

Intra- und interspezifische Interaktionen in Xerothermrasen zwischen dem dominanten Gras *Bromus erectus* und der dikotylen Art *Linum austriacum*

Markus SPLITH, Isabell HENSEN, Monika PARTZSCH und Tim MEIER

10 Abbildungen und 1 Tabelle

Abstract

SPLITH, M., HENSEN, I., PARTZSCH, M., MEIER, T. (2021): Intra- and interspecific interactions in xerothermic grasslands between the dominant grass *Bromus erectus* and the dicotyledonous species *Linum austriacum*. - Hercynia N. F. 54/2: 157 – 179.

Within xerothermic grasslands, plant species interact in a variety of ways. The interactions can have a positive (facilitation) or negative (competition) effect on individuals of the same (intraspecific) or different species (interspecific). These interactions are influenced by the multiple processes of 'Global Change', which is particularly noticeable in xerothermic grasslands, where limited resources play a crucial role in the growth of species. In particular, grasses, such as *Bromus erectus*, are increasing in dominance and seem to be more competitive than dicots. In this study, the intra- and interspecific interactions between *B. erectus* and *Linum austriacum*, a dicotyledonous species, were investigated. A field-pot-experiment was conducted according to the 'replacement design' with different density levels (monocultures and mixtures) and the following functional traits were collected: aboveground biomass, plant height, leaf area, leaf dry mass, SLA, LDMC, of *L. austriacum* also number of inflorescences, number of capsules, seed mass and seed area. Afterwards, the Relative Interaction Index (RII) was calculated for each parameter. The functional traits and the RII were tested for significant differences using one-way ANOVA's and Tukey post-hoc tests. The development of the vegetative traits of *L. austriacum* showed no significant differences between the monoculture and the different mixtures, only the generative traits capsule number and seed area were significantly higher in the monoculture and decreased with increasing number of *B. erectus* individuals in the pots. For *B. erectus*, only a significant increase in biomass with decreasing number of grass individuals in the pot was detectable. The interactions regarding the vegetative parameters of *L. austriacum* were more or less in the neutral range, only the number of capsules showed a significant negative effect, whereby the competitive pressure on *L. austriacum* increased with increasing grass density in the pots. In the case of *B. erectus*, there was strong competitive pressure on biomass, especially in the monoculture, but this became significantly less in the mixtures with decreasing grass density. This shows that increased intraspecific competition can lead to self-limitation of *B. erectus*. In general, the extent of interactions between *L. austriacum* and *B. erectus* can be considered relatively low. However, the results of the study showed clearly negative effects of *B. erectus* on the fitness of *L. austriacum*, which may negatively influence the population density of *L. austriacum* in the xerothermic grasslands in the longer term. In order to counteract a possible loss of phytodiversity due to expanding grasses, traditional grazing of the xerothermic grasslands should be reintroduced or continued.

Key words: plant-plant interactions, functional traits, *Bromus erectus*, *Linum austriacum*, Relative Interaction Index

1 Einleitung

Der Globale Wandel („Global Change“) spielt gegenwärtig eine entscheidende Rolle in der Natur. Dieser ist durch vielfältige Prozesse gekennzeichnet, wie z. B. Klimaerwärmung, Erhöhung der Konzentrationen von CO₂ und Methan, den luftgetragenen Stickstoff-Emissionen sowie Landnutzungsänderungen (BOBBINK et al. 1998, 2010, DUPRÉ et al. 2010, DIEKMANN et al. 2014, ENRIGHT et al. 2014, PARTZSCH 2019). Diese Prozesse bewirken Veränderungen der pflanzlichen Interaktionen, die wiederum Artenzusammensetzung und Populationsdynamik in den Pflanzengesellschaften regulieren, und beeinflussen Ökosystemfunktionen (BROOKER, 2006, CALLAWAY 1995, THORPE et al. 2011, WHITFORD 2002, SUTTLE et al. 2007, ADLER et al. 2007, LEVINE et al. 2010, LIANCOURT et al. 2013, TREDENNICK et al. 2018).

Für die Bewertung der Auswirkungen des „Global Change“ ist es wichtig, die Interaktionen zwischen Pflanzen zu untersuchen. Besonders in Xerothermrasen können diese Auswirkungen deutlich spürbar sein, da hier die Pflanzen um sehr stark begrenzte Ressourcen, wie z. B. Stickstoff und Wasser, konkurrieren. Aufgrund des zunehmenden atmosphärischen Stickstoffeintrags nimmt auf diesen Standorten die Dominanz der Grasarten gegenüber vielen krautigen Arten zu (DIEKMANN et al. 2014), sodass Gräser meist als die stärkeren Konkurrenten angesehen werden (DEL-VAL & CRAWLEY 2005, PARTZSCH et al. 2018). In den letzten Jahrzehnten konnte beobachtet werden, dass sich ein großer Anteil der artenreichen Xerothermrasen in artenärmere, oft von Gräsern dominierte Pflanzengesellschaften umgewandelt hat (PARTZSCH 2000, DEL-VAL & CRAWLEY 2005, RÖMERMANN et al. 2005, ENYEDI 2008, WESCHE et al. 2012). Zudem führt eine Abnahme der traditionellen Landnutzung, insbesondere der Beweidung mit Schafen und Ziegen, zu einem Rückgang der Artenvielfalt (PARTZSCH 2000, 2011, POSCHLOD & WALLIS DE VRIES 2002, DEL-VAL & CRAWLEY 2005, HÜLBER et al. 2017, VALKÓ et al. 2018). Fehlende Beweidung begünstigt ein starkes Wachstum von dominanten Grasarten und ruderalen Arten (PARTZSCH & MAHN 2001, PARTZSCH 2011, ELIAS et al. 2018), und es kann sich eine zunehmende Verbuschung dieser Flächen einstellen (FAUST et al. 2012, JANSSEN et al. 2016).

Intraspezifische (innerartliche) und interspezifische (zwischenartliche) Interaktionen sind wesentliche Treiber, die bestimmen, ob sich eine Art an einem Standort dauerhaft etablieren kann. Dabei differenziert man zwischen Konkurrenz und Förderung (CALLAWAY & WALKER 1997, BRUNO et al. 2003, BROOKER et al. 2008, BULLOCK 2009, FRECKLETON et al. 2009, DOHN et al. 2013, LUTSCHER & ILJON 2013, LIANCOURT & DOLEZAL 2021). Diese Interaktionen sind sowohl von artspezifischen Pflanzenmerkmalen als auch von Umweltbedingungen abhängig (CALLAWAY & WALKER 1997, HOLMGREN et al. 1997, CALLAWAY 2007). „Facilitation“ (Förderung) beschreibt eine positive Interaktion, bei der Individuen einer oder mehrerer Pflanzenarten positive Effekte aufeinander ausüben (BRUNO et al. 2003, CALLAWAY 2007, BROOKER et al. 2008, LIANCOURT & DOLEZAL 2021). Dabei sind besonders „nurse plants“ von Bedeutung, da diese die Luftfeuchtigkeit erhöhen, extreme Sonneneinstrahlung verhindern und vor Herbivorie schützen können, wodurch sie das Wachstum anderer umgebender Pflanzen begünstigen (FRANCO & NOBEL 1988, HOLMGREN et al. 1997, GÓMEZ-APARICIO et al. 2004, PADILLA & PUGNAIRE 2006). Förderung kann nicht nur ein Prozess zwischen zwei Individuen, sondern auch eine Interaktion in einer gesamten Pflanzengesellschaft sein (LIANCOURT & DOLEZAL 2021), welche u. a. die Auswirkung des Klimawandels auf die Biodiversität abschwächen kann (BROOKER 2006, CAVIERES et al. 2014, MICHALET et al. 2014, SPASOJEVIC et al. 2014, ANTHELME et al. 2014). Dagegen ist Konkurrenz eine negative Interaktion (BEGON et al. 1996), bei der die

Individuen um begrenzte Rohstoffe, wie z. B. Licht, Wasser und Nährstoffe (DEL-VAL & CRAWLEY 2005, ADLER et al. 2009, LIANCOURT et al. 2013) oder Lebensräume konkurrieren und daher auf direkte oder indirekte Art beeinträchtigt werden. Zudem können die Interaktionen zwischen zwei Pflanzenarten, je nach aktuellen Umweltbedingungen, zwischen Förderung und Konkurrenz schwanken (PARTZSCH & BACHMANN 2011).

