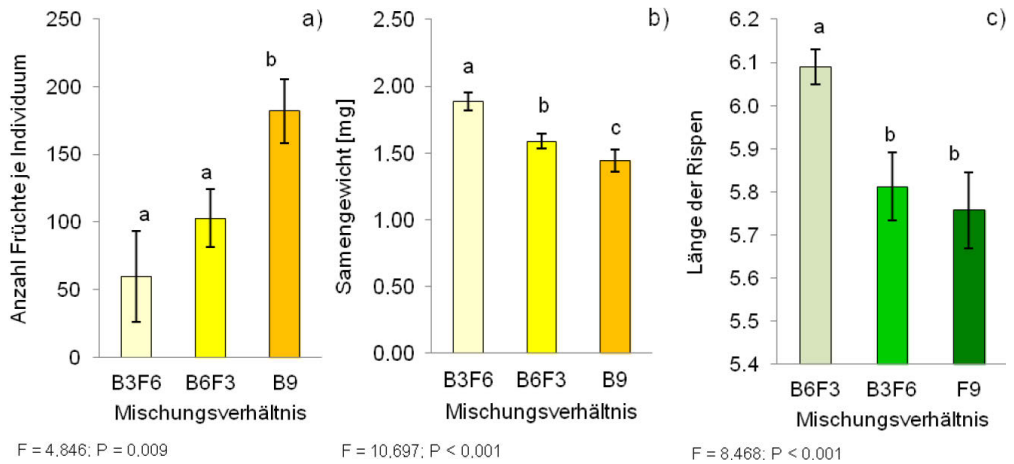


Abb. 9 Anzahl der Früchte pro Individuum (a) und Samengewicht (b) von *B. laevigata* sowie Länge der Rispen von *F. rupicola* (c) in den verschiedenen Mischungen (B3F6, B6F3) und Monokulturen (B9; F9; Mittelwerte mit Standardfehler). Es sind die Ergebnisse der ANOVA mit post-hoc Tukey-Test (F- und P-Wert, homogene Gruppen besitzen gleiche Buchstaben) angegeben.

Fig. 9 Number of fruits per individual (a), and seed weight (b) of *B. laevigata* ssp. *gracilis* and length of panicles *F. rupicola* (c) in the different mixtures (B3F6, B6F3) and monocultures (B9, F9; means \pm SE). Results of ANOVA with post-hoc Tukey-Test are given (F- and P-values, homogenous groups have similar letters).

Aufgrund des Nachweises aus den 1990er Jahren und dem Wiederauffinden im Jahr 2011 kann ein Mindestalter der Populationen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* von mindestens 20 Jahren geschätzt werden. Das liegt deutlich höher als jenes nach der Jahresringanalyse von SCHWEINGRUBER & POSCHLOD (2005) vermuteten Alters von 10 Jahren. DANNEMANN (2000) berichtete, dass Individuen von *B. laevigata* als dormante Stadien im Boden überdauern und erst nach mehreren Jahren wieder Blattmasse ausbilden können. Die Langlebigkeit der Individuen wird durch eine solche Wurzelknospensbank deutlich erhöht. Die Kenntnis des Alters einer Art ist wichtig, um eine Prognose zum Überleben von Populationen ableiten zu können. Interessant ist, dass die Populationen des Brillenschötchens ausschließlich auf den sehr alten Kuppen in der Porphyrkuppenlandschaft vorkommen, die bereits in und nach der letzten Eiszeit heraus modelliert worden sind (PARTZSCH 2000, 2001). In der Zwischenzeit ist es der Art aber nicht gelungen auf andere bzw. jüngere Kuppen überzusiedeln, obwohl sie meist in räumlicher Nähe liegen und mit ähnlichen Habitatbedingungen ausgestattet sind. Als Ursache lässt sich vermuten, dass die Kuppen durch die umgebende landwirtschaftliche Nutzfläche zu stark isoliert sind, wie es PARTZSCH & MAHN (1998) durch die Überprüfung der Inseltheorie von MAC ARTHUR & WILSON (1967) für die Porphyrkuppenlandschaft nachweisen konnten und *B. laevigata* nur ein geringes Ausbreitungsvermögen besitzt (DANNEMANN 2000).

Die Ausprägung der vegetativen und generativen Merkmale einer Art lässt Rückschlüsse auf die Vitalität und Fitness einer Population zu. Hinsichtlich der vegetativen Merkmale konnten wir jedoch keine signifikanten Zusammenhänge mit der Populationsgröße nachweisen, obwohl sich der Trend eines positiven Zusammenhangs für die Blattlänge, die SLA und die Höhe der Rosetten ergab. Die Anzahl und Länge der Fruchtstände zeigte jedoch einen negativen Trend zur Populationsgröße. Ursache für die fehlende Signifikanz der Zusammenhänge kann in der geringen Zahl von noch vorhandenen Populationen von *B. laevigata* in der Porphyrkuppenlandschaft liegen. Es ist generell ein Problem von seltenen und gefährdeten Arten, dass die Anzahl der zur Untersuchung bereit stehenden Populationen sehr gering ist. Bei einer Reihe von Merkmalen (Blattlänge, SLA, Anzahl und Länge der Fruchtstände, Samengewicht und Samenfläche, Keimung) fällt auf, dass die beiden Populationen, die jeweils auf einer Kuppe vorkommen, in gleichen Signifikanzgruppen liegen. Dies lässt vermuten, dass es sich nicht um vollständig getrennte

Populationen, sondern um relativ ähnliche Teilpopulationen handelt, die untereinander im Genaustausch stehen können (HUSBAND & BARRETT 1996, HANSKI 1998).

Die Anzahl der gebildete Früchte bzw. Samen pro Individuum ist bei *B. laevigata* relativ gering und es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Populationen gefunden werden. Auch DANNEMANN (2000) konnte keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Populationsgröße und Fitnessparameter für *B. laevigata* feststellen, was wahrscheinlich in der erfolgreichen Inzuchtvermeidung durch das selbstinkompatible Befruchtungssystem liegt. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von *Primula veris* bzw. *Gentiana lutea*, bei denen ein positiver Zusammenhang zwischen Populationsgröße und Anzahl der Samen nachgewiesen wurde (KÉRY et al. 2000). Allerdings standen ihnen auch deutlich mehr Populationen für die Untersuchungen zur Verfügung. Als Ursache wurde festgestellt, dass größere Populationen attraktiver für Bestäuber sind und dadurch mehr Diasporen bilden (ÅGREN 1996). Für *B. laevigata* konnte jedoch ein positiver Zusammenhang (allerdings nicht signifikant) zwischen Samengröße bzw. Samengewicht und Populationsgröße nachgewiesen werden, was durchaus einen positiven Effekt auf die Keimfähigkeit haben kann (VERA 1997, WEIS 1982). Die Keimfähigkeit der Samen von *B. laevigata* variierte zwischen den Populationen zwischen 10 und 90 % unter künstlichen Bedingungen im Keimschrank, aber es gab keinen Bezug zur Populationsgröße. Bei DANNEMANN (2000) lag sie zwischen 25 und 73 % im Jahre 1997. Ursache für die große Variabilität in der Keimung könnten Unterschiede im Reifeprozess sein, die durch unterschiedliches Lokalklima auf den Porphyrkuppen hervorgerufen wurden, so dass u. U. nicht vollständig ausgereifte Diasporen geerntet wurden. Unter Freilandbedingungen keimte *B. laevigata* aber deutlich schlechter; bei JESCHKE & KIEL (2008) zu ca. 12 % und in einem Freilandexperiment zur Untersuchung der Etablierungschancen von *B. laevigata* in Gras-Beständen mit unterschiedlichen Dichten zwischen 12 und 37 % (Unterschiede allerdings nicht signifikant). Mit zunehmender Bestandsdichte nahm jedoch die Überlebensrate der Keimlinge und Juvenilen signifikant ab (PARTZSCH et al. 2018). Auch in dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Umgebungsvegetation einen deutlichen Einfluss auf die Populationsgröße von *B. laevigata* hat und die größte Population in der Gesellschaft mit der geringsten Produktivität, also im lückigen, niederwüchsigen Thymo-Festucetum, zu finden war. Ähnliches konnte auch für seltene Xerothermrassenarten wie *Dianthus seguieri* und *Pulsatilla patens* nachgewiesen werden (WALCZAK et al. 2008, RÖDER & KIEHL 2008). Außerdem zeigten JESCHKE & KIEHL (2008), dass die durch eine Moosschicht verursachte Barriere und Beschattung wichtige Faktoren sind, die die Keimung und Etablierung von Gefäßpflanzen wie *B. laevigata* negativ beeinflussen.

Die Fitness von *B. laevigata* ist durch eine geringe Anzahl an produzierten Diasporen und eine geringe Keimfähigkeit negativ beeinflusst, was allerdings durch eine langlebige Diasporenbank kompensiert werden könnte. Die Art bildet jedoch nur eine transiente Diasporenbank aus (THOMPSON et al. 1997). Dadurch ist bei Verlust von Populationen eine Regeneration über längere Zeiträume mittels Diasporenbank kaum möglich (POSCHLOD & JACKEL 1993). Andererseits begünstigt die Fähigkeit zur vegetativen Vermehrung die Persistenz der bestehenden Populationen von *B. laevigata* (DANNEMANN 2000).

4.2 Wie reagiert *B. laevigata* ssp. *gracilis* auf die sich expansiv ausbreitende Grasart *Festuca rupicola*?

Die beiden heute verschwundenen Populationen waren ehemals im Festuco-Brachypodietum (RICHTER et al. 2003) und im Filipendulo-Helictotrichetum gefunden worden. Beide Gesellschaften gehen auf den Porphyrkuppen räumlich ineinander über. Auch heute treten die beiden kleinsten Populationen in relativ dichten Beständen des Festuco-Brachypodietum auf. Dies lässt vermuten, dass die Expansion des typischen Grasses *F. rupicola* den Rückgang der dikotylen Art verursacht hat bzw. verursachen wird. In einem Freiland-Topf-Experiment sollte geprüft werden, ob *B. laevigata* durch die zunehmende Dominanz von Gräsern (am Beispiel von *F. rupicola*) in Bedrängnis kam. Verschiedene vegetative Merkmale von *B. laevigata*, wie oberirdische Biomasse, Blattzahl, Höhe der Rosetten und Anzahl der Verzweigungen pro Individuum haben sich signifikant am besten in der Monokultur entwickelt. Ebenso zeigten sich signifikant erhöhte Werte bei der generativen Biomasse, der Länge und Anzahl der Blüten- bzw. Fruchtstände sowie der Anzahl der Früchte je Individuum in der Monokultur. Dies deutet darauf hin, dass die Entwicklung von *B. laevigata* stärker negativ durch interspezifische Konkurrenz mit *F. rupicola* beeinflusst