Viele Studien konnten nachweisen, dass Grasarten, wie *Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum*, *Festuca rupicola*, *Helictotrichon pratense* und *Poa angustifolia* in den Xerothermrasen zunehmend an Dominanz gewinnen (BOBBINK et al. 1998, PARTZSCH 2000, 2001, BORNKAMM 2006, 2008, LEMMER et al. 2021, MEIER et al. 2021), was zu einem Rückgang von gefährdeten und geschützten Arten, wie z. B. *Campanula glomerata*, *Hornungia petraea*, *Scabiosa columbaria* und *Veronica spicata* beitragen kann (PARTZSCH & BACHMANN 2011, SCHULZE et al. 2014, MEIER & PARTZSCH 2018). Durch das vermehrte Auftreten dieser Grasarten erhöht sich oftmals der Konkurrenzdruck auf dikotyle Arten, wodurch diese verdrängt werden und die Artenvielfalt abnimmt (PARTZSCH 2000, 2001). Daher sind Untersuchungen zu den pflanzlichen Interaktionen in den Xerothermrasen wichtig, um Maßnahmen zum Schutz von seltenen und gefährdeten Arten ableiten zu können.

Bromus erectus ist eine indigene Art mit ursprünglich mediterraner Herkunft, welche sich in den letzten Jahrzehnten in Mitteldeutschland ausgebreitet hat, aktuell deutlich in nördliche Richtung innerhalb Deutschlands expandiert und dabei in Xerothermrasen eine erhöhte Dominanz zeigt (MACCHERINI et al. 2000, ZÜNDORF et al. 2006, BORNKAMM 2006, 2008, HELMECKE 2017, MEIER & PARTZSCH 2018, MEIER et al. 2021). Die Art wird für Sachsen-Anhalt und Thüringen als Neophyt (HEINRICH 2010, FRANK & SCHNITTER 2016) oder sogar invasiv (VALÉRY et al. 2009) eingestuft. In Mitteldeutschland kommt *B. erectus* zusammen mit der dikotylen Art *Linum austriacum* vor, einem etablierten Neophyten, der 1860 erstmals in Thüringen nachgewiesen wurde und in Deutschland durch die Bundesartenschutzverordnung besonders geschützt ist (JÄGER 2017). Beide Arten weisen ähnliche ökologische Ansprüche auf und zeigen vor allem in den letzten Jahrzehnten ein gemeinsames Vorkommen, insbesondere in den Xerothermrasen des Kyffhäusers und des Unstrutgebietes bei Freyburg (MEIER & PARTZSCH 2018). Daraus lässt sich schließen, dass beide Arten interagieren und durch die zunehmende Dominanz von *B. erectus* ein Konkurrenzdruck auf *L. austriacum* entstehen kann. Um die intra- und interspezifischen Interaktionen zwischen *B. erectus* und *L. austriacum* zu untersuchen, wurden ein Freiland-Topf-Experiment durchgeführt und verschiedene funktionelle Pflanzenmerkmale in Monokulturen und Mischungen der beiden Arten erhoben. Folgende Fragestellungen sollten in dieser Studie beantwortet werden:

1. Wie entwickeln sich die vegetativen und generativen Merkmale von *B. erectus* und *L. austriacum* in den Monokulturen und Mischungen?
2. Welche intra- und interspezifischen Interaktionen treten in den Monokulturen und Mischungen von *B. erectus* und *L. austriacum* auf?
3. Lassen sich naturschutzfachliche Empfehlungen aus den Ergebnissen ableiten?

2 Material und Methoden

2.1 Charakteristik der untersuchten Arten

Bromus erectus HUDS. (Aufrechte Trespe, Poaceae) ist ein ausdauernder immergrüner Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 30 bis 90 cm, der Horste ausbildet (Abb. 1a). Die Blattspreiten sind entfernt bewimpert und besitzen 1–2 mm lange Blatthäutchen. Die Art blüht zwischen Juni und Juli, wobei 4–14-blütige und 1,5–3 cm lange Ährchen mit eiförmig bis länglich geformten Deckspelzen ausgebildet werden. Die Früchte sind Karyopsen (JÄGER 2017). Das kalkholde Gras ist eine Charakterart der Ordnung Brometalia erecti (SCHUBERT et al. 2001) und in der meridional-montanen bis südtemperaten Zone Europas verbreitet. Die Art ist hauptsächlich in der südlichen Hälfte Deutschlands etabliert, breitet sich aber beständig nach Norden aus (Abb. 1b) und kommt auf Trocken- und Halbtrockenrasen, wechsellustigen Frischwiesen, ruderalen Rasen sowie Bahndämmen vor.

Linum austriacum L. (Österreichischer Lein, Linaceae) ist ein sommergrüner, ausdauernder Hemikryptophyt und erreicht eine Wuchshöhe von 30 bis 60 cm (Abb. 2a). Die Kronenblätter sind 10–18 mm lang und azurblau. Die Pflanze bildet nach der Blütezeit von Mai bis Juli 3,5–5 mm lange Kapseln; die Samen werden autochor ausgebreitet (JÄGER 2017). Die kalkholde Art ist in der meridionalen bis südtemperaten Zone Europas und Vorderasiens verbreitet und kommt in Mitteldeutschland auf Xerothermrasen, trockenen Ruderalstellen und Weinbergsbrachen vor (Abb. 2b).

2.2 Konkurrenzversuch

Für den Konkurrenzversuch wurde ein „replacement design“ gewählt (DE WIT 1960), bei dem die Anzahl an Individuen pro Topf gleichbleibt, aber die Dichtestufen in den Mischkulturen beider Arten variiert. Im Sommer 2019 wurden reife Diasporen beider Arten aus verschiedenen Populationen innerhalb der Xerothermrasen in Sachsen-Anhalt (Saale-Unstrut-Triasland) und Thüringen (Kyffhäuser) gesammelt. Die Diasporen wurden pro Art gemischt und bei Raumtemperatur gelagert. Im Februar 2020 wurde das Saatgut im Botanischen Garten Halle (Saale) in Keimchalen im Gewächshaus vorgezogen. Nach der Keimung wurden die jungen Pflanzen in Plastiktöpfe, die mit einem Sand-Komposterde-Gemisch (2:3; pH 7,0) gefüllt wurden, vereinzelt. Im Mai 2020 wurden 64 Mitscherlich-Töpfe (Durchmesser 22 cm; Höhe 19 cm) mit einem Sand-Komposterde-Gemisch (2:3; pH-Wert 7,0) befüllt. Diese Töpfe wurden in das Freiland des Botanischen Gartens überführt, mit Plastiketiketten markiert und randomisiert platziert (Abb. 3, Abb. 4). Dabei wurden 48 Töpfe mit insgesamt 5 Individuen der Art *Bromus erectus* (Be) und *Linum austriacum* (La) bepflanzt. Es wurden die beiden Monokulturen La5 (*L. austriacum*, 5 Individuen) und Be5 (*B. erectus*, 5 Individuen) sowie vier Mischkulturen La1Be4 (*L. austriacum*, 1 Individuum; *B. erectus*, 4 Individuen), La2Be3 (*L. austriacum*, 2 Individuen; *B. erectus*, 3 Individuen), La3Be2 (*L. austriacum*, 3 Individuen; *B. erectus*, 2 Individuen) und La4Be1 (*L. austriacum*, 4 Individuen; *B. erectus*, 1 Individuum) zu je acht Wiederholungen angesetzt. Zusätzlich wurden je acht Töpfe La1 (*L. austriacum*, 1 Individuum) und Be1 (*B. erectus*, 1 Individuum) bepflanzt, als Grundlage zur Berechnung des RII („Relative Interaction Index“, siehe unten). Die Pflanzen wurden nach Bedarf gegossen. Falls nötig, wurden andere Wildkräuter aus den Töpfen entfernt. Die Position der Töpfe wurde alle zwei Wochen verändert, um Randeffekte zu vermeiden. Im August und September 2020 wurden wöchentlich die reifen Samenkapseln von *L. austriacum* gesammelt und bei