wurde. Im Gegensatz dazu zeigte das Gras eine stärkere Wachstumsdepression in der Monokultur durch erhöhte intraspezifische Konkurrenz. Dabei ergaben sich allerdings keine signifikanten Unterschiede in der Biomasse, aber in der Blattlänge, der SLA, der Länge und Anzahl der Blüten- bzw. Fruchstände und der Länge der Rispen. Ähnliche Ergebnisse konnten auch für Mischungen von *Veronica spicata* mit *F. rupicola* gefunden werden (SCHULZE et al. 2014), bei der die dikotyle Art ebenso stark unter zwischenartlicher Konkurrenz litt, während das Gras vor allem durch innerartliche Konkurrenz beeinträchtigt wurde. Auch andere Autoren berichteten, dass mit steigender Anzahl von Artgenossen im Topf eine starke Selbst-Limitierung eintritt (BLANK 2010, MÜLLER et al. 2016). Die Selbst-Limitierung infolge von intraspezifischer Konkurrenz stimmt mit der Theorie zur Koexistenz von Arten überein, nach der Konkurrenz zwangsläufig zur Abnahme der Diversität führt (ASCHEHOUG & CALLAWAY 2015). Die negative Wirkung von intraspezifischer Konkurrenz sollte dabei stärker sein als die der interspezifischen Konkurrenz und einen stabilisierenden Mechanismus zur Regulierung der Abundanz und der Koexistenz von Arten darstellen (CHESSON 2000, SILVERTOWN 2004). Dies trifft zwar für *F. rupicola*, aber nicht für *B. laevigata* zu.

Interessant ist, dass in unserer Studie die Anzahl der gebildeten Diasporen von *B. laevigata* in der Monokultur am höchsten war, aber das Samengewicht mit zunehmender Anzahl an Gras-Individuen im Topf zunahm. Dies kann die Folge eines trade-offs zwischen der Anzahl von Samen und Samengewicht sein (LEISHMAN 2001) und durchaus einen positiven Effekt auf die Fitness haben, da größere Nährstoffreserven im Samen zu einer besseren Überlebenswahrscheinlichkeit und stärkerem Wachstum der Keimlinge beitragen können (GRIME & JEFFREY 1965, LEISHMAN & WESTOBY 1994).

Ähnliche Arbeiten zu pflanzlichen Interaktionen zwischen dikotylen Arten wie *Alyssum montanum*, *Campanula glomerata*, *Dianthus carthusianorum* und *Veronica spicata* und dem Gras *F. rupicola* zeigten, dass die zunehmende Präsenz des Grases *F. rupicola* die dikotylen Arten stark negativ in Wachstum und Entwicklung beeinflussen (PARTZSCH & BACHMANN 2011, PARTZSCH et al. 2011, SCHULZE et al. 2014). Dies bestätigt die Angaben von GOLDBERG et al. (2001), dass im Grasland eine kompetitive Hierarchie existiert, an deren Spitze die Gräser stehen. Ebenso fanden DEL-VAL & CRAWLEY (2005), dass Gräser starke Konkurrenten sind, die vor allem die niedrigwüchsigen, dikotylen Arten in ihrem Wachstum hemmen und zurückdrängen. Die durch Änderung der traditionellen Weidenutzung der Trocken- und Halbtrockenrasen zunehmende Dominanz der Gräser gilt mittlerweile als ein europaweites Phänomen und verstärkt diesen Effekt zusätzlich (PARTZSCH 2001, RÖRMERMANN et al. 2005, CHÝLOVÁ & MÜNZBERGOVÁ 2008; SILVA et al. 2008). Um einem Artenverlust durch zunehmende Dominanz der Grasarten entgegen zu wirken, sollte die Beweidung der Xerothermrasen wieder eingeführt werden (BULLOCK et al. 2001, MARIOTTE et al. 2013).

5 Schlussfolgerungen für den Naturschutz

Der Vergleich der Vorkommen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* in der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale) aus den 1990iger Jahren (PARTZSCH & KRUMBIEGEL 1996) und RICHTER et al. (2003) mit der Wiederholungskartierung von SCHACHTSCHABEL (2013) ergab, dass zwei Populationen bereits verschwunden waren. Die noch heute vorhandenen fünf Populationen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* weisen vergleichsweise geringe Individuenzahlen auf. Die restlichen Populationen von *B. laevigata* ssp. *gracilis* erfordern deshalb eine erhöhte Aufmerksamkeit bezüglich ihrer Populationsentwicklung. Eine regelmäßige Kontrolle der Populationen sollte in kürzeren Zeitabständen von drei bis fünf Jahren durchgeführt werden, zumal die gefährdeten Pflanzengesellschaften (SCHUBERT et al. 2004), in denen die Art siedelt, als Lebensräume (teilweise prioritär) nach FFH-Richtlinie ausgewiesen wurden (SSYMANK 1998). Die Erhaltung von stabilen Habitatbedingungen gilt als Voraussetzung für ein langfristiges Überleben der Art. Das Zurückdrängen der sich expansiv ausbreitenden Gräser sollte durch die Wiedereinführung der traditionellen Schafbeweidung forciert werden. Der selektive Verbiss der Gräser und die Schaffung von Etablierungsnischen durch die Trittbelastung der Tiere sollten sich günstig auf die Entwicklung und den Erhalt von dikotylen Arten, unter anderem von *B. laevigata* ssp. *gracilis*, auswirken. Durch ein geeignetes Management können durchaus auch kleine Populationen (von 10 bis 15 Individuen) überleben (BUCHAROVÁ et al. 2012).

6 Zusammenfassung

FAULHABER, M., PARTZSCH, M.: *Biscutella laevigata* L. - ein postglaziales botanisches Relikt In Mitteldeutschland: Populationsstruktur und Interaktionen. - *Hercynia* N. F. 51 (2018): 58 – 79.