Raumtemperatur in Papiertüten aufbewahrt. Im September 2020 wurde vor Ort für jede Art pro Individuum die Wuchshöhe vom höchsten photosynthetischen Organ bis zur Pflanzenbasis vermessen (WEIHER et al. 1999) (die Höhe der Blütenstände wurde nicht mit erfasst) und das größte Blatt pro Individuum entnommen (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. 2013). Dabei wurde darauf geachtet, dass nur intakte, voll entwickelte Blätter beprobt wurden. Zusätzlich wurden die Anzahl der Blütenstände und die Kapselanzahl pro Individuum von *L. austriacum* ermittelt. Zum Versuchsende wurde von allen Individuen beider Arten die oberirdische Biomasse pro Individuum geerntet und diese in großen Papiertüten aufbewahrt.

Die Blattproben wurden bis zur Messung in Plastiktüten feucht gehalten. Im Labor wurde die Blattfrischmasse mithilfe einer Analysenwaage gewogen. Die Blätter wurden mit einem Flachbettscanner (Auflösung: 300 dpi) gescannt und unter Verwendung des Programmes WinFOLIA Pro (S) wurden die Blattflächen analysiert. Anschließend wurden die Einzelblätter in separate Papiertüten gelegt und wie die oberirdische Biomasse im Trockenschrank bei 80 °C für 24 Stunden getrocknet. Von diesen Proben wurden die Trockenmasse des Einzelblattes und die Trockenmasse der oberirdischen Biomasse pro Individuum bestimmt. Aus den Messwerten der Blattfläche, Blattfrischmasse und Blatttrockenmasse wurden dann SLA (spezifische Blattfläche („specific leaf area“); Verhältnis aus Blattfläche und Blatttrockenmasse) und LDMC („leaf dry matter content“; Verhältnis aus Blatttrockenmasse und Blattfrischmasse) berechnet. Für die Untersuchung der gesamten oberirdischen Biomasse von *L. austriacum* wurden alle Kapseln jedes Individuums zusammen gewogen und zur Biomasse dazu addiert. Zur Ermittlung der Samenmasse wurden pro Individuum zufällig 10 Samen aus den vorhandenen Kapseln entnommen und gewogen (Mittelwert von 10 Samen). Danach wurden diese Samen gescannt und deren Samenfläche mit dem Programm WinSEEDLE Pro (S) analysiert. Pflanzen, die keine generativen Merkmale ausgebildet hatten, wurden mit einem Nullwert in die Daten einbezogen.

2.3 Datenanalyse

Um die Interaktionen zwischen den beiden Arten nachzuweisen, wurde für alle Messparameter der „Relative Interaction Index“ (RII) berechnet (ARMAS et al. 2004):

$$RII = (P_{+N} - P_{-N}) / (P_{+N} + P_{-N})$$

Dabei ist P_{+N} die Leistung einer Pflanze in Anwesenheit von Nachbarpflanzen, also in einer der Mono- oder Mischkulturen, während P_{-N} die Leistung einer Pflanze bei Abwesenheit von Nachbarpflanzen, also der Einzelpflanzen darstellt. Dazu mussten die Werte für die verschiedenen Pflanzenmerkmale der Einzelindividuen herangezogen werden (Tab. 1). Die P-Werte ergeben sich dabei aus den Mittelwerten der Messparameter für Individuen einer Art pro Topf. Die Werte des RII befinden sich immer in einem Bereich von -1 bis 1, wobei positive Werte Förderung („facilitation“) und negative Werte Konkurrenz („competition“) zwischen den Pflanzen bedeuten. Aus dem Vergleich mit dem RII der Monokultur jeder Art kann geschlossen werden, ob es sich bei der Interaktion um eine intra- oder interspezifische Interaktion handelt.

Mithilfe von einfaktoriellem Varianzanalysen (ANOVA) und dem Tukey-Post-Hoc-Test konnte für jeden Messparameter pro Art geprüft werden, ob es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Ansätzen (Mono- und Mischkulturen) gab. Dabei wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit (P) bei $P < 0,05$

als signifikant gewertet. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm R 4.02 (R CORE TEAM 2019) und den Paketen ggplot2 (WICKHAM et al. 2020), multcomp (HOTHORN et al. 2008) und tidy (WICKHAM 2020).

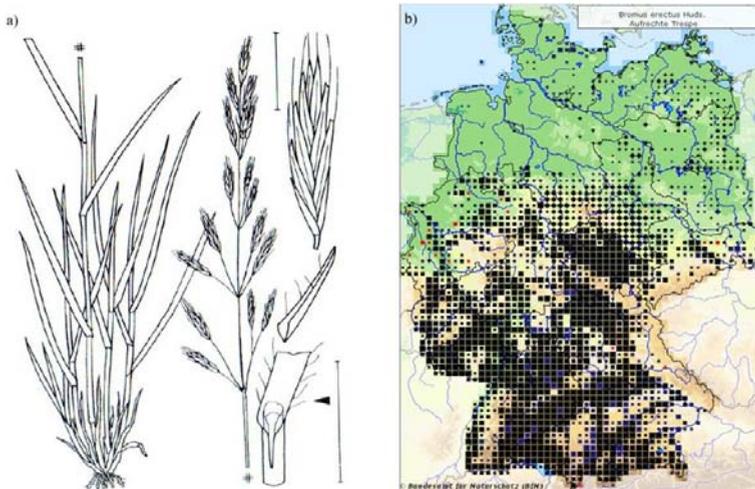


Abb. 1a) *Bromus erectus* HUDS. (JÄGER 2017), b) Verbreitungskarte von *B. erectus* in Deutschland (Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2013, <https://www.floraweb.de/webkarten/karte.html?taxnr=891>).

Fig. 1a) *Bromus erectus* HUDS. (JÄGER 2017), b) Distribution map of *B. erectus* in Germany (Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2013, <https://www.floraweb.de/webkarten/karte.html?taxnr=891>).

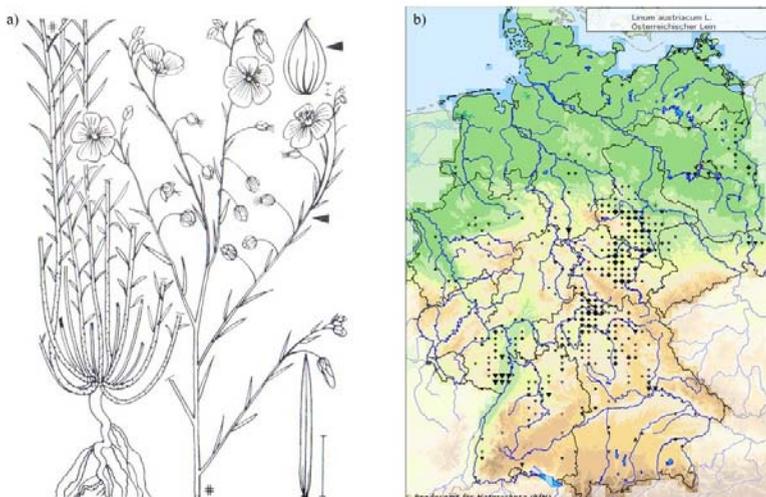


Abb. 2a) *Linum austriacum* L. (JÄGER 2017), b) Verbreitungskarte von *L. austriacum* in Deutschland (Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2013, <https://www.floraweb.de/webkarten/karte.html?taxnr=3455>).

Fig. 2a) *Linum austriacum* L. (JÄGER 2017), b) Distribution map of *L. austriacum* in Germany (Bundesamt für Naturschutz (BfN) 2013, <https://www.floraweb.de/webkarten/karte.html?taxnr=3455>).



Abb. 3 Gesamtansicht des Freiland-Topf-Experimentes im Botanischen Garten Halle (Saale): bepflanzte Mitscherlich-Töpfe mit *B. erectus* und *L. austriacum* (Foto: Tim Meier, 12.08.2020).

Fig. 3 General view of the field-pot-experiment in the Botanical Garden Halle (Saale): planted Mitscherlich pots with *B. erectus* and *L. austriacum* (Photo: Tim Meier, 12.08.2020).



Abb. 4 Draufsicht einiger Dichtestufen in den bepflanzten Mitscherlich-Töpfen mit *B. erectus* und *L. austriacum* (Foto: Tim Meier, 12.08.2020).

Fig. 4 Top view of some density levels in the planted Mitscherlich pots with *B. erectus* and *L. austriacum* (Photo: Tim Meier, 12.08.2020).

Tab. 1 Mittelwerte und Standardabweichung für die vegetativen und generativen Merkmale der Einzelindividuen von *Bromus erectus* und *Linum austriacum*.

Table 1 Mean values and standard deviation for the vegetative and generative traits of the single individuals of *Bromus erectus* and *Linum austriacum*.

| | <i>Bromus erectus</i> | <i>Linum austriacum</i> |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Vegetative Merkmale | | |
| Oberirdische Biomasse (g) | 18,81 ± 4,34 | 9,92 ± 7,46 |
| Wuchshöhe (cm) | 42,49 ± 8,00 | 59,14 ± 10,68 |
| Blatttrockenmasse (mg) | 68,18 ± 14,67 | 4,19 ± 2,84 |
| Blattfläche (cm ²) | 10,81 ± 1,72 | 0,52 ± 0,33 |
| SLA (cm ² /g) | 165,71 ± 45,86 | 213,27 ± 228,70 |
| LDMC (mg/g) | 231,38 ± 53,43 | 693,85 ± 141,71 |
| Generative Merkmale | | |
| Anzahl der Blütenstände (n) | - | 8,5 ± 1,60 |
| Anzahl der Kapseln (n) | - | 115,25 ± 12,32 |
| Samenfläche (mm ²) | - | 5,59 ± 0,90 |
| Samenmasse (mg) | - | 1,45 ± 0,61 |

3 Ergebnisse

3.1 Entwicklung der vegetativen Merkmale von *B. erectus* und *L. austriacum* in Monokulturen und Mischungen

Bei der oberirdischen Biomasse von *L. austriacum* konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den Mischungen nachgewiesen werden (Abb. 5a). Bei *B. erectus* nahm die oberirdische Biomasse mit zunehmender Dichtestufe von *B. erectus* in den Töpfen signifikant ab. Die Biomasse in der Monokultur Be5 und der Mischkultur La1Be4 war signifikant niedriger als in den anderen Mischungen (Abb. 5b). Die Wuchshöhe von *L. austriacum* zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den Mischkulturen (Abb. 5c). Dies galt ebenso für die Wuchshöhe von *B. erectus* (Abb. 5d). Die Blatttrockenmasse wies bei *L. austriacum* keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den Mischungen auf (Abb. 5e); für *B. erectus* lag die Mischung La2Be3 signifikant niedriger als bei La3Be2 (Abb. 5f). Für die Blattfläche von *L. austriacum* waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ansätzen erfassbar (Abb. 6a), jedoch konnten für *B. erectus* signifikante Unterschiede zwischen La2Be3 und La3Be2 verzeichnet werden (Abb. 6b). Für die SLA waren bei *L. austriacum* keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den Mischungen nachweisbar (Abb. 6c). Bei *B. erectus* konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Dichtestufen gefunden werden (Abb. 6d). Der LDMC zeigte bezüglich der Mono- und Mischkulturen keine Signifikanz für *L. austriacum* (Abb. 6e) und *B. erectus* (Abb. 6f).

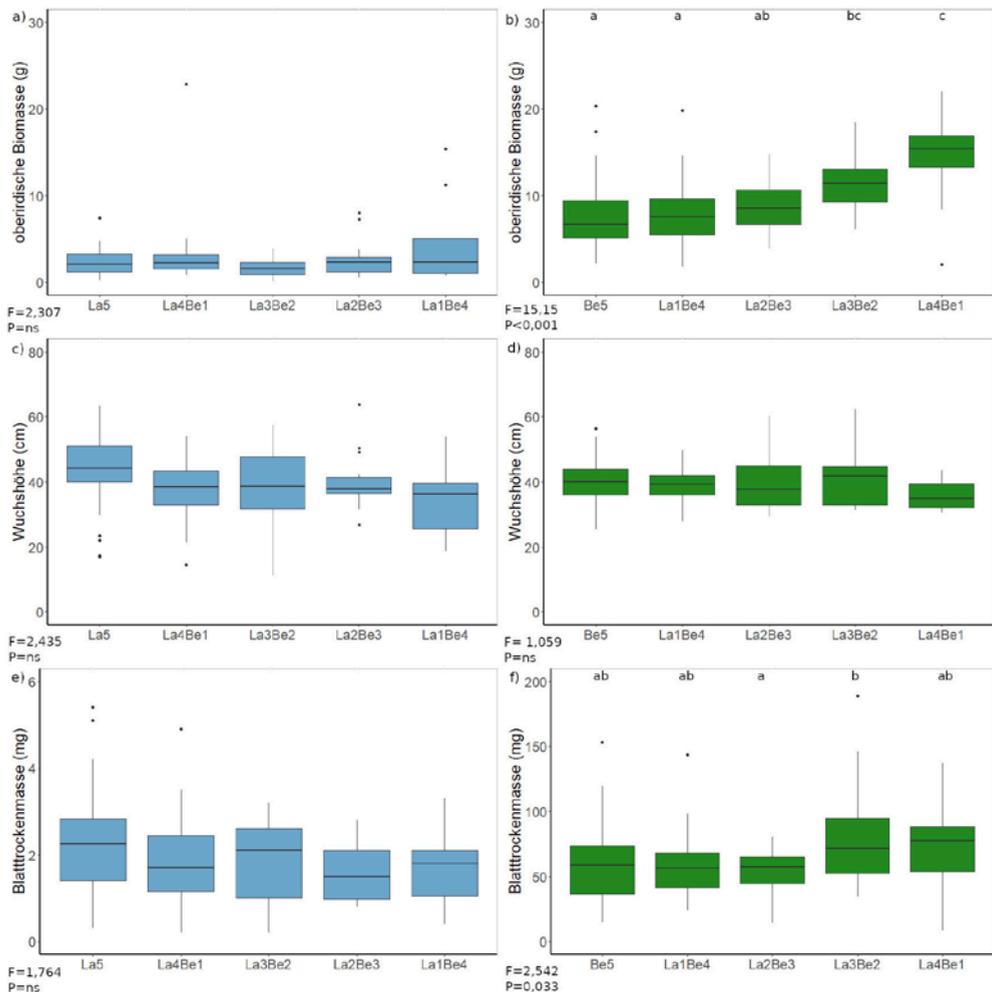


Abb. 5 a) Oberirdische Biomasse pro Individuum von *L. austriacum*, b) Oberirdische Biomasse pro Individuum von *B. erectus*, c) Wuchshöhe von *L. austriacum*, d) Wuchshöhe von *B. erectus*, e) Blatttrockenmasse von *L. austriacum*, f) Blatttrockenmasse von *B. erectus* bezüglich der Dichtestufen. Die Einteilung der x-Achse erfolgte nach abnehmender Dichtestufe der jeweiligen Art. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurde auf signifikante Unterschiede geprüft; F- und P-Werte sind angegeben. Buchstaben stellen signifikante Untermengen zwischen den Dichtestufen nach berechneten Tukey-Post-Hoc-Tests dar.