Die Xerothermrasen der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (Saale) haben sich unter jahrhundertelanger Schafbeweidung entwickelt und zeichnen sich durch eine hohe Biodiversität aus. Aus ökonomischen Gründen wurde diese traditionelle Landnutzung seit 1990 bis heute fast vollständig aufgegeben. Als Folge kam es zu einer Verarmung der ursprünglich artenreichen Gesellschaften, welche heutzutage von Gräsern wie *Festuca rupicola* dominiert werden. Die dikotyle Art *B. laevigata* ssp. *gracilis* gilt als Zeiger für historisch alte Xerothermrasen sowie als Eiszeitrelikt und wurde für diese Studie als Untersuchungsobjekt ausgewählt. Sie ist in Sachsen-Anhalt stark gefährdet und befindet sich im Rückgang. Folgende Fragen sollten beantwortet werden: 1) wie vital sind die restlichen Populationen von *B. laevigata* in der Porphyrkuppenlandschaft nördlich von Halle und gibt es einen Zusammenhang mit der Populationsgröße und 2) wie interagiert die Art in unterschiedlich dichten Gras-Beständen von *F. rupicola*. Dafür wurden folgende Untersuchungen durchgeführt: 1) Es wurden die Populationsgrößen von *B. laevigata* erfasst und eine Reihe von vegetativen (oberirdische Biomasse der Umgebungsvegetation, Blattanzahl und -länge, SLA, Ausdehnung und Höhe der Rosette) und generativen Pflanzenmerkmalen (generative Biomasse, Anzahl und Länge der Blüten-/Fruchtstände, Anzahl und Gewicht der Diasporen, Keimung) bestimmt. 2) Um das Ausmaß von zwischenartlicher und innerartlicher Interaktion zu bestimmen, wurde ein Freiland-Topf-Experiment zwischen der seltenen *B. laevigata* und dem expandierenden Gras *F. rupicola* angesetzt. Dafür wurden jeweils 12 Wiederholungen der Monokulturen (B9, F9) und der Mischungen (B3F6, B5F3) angelegt und die obengenannten Merkmale für beide Arten bestimmt.

Fünf von den in den 1990er Jahren und 2003 dokumentierten Populationen von *B. laevigata* konnten nach 20 Jahren erneut nachgewiesen werden, zwei Populationen waren infolge von Vergrasung verschwunden. Die aktuellen Populationsgrößen waren vergleichsweise niedrig und variierten zwischen 11 und 152 Individuen. Die Biomasse der Umgebungsvegetation korrelierte negativ mit der Populationsgröße. Dies zeigte, dass sich die Art in höherwüchsigen Gesellschaften schlechter entwickelt und durch dichter werdende Bestände gefährdet ist. Die Blattlänge, die SLA und die Höhe der Rosetten zeigten eine positive Beziehung und die Anzahl und Länge der Fruchtstände zeigten eine negative Beziehung mit der Populationsgröße, allerdings waren die Beziehungen nicht signifikant. Samengröße und Samengewicht wiesen einen positiven Trend mit der Populationsgröße auf, die Anzahl der Früchte und die Keimung wiesen keine Beziehungen auf.

Der Interaktionsversuch zeigte, dass die Entwicklung von *B. laevigata* negativ durch die zwischenartliche Konkurrenz mit dem Gras sowie *F. rupicola* negativ durch innerartliche Konkurrenz beeinflusst wurden. Um die Ausbreitung konkurrenzstarker Gräser wie *F. rupicola* einzudämmen und dem Rückgang der seltenen Art *B. laevigata* ssp. *gracilis* entgegenzuwirken, sollte die traditionelle Beweidung wieder eingeführt werden. Durch Trittschäden und Verbiss werden Etablierungsnischen geschaffen bzw. die Grasdominanz zurückgedrängt, was auf lange Sicht die Biodiversität der Xerothermrasen aufrechterhalten bzw. wieder herstellen könnte.

7 Literaturverzeichnis

- AARSSSEN, L. W., KEOGH, T. (2002): Conundrums of competitive ability in plants: what to measure? - *Oikos* 96: 531 – 541.
- ÅGREN, J. (1996): Population size, pollinator limitation, and seed set in the self-incompatible herb *Lythrum salicaria*. - *Ecol.* 77: 1779 – 1790.
- ASCHEHOUG, E. T., CALLAWAY, R. M. (2015): Diversity increases indirect interactions, attenuates the intensity of competition, and promotes coexistence. - *Am. Nat.* 186/4: 452 – 459.
- ASCHEHOUG, E. T., BROOKER, R., ATWATER, D. Z., MARON J. L., CALLAWAY R. M. (2016): The mechanisms and consequences of interspecific competition among plants. - *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 47: 263 – 281.

- BALMER, O., ERHARDT, A. (2000): Consequences of succession on extensively grazed grasslands for Central European butterfly communities: Rethinking conservation practices. - *Conserv. Biol.* 14: 746 – 757.
- BAIER, A., TISCHEW, S. (2004): Naturschutz-Management auf Xerothermrassenstandorten in Sachsen-Anhalt – Gefährdungsanalyse und Entwicklungsstrategien am Beispiel des Naturschutzgebietes „Lämmerberg und Vockenwinkel“. - *Hercynia N. F.* 37: 201 – 230.
- BECKER, T. (2013): Die Steppenreliktart *Astragalus exscapus* - eine Schlüsselart der Steppenreste Mitteleuropas. - In: Baumbach, H., Pfützenreuter, S. (Red.): *Steppenlebensräume Europas - Gefährdung, Erhaltungsmaßnahmen und Schutz*. Tagungsband, Hrsg. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forst, Umwelt und Naturschutz (TFL-FUN), Erfurt.
- BLANK, R. R. (2010): Intraspecific and interspecific pair-wise seedling competition between exotic annual grasses and native perennials: plant–soil relationships. - *Plant and Soil* 326: 331 – 343.
- BOBBINK, R., HÖRNING, M., ROELOFS, J.G.M (1998): The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. - *Plant Ecol.* 86: 717 – 738.
- BORNKAMM, R. (2006). Fifty years vegetation development of a xerothermic calcareous grassland in Central Europe after heavy disturbance. - *Flora* 201: 249 – 267.
- BUCHAROVÀ, A., BRABEC, J., MUNZBERGOVÀ, Z. (2012): Effect of land use and climate change on the future fate of populations of an endemic species in central Europe. - *Biol. Conserv.* 145: 39 – 47.
- BROOKER, R. W., MAESTRE, F. T., CALLAWAY, R. M., LORTIE, C. L., CAVIERES, L. A., KUNSTLER, G., LIANCOURT, P., TIELBÖRGER, K., TRAVIES, J. M. J., ANTHELME, F., ARMAS, C., COLL, L., CORCKET, E., DELZON, S., FOREY, E., KIKVIDZE, Z., OLOFSSON, J., PUGNAIRE, F., QUIROZ, C. L., SACCONI, P., SCHIFFERS, K., SEIFAN, M., TOUZARD, B., MICHALET, R. (2008): Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. - *J. Ecol.* 96: 18 – 34.
- BULLOCK, J. M., FRANKLIN, J., STEVENSON, M. J., SILVERTOWN, J., COULSON, S. J., GREGORY, S. J., TOFTS, R. (2001): A plant trait analysis of responses to grazing in a long-term experiment. - *J. Appl. Ecol.* 38: 253 – 267.
- CHÝLOVÁ, T., MÜNZZBERGOVÁ, Z. (2008): Past land use co-determines the present distribution of dry grassland plant species. - *Preslia* 80: 183 – 198.
- CHESSON P. (2000): Mechanisms of maintenance of species diversity. - *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 31: 343 – 366.
- COLLING, G., MATTHIES, D., RECKINGER, C. (2002): Population structure and establishment of the threatened long-lived perennial *Scorzonera humilis* in relation to environment. - *J. Appl. Ecol.* 39: 310 – 320.
- DANNEMANN, A. (2000): Der Einfluss von Fragmentierung und Populationsgröße auf die genetische Variation und Fitness von seltenen Pflanzenarten am Beispiel von *Biscutella laevigata* (Brassicaceae). - *Diss. Bot. Band 330.*, J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin, Stuttgart.
- DIEKMANN, M., FALKENGREN-GRERUP, U. (2002): Prediction of species response to atmospheric nitrogen deposition by means of ecological measures and life history traits. - *J. Ecol.* 90: 108 – 120.
- DEL-VAL, E., CRAWLEY, M. J. (2005): What limits herb biomass in grasslands: competition or herbivory? - *Oecologia* 142: 202 – 211.
- DONOHUE, K., FOSTER, D. R., MOTZKIN, G. (2000): Effects of the past and the present on species distribution: land-use history and demography of wintergreen. - *J. Ecol.* 88: 303 – 316.
- DOSTÁLEK, J., FRANTÍK, T. (2008): Dry grassland plant diversity conservation using low-intensity sheep and goat grazing management: case study in Prague (Czech Republic). - *Biodivers. Conserv.* 17: 1439 – 1454.
- DÖRING, J. (2004): Zu den Klimaverhältnissen im östlichen Harzvorland. - *Hercynia N. F.* 37: 137 – 154.
- ENYEDI, Z.K., Ruprecht, E., DEÁK, M. (2008): Long-term effects of the abandonment of grazing on steppe-like grasslands. - *Appl. Veg. Sci.* 11: 53 – 60.
- FRANCO, A. C., NOBEL, P. S. (1988): Interactions between seedlings of *Agave deserti* and the nurse plant *Hilaria rigida*. - *Ecol* 69: 1731 – 1740.
- FRANK, D., HERDAM, H., JAGE, H., JOHN, H., KISON, H.-U., KORSCH, H., STOLLE, J. (2004): Rote Listen der Farn- und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) des Landes Sachsen Anhalt. - *Ber. Landesamt f. Umweltschutz Sachsen-Anh.* 39: 91 – 110.
- FRECKLETON, R. P., WATKINSON, A. R., REES, M. (2009): Measuring the importance of competition in plant communities. - *J. Ecol.* 97: 379 – 384.
- GOLDBERG, D. E., TURKINGTON, R., OLSVIG-WHITTAKER, L., DYER, A. R. (2001): Density dependence in an annual plant community: variation among life history stages. - *Ecol. Monographs* 71/3: 423 – 446.
- GRIME, J. P., JEFFREY, D. W. (1965): Seedling establishment in vertical gradients of sunlight. - *J. Ecol.* 53: 621 – 642.
- HARPER, J. L. (1977): *Population biology of plants*. - Academic Press, London.
- HANSKI, I. (1998): Metapopulation dynamics. - *Nature* 396: 41 – 49.
- HENSEN, I., WESCHE, K. (2006): Relationships between population size, genetic diversity and fitness components in the rare plant *Dictamnus albus* in Central Germany. - *Biodiv. & Conserv.* 15: 2249 – 2261.