Fig. 5 a) Above-ground biomass per individual of *L. austriacum*, b) Above-ground biomass per individual of *B. erectus*, c) Plant height of *L. austriacum*, d) Plant height of *B. erectus*, e) Leaf dry mass of *L. austriacum*, f) Leaf dry mass of *B. erectus* regarding the density levels. The division of the x-axis was done according to decreasing density level of the respective species. One-way ANOVAs were used to test for significant differences; F- and P-values are given. Letters represent significant differences between density levels according to calculated Tukey's post hoc tests.

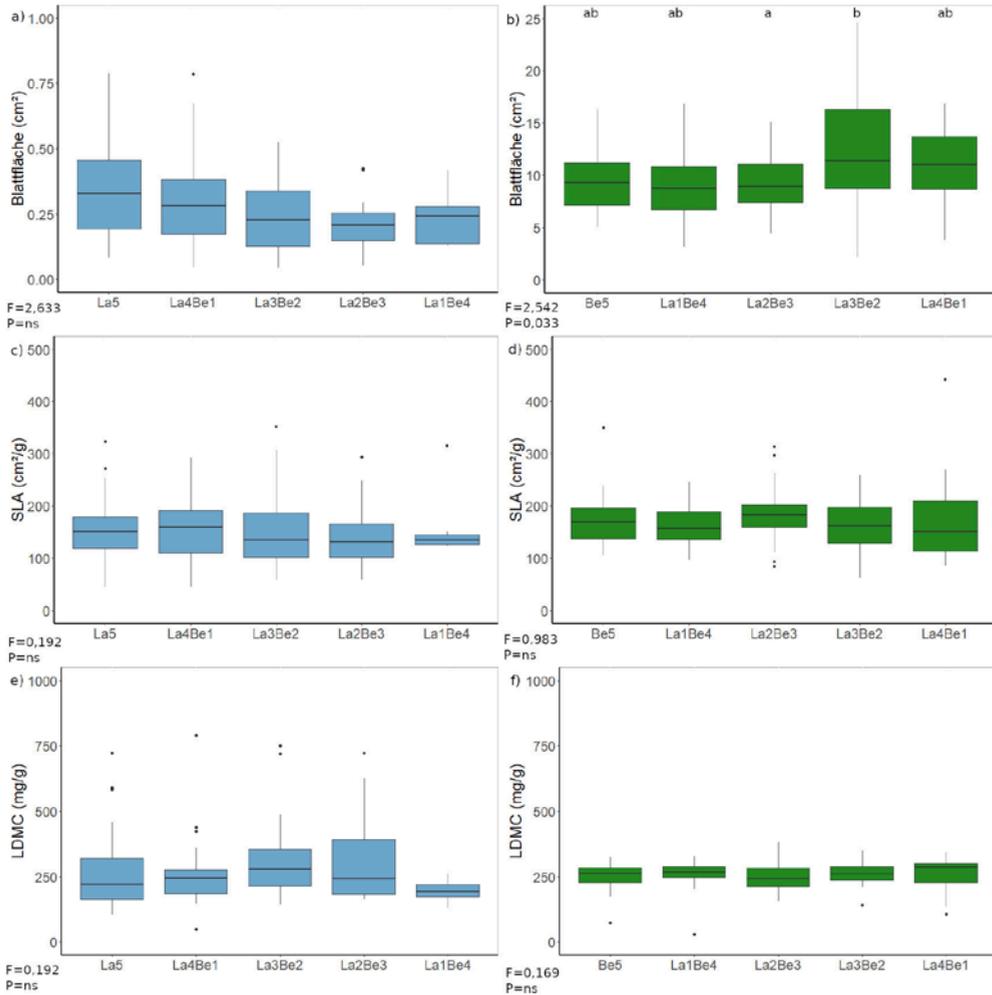


Abb. 6a) Blattfläche von *L. austriacum*, b) Blattfläche von *B. erectus*, c) SLA von *L. austriacum*, d) SLA von *B. erectus*, e) LDMC von *L. austriacum*, f) LDMC von *B. erectus* bezüglich der Dichtestufen. Die Einteilung der x-Achse erfolgte nach abnehmender Dichtestufe der jeweiligen Art. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurde auf signifikante Unterschiede geprüft; F- und P-Werte sind angegeben. Buchstaben stellen signifikante Untermengen zwischen den Dichtestufen nach berechneten Tukey-Post-Hoc-Tests dar.

Fig. 6a) Leaf area of *L. austriacum*, b) Leaf area of *B. erectus*, c) SLA of *L. austriacum*, d) SLA of *B. erectus*, e) LDMC of *L. austriacum*, f) LDMC of *B. erectus* regarding the density levels. The division of the x-axis was done according to decreasing density level of the respective species. One-way ANOVAs were used to test for significant differences; F- and P-values are given. Letters represent significant differences between density levels according to calculated Tukey's post hoc tests.

3.2 Entwicklung der generativen Merkmale von *L. austriacum* in Monokulturen und Mischungen

Innerhalb des Versuchszeitraumes bildete nur *L. austriacum* generative Merkmale aus, *B. erectus* allerdings nicht, sodass diese Parameter nur für *L. austriacum* ausgewertet werden konnten. Hinsichtlich der Anzahl der Blütenstände zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (Abb. 7a). Die Anzahl der Kapseln war signifikant am höchsten in der Monokultur und nahm mit zunehmender Dichte von *B. erectus* in den Mischungen ab (Abb. 7b). Die Fläche der Samen war in der Monokultur signifikant größer als in den Mischungen (Abb. 7c). Dagegen war bei der Samenmasse kein signifikanter Unterschied zwischen der Monokultur und den Mischungen zu finden (Abb. 7d).