- HOUGHTON, J. T., MEIRA FILHO, L. G., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., KATTENBURG, A., MASKEL, K. (eds.) (1996): Climate Change 1995 - The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - Cambridge University Press, Cambridge.
- HUSBAND, B. C., BARRETT, S. C. H. (1996): A metapopulation perspective in plant population biology. - *J. Ecol.* 84: 461 – 469.
- HUTCHINGS, M. J., MENDOZA, A., HAVERS, W. (1998): Demographic properties of an outlier population of *Orchis militaris* L. (Orchidaceae) in England. - *Bot. J. Linnean Soc.* 126: 95 – 105.
- JÄGER, E. J., (Hrsg.) (2017): Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband. 21. Auflage. - Springer-Spektrum, Heidelberg, Berlin.
- JESCHKE, M., KIEHL, K. (2008): Effects of a dense moss layer on germination and establishment of vascular plants in newly created calcareous grasslands. - *Flora* 203: 557 – 566.
- JONGEJANS, E., SOONS, M. B., DE KROON, H. (2006): Bottlenecks and spatiotemporal variation in the sexual reproduction pathway of perennial meadow plants. - *Basic Appl. Ecol.* 7: 71 – 81.
- JORRITSMÄ-WIENK, L. D., AMELOOT, E., LENSSEN, J. P. M., DE KROON, H. (2007): Differential responses of germination and seedling establishment in populations of *Tragopogon pratensis* (Asteraceae). - *Plant Biol.* 9: 109 – 115.
- KÉRY, M., MATTHIES, D., SPILLMANN, H.-H. (2000): Reduced fecundity and offspring performance in small populations of the declining grassland plants *Primula veris* and *Gentiana lutea*. - *J. Ecol.* 88: 17 – 30.
- KLIMASCHEWSKI B., EVERS C., BRANDES D. (2006): Untersuchungen zur Einwanderung von Festuco-Brometea- und Koelerio-Corynephoretea-Arten in Brachflächen. In: Bültmann H., Hartmann T., Hasse T. (eds.), Trockenrasen auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen. - *Arb. Inst. Landschaftsökol. Münster* 15: 97 – 111.
- KRUMBIEGEL, A. (2017): *Fritillaria meleagris* am Quellhügel bei Vinzelberg (Altmarkkreis Salzwedel). - *Mitt. flor. Kart. Sachsen-Anh.* 22: 87 – 90.
- LEISHMAN, M. R. (2001): Does the seed size/number trade-off model determine plant community structure? An assessment of the model mechanisms and their generality. - *Oikos* 93: 294 – 302.
- LEISHMAN, M. R., WESTOBY, M. (1994): The role of large seed size in shaded conditions: experimental evidence. - *Funct. Ecol.* 8: 205 – 214.
- MARTIN, D. (1986): Über die Naturschutzarbeit im NSG „Ostufer der Müritz“ im Jahre 1986. - *Naturschutzarb. Mecklenbg.* 30: 44 – 46.
- MARIOTTE, P., BUTTLER, A., KOHLER, F., GILGEN, A. K., SPIEGELBERGER, T. (2013): How do subordinate and dominant species in semi-natural mountain grasslands relate to productivity and land-use change. - *Basic Appl. Ecol.* 14: 217 – 224.
- MANTON, I. (1934): The problem of *Biscutella laevigata* L. - *Zeitschr. f. induktive Abstammungs- u. Vererbungslehre* 67: 41 – 57.
- MAC ARTHUR, R. H., WILSON, E. O. (1967): The theory of island biogeography. - *MonoPrinceton Univ. Press, Princeton, New Jersey.*
- MÜLLER G., VAN KLEUNEN, M., DAWSON, W. (2016): Commonness and rarity of alien and native plant species - the relative roles of intraspecific competition and plant-soil feedback. - *Oikos* 125: 1458 – 1466.
- OOSTERMEIJER, J. G. B. (1996): Population size, genetic variation, and related parameters in small, isolated plant populations: a case study. - In: Settle, J., Margules, C., Poschold, P., Henle, K. (eds.): Species survival in fragmented landscapes. - *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.* - *GeoJournal Library* 35: 61 – 68.
- PARISOD, C. (2008): Postglacial recolonisation of plants in the western Alps of Switzerland. - *Bot. Helv.* 118: 1 – 12.
- PARTZSCH, M. (2000): Die Porphyrkuppenlandschaft des unteren Saaletals - Strukturwandel ihrer Vegetation in den letzten vier Jahrzehnten. - *Tuexenia* 20: 153 – 187.
- PARTZSCH, M. (2001): Die Porphyrkuppenlandschaft des unteren Saaletals - Vergleich der Vegetation der Kuppen in Abhängigkeit von Flächengröße und Genese der Porphyrkuppen. - *Bot. Jahrbücher Syst.* 123/1: 1 – 45.
- PARTZSCH, M. (2007): Flora, Vegetation und historische Entwicklung der Porphyrkuppenlandschaft zwischen Halle und Wettin. - *Schlechtendalia* 15: 1 – 91.
- PARTZSCH, M. (2009): Populationsstruktur und Vergesellschaftung von *Dictamnus albus* L. in thermophilen Säumen des unteren Unstruttals (Sachsen-Anhalt) - *Tuexenia* 29: 63 – 82.
- PARTZSCH, M. (2011): Does land use change affect the interactions between two grassland species? - *Flora* 206: 550 – 558.
- PARTZSCH, M., KRUMBIEGEL, A. (1996): Samenpflanzen - Spermatophyta. - In: Wallaschek, M., Bliss, P., Schöpke, H., Witsack, W. (Hrsg.): Beiträge zur Erfassung der Biodiversität im Unteren Saaletal. *Phytozönosen, Pflanzenarten und Tierarten von Landschaftselementen der Halleschen.* - *Arb. Naturpark „Unteres Saaletal“* 3: 13 – 21.
- PARTZSCH, M., MAHN, E.-G. (1998): Einfluß von Flächengröße, Entwicklungszeit und standörtlicher Vielfalt isolierter Offenstandorte auf die Struktur xerothermer Vegetationskomplexe. - *Braunschweig. Geobot. Arb.* 5: 95 – 112.

- PARTZSCH, M., BACHMANN, U. (2011): Is *Campanula glomerata* threatened by competition from expanding grasses? Results from a 5-year pot-experiment. - *Plant Ecol.* 212: 251 – 261.
- PARTZSCH, M., PIESCH, C., HENSEN, I. (2011): A comparative study of germination biology and plant performance in two dry grassland species. - *Folia Geobot.* 46: 35 – 48.
- PARTZSCH, M., FAULHABER, M., MEIER, T. (2018): The effect of the dominant grass *Festuca rupicola* on the establishment of rare forbs in semi-dry grasslands. - *Folia Geobot.* 53: 103 – 113.
- POSCHLOD, P., JACKEL, A.-K. (1993): Untersuchungen zur Dynamik von generativen Diasporenbanken von Samenpflanzen in Kalkmagerrasen. I. Jahreszeitliche Dynamik des Diasporengeregenes und der Diasporenbank auf zwei Kalkmagerrasenstandorten der Schwäbischen Alb. - *Flora* 188: 49 – 71.
- POSCHOLD, P., WALLISDEVRIES, M. F. (2002): The historical and socioeconomic perspective of calcareous grasslands - lessons from the distant and recent past. - *Biol. Conserv.* 104: 361 – 376.
- POTT, R. 1996: Die Entwicklungsgeschichte und Verbreitung xerotherme Vegetationseinheiten in Mitteleuropa unter dem Einfluß des Menschen. - *Tuexenia* 16: 337 – 369.
- QUINN, J. F., HARRISON, S. P. (1988): Effects of habitat fragmentation and isolation on species richness: evidence from biogeographic patterns. - *Oekologia* 75: 132 – 140.
- RICHTER, B., PARTZSCH, M., HENSEN, I., (2003): Vegetation, Kultur- und Nutzungsgeschichte der xerothermen Hügellandschaft bei Mücheln/Wettin (Sachsen-Anhalt). - *Hercynia N.F.* 36: 91 – 121.
- RÖDER, E., KIEL, K. (2008): Vergleich des Zustandes junger und historisch alter Populationen von *Pulsatilla patens* (L.) Mill. in der Münchener Schotterebene. - *Tuexenia* 28: 121 – 132.
- RÖRMERMANN, C., DUTOIT, T., POSCHOLD, P., BUISSON, E. (2005): Influence of former cultivation on the unique Mediterranean steppe of France and consequences for conservation management. - *Biol. Conserv.* 121: 21 – 33.
- SCHACHTSCHABEL, M. (2013): *Biscutella laevigata* - ein Eiszeitrelikt: Etablierung, Interaktionen und Populationsstruktur. - *Dipl.arb.*, Univ. Halle-Wittenberg.
- SCHUBERT, R., FRANK, D., HERDAM, H., HILBIG, W., JÄGER, H., KARSTE, G., KISON, H.-U., KLOTZ, S., PETERSON, J., REICHHOFF, L., STÖCKER, G., WEINITSCHKE, H., WEGENER, U., WESTHUS, W. (2004): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzengesellschaften des Landes Sachsen-Anhalt. - *Ber. Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anh.* 39: 111 – 122.
- SCHUBERT, R., HILBIG, W., KLOTZ, S. (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Norddeutschlands. - *Gustav Fischer Verlag*, Jena.
- SCHULZE, M., PARTZSCH, M., HENSEN, I. (2014): Die Xerothermrasenart *Veronica spicata* L.: Populationsstruktur, Etablierung und pflanzliche Interaktionen. - *Hercynia N. F.* 47: 87 – 112.
- SCHWEINGRUBER, F. H., POSCHLOD, P. (2005): Growth rings in herbs and shrubs: life span, age determination and stem anatomy. - *Forest snow landscape res.* 79: 195 – 415.
- SILVERTOWN, J. (2004): Plant coexistence and the niche. - *Trends Ecol. & Evol.* 19: 605 – 611.
- SILVERTOWN, J., CHARLESWORTH, D. (2001): Introduction to plant population biology. Fourth Edition. - *Blackwell Science*, Oxford.
- SUMMERFIELD, R. J. (1972): Biological inertia - an example. - *J. Ecol.* 60: 793 – 798.
- SSYMANK, A., HAUKE, U., RÜCKRIEM, C., SCHRÖDER, E., unter Mitarbeit von MESSER, D. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. - *SchrR. Landschaftspflege u. Naturschutz* 53: 1 – 560.
- TRINDER, C. J., BROOKER, R. W., ROBINSON, D. (2013): Plant ecology's guilty little secret: understanding the dynamics of plant competition. - *Funct. Ecol.* 27: 918 – 929.
- VERA, M. L. (1997): Effects of altitude and seed mass on germination and seedling survival of heathland plants in north Spain. - *Plant Ecol.* 133: 101 – 106.
- WALCZAK, C., ZIEVERINK, M., SCHMIDT, P. A. (2008): Populationsbiologische Untersuchungen an *Dianthus seguieri* Vill. im Osterzgebirge. - *Tuexenia* 28: 133 – 150.
- WEIS, I.M. (1982): The effect of propagule size on germination and seedling growth in *Mirabilis hirsuta*. - *Can. J. Bot.* 60: 1868 – 1874.
- WESCHE, K., PARTZSCH, M., KREBES, S., HENSEN, I. (2005): Gradients in dry grassland and heath vegetation on rock outcrops in eastern Germany - an analysis of a large phytosociological data set. - *Folia Geobot.* 40: 341 – 356.
- WILLEMS, J. H. (1987): Increasing dominance of *Brachypodium pinnatum* (L.) Beauv. in chalk grasslands: a threat to species-rich ecosystem. - *Biol. Conserv.* 40: 301 – 314.
- WATKINSON, A. R. (1997): Plant population dynamics. - In: *Crawley, M. J. (ed.): Plant ecology*. - *Wiley Online Library*.