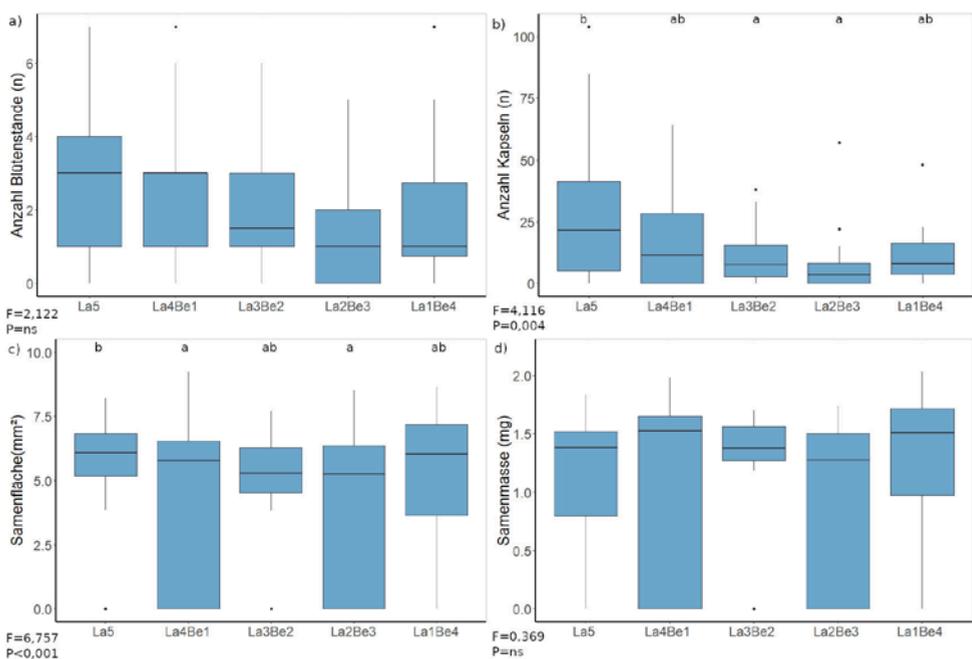


Abb. 7a) Anzahl der Blütenstände von *L. austriacum*, b) Kapselanzahl von *L. austriacum*, c) Samenfläche von *L. austriacum*, d) Samenmasse von *L. austriacum* bezüglich der Dichtestufen. Die Einteilung der x-Achse erfolgte nach abnehmender Dichtestufe der jeweiligen Art. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurde auf signifikante Unterschiede geprüft; F- und P-Werte sind angegeben. Buchstaben stellen signifikante Untermengen zwischen den Dichtestufen nach berechneten Tukey-Post-Hoc-Tests dar.

Fig. 7a) Number of inflorescences of *L. austriacum*, b) Number of capsules of *L. austriacum*, c) Seed area of *L. austriacum*, d) Seed mass of *L. austriacum* regarding the density levels. The division of the x-axis was done according to decreasing density level of the respective species. One-way ANOVAs were used to test for significant differences; F- and P-values are given. Letters represent significant differences between density levels according to calculated Tukey's post hoc tests.

3.3 Interaktionen von *B. erectus* und *L. austriacum* in Monokulturen und Mischungen

Der RII der Biomasse von *L. austriacum* ergab leicht negative Werte, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den Mischungen erfasst wurden (Abb. 8a). Für *B. erectus* lag der RII in der Monokultur im negativen Bereich und stieg in den Mischungen signifikant mit abnehmender Dichte von *B. erectus* in den Töpfen bis nahe Null an (Abb. 8b). Die RII-Werte der Wuchshöhe von *L. austriacum* lagen im leicht negativen Bereich und für *B. erectus* um Null. Bei beiden Arten traten keine signifikanten Unterschiede auf (Abb. 8c, 8d). Ähnliches galt auch für die RII-Werte bezogen auf die Blattockenmasse beider Arten (Abb. 8e, 8f). Die RII-Werte für die Blattfläche - sowohl für *L. austriacum* als auch für *B. erectus* - lagen leicht über oder unter Null (Abb. 9a, 9b). Dies galt auch für die RII-Werte der SLA und LDMC für beide Arten. Auch hier lagen die Werte um Null, und es traten keine signifikanten Unterschiede auf (Abb. 9c – 9f).

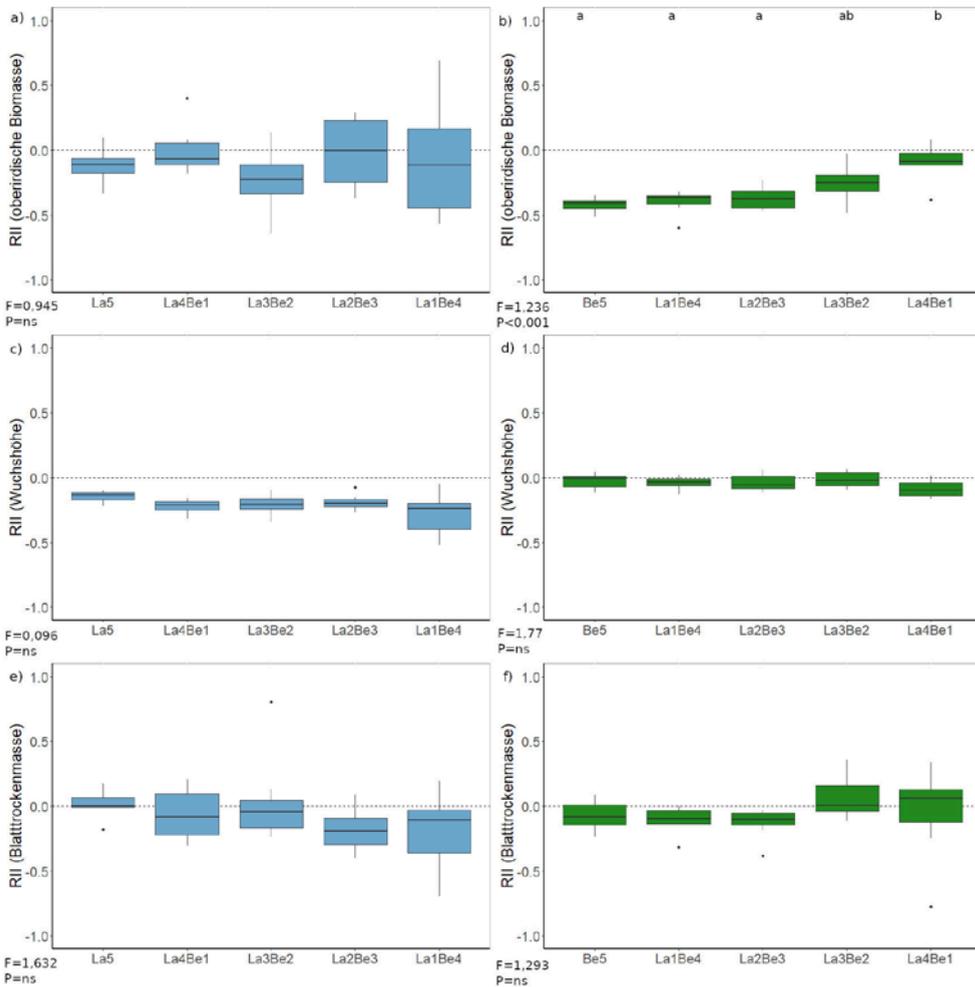


Abb. 8a) RII der oberirdischen Biomasse von *L. austriacum*, b) RII der oberirdischen Biomasse von *B. erectus*, c) RII der Wuchshöhe von *L. austriacum*, d) RII der Wuchshöhe von *B. erectus*, e) RII der Blatttrockenmasse von *L. austriacum*, f) RII der Blatttrockenmasse von *B. erectus* bezüglich der Dichtestufen. Die Einteilung der x-Achse erfolgte nach abnehmender Dichtestufe der jeweiligen Art. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurde auf signifikante Unterschiede geprüft; F- und P-Werte sind angegeben. Buchstaben stellen signifikante Untermengen zwischen den Dichtestufen nach berechneten Tukey-Post-Hoc-Tests dar.

Fig. 8a) RII of above-ground biomass of *L. austriacum*, b) RII of above-ground biomass of *B. erectus*, c) RII of plant height of *L. austriacum*, d) RII of plant height of *B. erectus*, e) RII of leaf dry mass of *L. austriacum*, f) RII of leaf dry mass of *B. erectus* regarding the density levels. The division of the x-axis was done according to decreasing density level of the respective species. One-way ANOVAs were used to test for significant differences; F- and P-values are given. Letters represent significant differences between density levels according to calculated Tukey's post hoc tests.

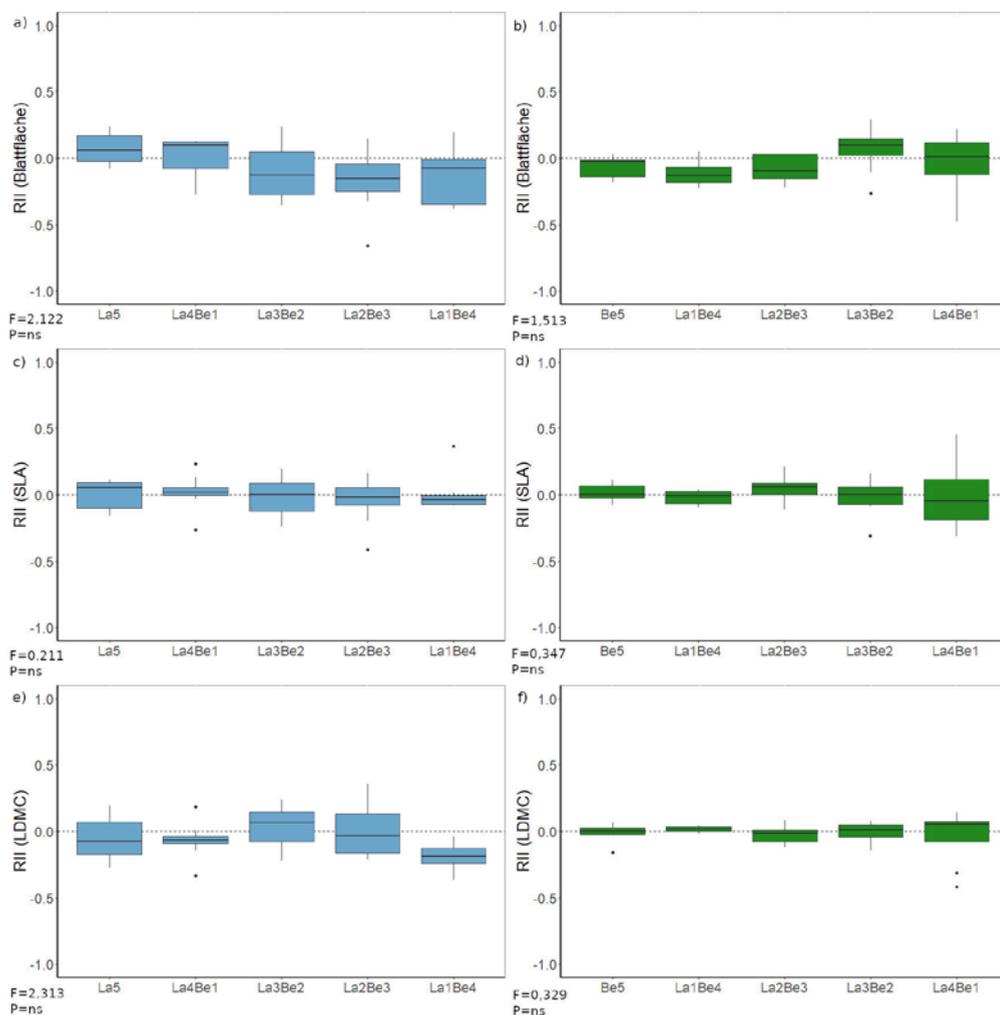


Abb. 9a) RII der Blattfläche von *L. austriacum*, b) RII der Blattfläche von *B. erectus*, c) RII der SLA von *L. austriacum*, d) RII der SLA von *B. erectus*, e) RII der LDMC von *L. austriacum*, f) RII der LDMC von *B. erectus* bezüglich der Dichtestufen. Die Einteilung der x-Achse erfolgte nach abnehmender Dichtestufe der jeweiligen Art. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurde auf signifikante Unterschiede geprüft; F- und P-Werte sind angegeben. Buchstaben stellen signifikante Untermengen zwischen den Dichtestufen nach berechneten Tukey-Post-Hoc-Tests dar.

Fig. 9a) RII of leaf area of *L. austriacum*, b) RII of leaf area of *B. erectus*, c) RII of SLA of *L. austriacum*, d) RII of SLA of *B. erectus*, e) RII of LDMC of *L. austriacum*, f) RII of LDMC of *B. erectus* regarding the density levels. The division of the x-axis was done according to decreasing density level of the respective species. One-way ANOVAs were used to test for significant differences; F- and P-values are given. Letters represent significant differences between density levels according to calculated Tukey's post hoc tests.

3.4 RII der generativen Merkmale

Der RII bezogen auf die Anzahl der Blütenstände von *L. austriacum* lag in der Monokultur bei nahe Null und wurde in den Mischungen mit zunehmender Dichte des Grases negativer; allerdings waren die Unterschiede nicht signifikant (Abb. 10a). Die RII-Werte für die Anzahl der Kapseln lagen im deutlich negativen Bereich, wobei die geringsten Werte in der Monokultur zu finden waren. In den Mischungen wurden die Werte mit zunehmender Grasdichte negativer (Abb. 10b). Sowohl bei dem RII der Samenfläche (Abb. 10c) als auch dem RII der Samenmasse wurden nur Werte um Null erfasst, und es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den Mischungen (Abb. 10c – 10d).

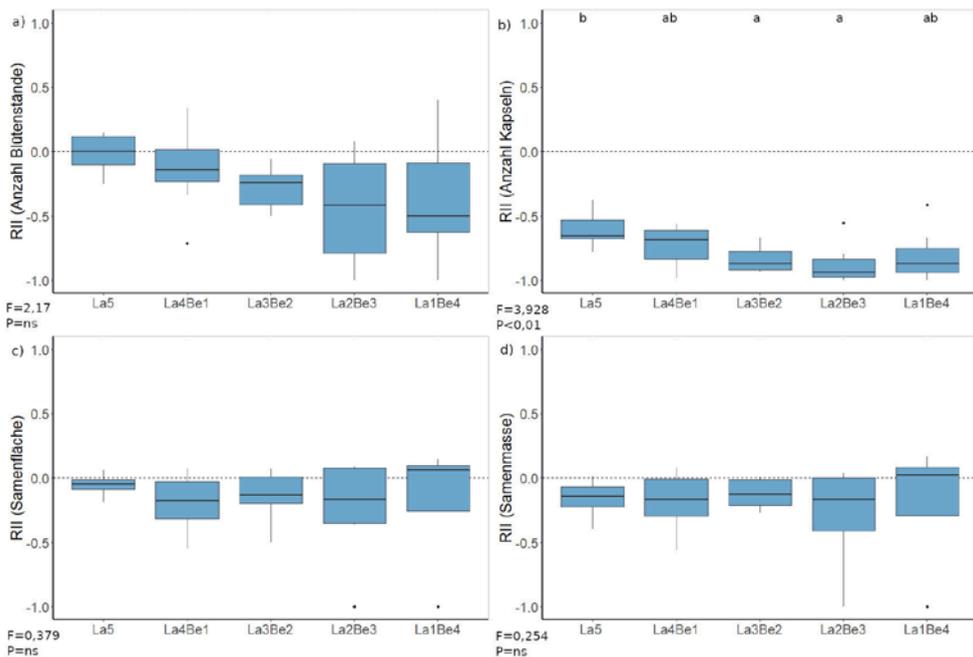


Abb. 10a) RII der Anzahl Blütenstände von *L. austriacum*, b) RII der Kapselanzahl von *L. austriacum*, c) RII der Samenfläche von *L. austriacum*, d) RII der Samenmasse von *L. austriacum* bezüglich der Dichtestufen. Die Einteilung der x-Achse erfolgte nach abnehmender Dichtestufe der jeweiligen Art. Mithilfe von einfaktoriellen ANOVAs wurde auf signifikante Unterschiede geprüft; F- und P-Werte sind angegeben. Buchstaben stellen signifikante Untermengen zwischen den Dichtestufen nach berechneten Tukey-Post-Hoc-Tests dar.