Anschrift der Autoren:

Dipl.Biol. Maria Faulhaber

Leipziger Straße 68, 06108 Halle (Saale)

Dr. rer. nat. Monika Partzsch

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Am Kirchtor 1, D-06120 Halle (Saale)

E-Mail: mia.faulhaber@gmail.com

monika.partzsch@botanik.uni-halle.de

Anhang:

Tab. 2 Vegetationsaufnahmen (modifizierte Londo-Skala; nach Populationsgröße geordnet).

Table 2 Vegetation relevés (modified Londo-Skala; ordered by populations size).

Pflanzengesellschaft	Brachwitz (III/9 N)	Lettin (IV/5-2)	Lettin (IV/29)	Brachwitz (III/9 SO)	Lettin (IV/5-1)
	Festuco- Brachypodietum	Festuco- Brachypodietum	Festuco- Stipetum	Thymo- Festucetum	Thymo- Festucetum
Anzahl der B. laevigata-Individuen	11	48	51	67	152
Deckung - Kraut (%)	92	95	85	45	60
Deckung - Kryptogamen (%)	6	5	9	50	35
Deckung - offener Boden (%)	2	0	1	5	5
Exposition	N	N	W	SO	NW
geologischer Untergrund	Löß	Löß	Löß	Porphyr	Porphyr
Festuco-Brachypodietum					
<i>Festuca rupicola</i>	30	40	.	.	.
<i>Brachypodium pinnatum</i>	10	4	.	.	.
Festuco-Stipetum					
<i>Stipa capillata</i>	.	.	10	.	.
<i>Festuca valesiaca</i>	.	.	10	.	.
Thymo-Festucetum cinerea					
<i>Festuca csikhegyensis</i>	.	.	.	20	10
<i>Thymus serpyllum</i>	.	.	.	1	2
Nardo-Callunetea-Arten					
<i>Calluna vulgaris</i>	.	10	1	.	10
<i>Genista pilosa</i>	.	4	2	.	1
<i>Luzula campestris</i>	1	1	1	.	1
<i>Polygala vulgaris</i>	1	1	1	.	1
Sedo-Scleranthetea-Arten					
<i>Biscutella laevigata</i>	1	1	1	1	1
<i>Sedum reflexum</i>	1	1	.	.	1
<i>Achillea pannonica</i>	1	.	2	+	.
<i>Myosotis stricta</i>	1	.	.	.	.
<i>Rumex acetosella</i>	.	1	1	1	1
<i>Campanula rotundifolia</i>	.	1	.	1	.

Pflanzengesellschaft	Brachwitz (III/9 N)	Lettin (IV/5-2)	Lettin (IV/29)	Brachwitz (III/9 SO)	Lettin (IV/5-1)
	Festuco- Brachypodietum	Festuco- Brachypodietum	Festuco- Stipetum	Thymo- Festucetum	Thymo- Festucetum
<i>Silene otites</i>				+	1
<i>Agrostis vinealis</i>	.	.	.	2	.
<i>Centaurea stoebe</i>	.	.	.	1	.
<i>Potentilla argentea</i>	.	.	.	.	1
Festuco-Brometea-Arten					
<i>Filipendula vulgaris</i>	10	2	2	.	.
<i>Dianthus carthusianorum</i>	1	1	2	1	1
<i>Euphorbia cyparissias</i>	2	2	4	2	1
<i>Helictotrichon pratensis</i>	2	2	.	2	.
<i>Hieracium pilosella</i>	4	10	1	2	10
<i>Potentilla arenaria</i>	2	1	.	.	.
<i>Saxifraga granulata</i>	1	1	1	.	.
<i>Koeleria macrantha</i>	1	.	2	1	.
<i>Salvia pratenses</i>	1	.	.	.	.
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	1	.	1	.	1
<i>Achillea setacea</i>	.	1	.	.	.
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	.	2	.	.	4
<i>Euphrasia stricta</i>	.	1	.	.	.
<i>Galium verum</i>	.	1	.	.	.
<i>Plantago lanceolata</i>	.	1	.	.	.
Saumarten					
<i>Peucedanum oreoselinum</i>	10	.	4	1	.
<i>Galium glaucum</i>	1	.	.	.	.
<i>Hypericum perforatum</i>	.	1	2	.	1
<i>Hieracium umbellatum</i>	.	.	2	.	.
<i>Anthericum liliago</i>	.	.	.	4	1
Gehölzarten					
<i>Rosa canina</i>	.	1	.	.	.
Ruderalarten					
<i>Valerianella locusta</i>	.	.	1	.	.
<i>Spergula arvensis</i>	.	.	.	1	.