Fig. 10a) RII of the number of inflorescences of *L. austriacum*, b) RII of the number of capsules of *L. austriacum*, c) RII of the seed area of *L. austriacum*, d) RII of the seed mass of *L. austriacum* regarding the density levels. The division of the x-axis was done according to decreasing density level of the respective species. One-way ANOVAs were used to test for significant differences; F- and P-values are given. Letters represent significant differences between density levels according to calculated Tukey's post hoc tests.

4 Diskussion

1. Entwicklung der vegetativen und generativen Merkmale von *B. erectus* und *L. austriacum* in den Monokulturen und Mischungen

In dieser Studie konnte nachgewiesen werden, dass sich die untersuchten vegetativen Merkmale oberirdische Biomasse, Wuchshöhe, Blatttrockenmasse, Blattfläche, SLA und LDMC von *L. austriacum* nicht signifikant unterschieden, trotz zunehmender Dichtestufe von *B. erectus* in den Mischungen. Das zeigte, dass die vegetative Entwicklung von *L. austriacum* nicht oder nur geringfügig durch die Anwesenheit des Grases *B. erectus* beeinflusst wurde. Demgegenüber wies aber die Anwesenheit des Grases einen signifikant negativen Effekt auf die beiden generativen Merkmale Anzahl der Kapseln und Samenflächen der dikotylen Art *L. austriacum* auf. Die Anzahl der Blütenstände und die Samenmassen wurden nicht signifikant beeinflusst.

Bei *B. erectus* ergab sich bei Anwesenheit von *L. austriacum* für die vegetativen Parameter oberirdische Biomasse, Blatttrockenmasse und Blattfläche eine signifikante Zunahme der Werte mit abnehmender Anzahl der Grasindividuen im Topf. Die vegetativen Parameter Wuchshöhe, SLA und LDMC zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Monokulturen und Mischungen.

Diese Ergebnisse zeigten, dass mit zunehmender Dichte an Individuen verschiedener Arten oder der gleichen Art in den Töpfen eine Abnahme des artspezifischen Wachstums erfolgte (CONNOLLY 1986, PARTZSCH 2019). Diese Reaktion entsteht durch die Konkurrenz um notwendige, aber limitierte Ressourcen (TRINDER et al. 2013, ASCHEHOUG et al. 2016). Neben Nährstoffen und Wasser wird auch das Licht durch eine zunehmende Individuendichte im Topf reduziert, wobei bessere Lichtverhältnisse bei den Individuen zu einem höheren, früheren und schnelleren Wachstum führen können (FARRER & GOLDBERG 2011, CRAINE & DYBZINSKI 2013). Es wurde gezeigt, dass die verschiedenen funktionellen Merkmale einer Pflanze sehr unterschiedlich auf die Anwesenheit von Nachbarpflanzen reagieren können. Hier zeigte sich vor allem ein deutlicher Einfluss auf die oberirdische Biomasse, wohingegen andere vegetative Merkmale nahezu keinen Effekt aufwiesen. Dies wurde bereits für andere Artenkombinationen wie dem Gras *Festuca rupicola* und den dikotylen Arten *Biscutella laevigata*, *Filipendula vulgaris*, *Scabiosa canescens* und *Veronica spicata* gezeigt (PARTZSCH 2019) bzw. *B. erectus* und anderen Gräsern wie *Brachypodium pinnatum*, *Stipa capillata* und *S. tirsia* (MEIER et al. in Vorbereitung).

2. Intra- und interspezifische Interaktionen bei *B. erectus* und *L. austriacum*

Für alle untersuchten vegetativen Merkmale von *L. austriacum* konnten mit Hilfe des RII keine signifikanten Unterschiede zwischen den Monokulturen und Mischungen nachgewiesen werden. Dies zeigte, dass *L. austriacum* sehr ähnlich auf inner- und zwischenartliche Interaktionen reagiert. Dabei lagen die RII-Werte um oder leicht unter Null, also im negativen Bereich, was auf eine geringe Konkurrenz hinweist. Es zeigte sich allerdings der Trend, dass die niedrigsten Werte immer in den Töpfen mit der höchsten Anzahl von Grasindividuen auftraten. Das lässt vermuten, dass im Freiland *L. austriacum* mit zunehmender Abundanz von *B. erectus* durchaus unter Konkurrenzdruck kommen kann.

Bei den generativen Merkmalen bezüglich der Anzahl der gebildeten Kapseln zeigte sich, dass die Monokultur deutlich im negativen Bereich lag, was eine relativ starke intraspezifische Konkurrenz bei diesem Parameter anzeigte, wobei die RII-Werte in den Mischungen mit zunehmender Anzahl von *B. erectus*-Individuen im Topf signifikant abnahmen. Hieraus ergibt sich eine deutlich stärkere zwischenartliche als innerartliche Konkurrenz. Ein ähnlicher, aber nicht signifikanter Trend zeigte sich auch bei der Anzahl der Blütenstände. Es wird deutlich, dass sich negative Interaktionen stärker auf generative als auf vegetative Merkmale auswirken (FRÉVILLE & SILVERTOWN 2005, PARTZSCH 2011).

Für *B. erectus* wurde nur ein Unterschied bei den Interaktionen zwischen Monokultur und Mischungen für den Parameter oberirdische Biomasse nachgewiesen. Dies zeigte, dass die intraspezifische Konkurrenz stärker war als die interspezifische Konkurrenz, wobei diese mit abnehmender Anzahl der Gras-Individuen im Topf bis in den neutralen Bereich anstieg. Alle anderen vegetativen Parameter von *B. erectus* wurden kaum durch intra- und interspezifische Interaktionen beeinflusst und lagen meist im neutralen Bereich.

Besonders der RII der oberirdischen Biomasse stieg mit abnehmender Dichtestufe von *B. erectus*. Eine höhere Bewuchsdichte führt zu einer geringeren Biomasse pro Individuum und letztlich zur Selbstlimitierung der Art (BLANK 2010, MÜLLER et al. 2016). Dies bestätigt erneut, dass die intraspezifische Konkurrenz stärker als die interspezifische Konkurrenz ist (FARRER & GOLDBERG 2011, PARTZSCH 2019). Diese Form der Selbstlimitierung durch innerartliche Konkurrenz stimmt mit der Theorie der Koexistenz von Arten überein, die besagt, dass Konkurrenz unweigerlich eine Abnahme von Biodiversität zur Folge hat (ASCHEHOUG & CALLAWAY 2015). Dabei sollte die Wirkung der innerartlichen Konkurrenz stärker als die der zwischenartlichen Konkurrenz sein, um den Mechanismus zur Regelung der Abundanz der Arten und deren Koexistenz zu stabilisieren (CHESSON 2000, SILVERTOWN 2004).

Bromus erectus wird dem kompetitiven und stresstoleranten Strategietyp zugeordnet (CS-Type) (GRIME 2001), was die starke Konkurrenzkraft unterstreicht. Dadurch besitzt diese Art eine höhere Anpassungsfähigkeit an verändernde abiotische Faktoren. Außerdem wächst *B. erectus* als Horst und bildet daher eine dichte Blattstruktur aus, die für einen geringeren Lichteinfall auf den Boden sorgt und somit Keimung, Etablierung und Wachstum dikotyler Arten negativ beeinflussen kann (WALKER & PINCHES 2011, RIDDING et al. 2020). *Linum austriacum* wird ebenso diesem CS-Typ zugeordnet, was durchaus ein Grund für die relativ geringe zwischenartliche Konkurrenz der beiden Arten sein kann.

Die Ergebnisse dieser Studie verdeutlichten, dass die verschiedenen vegetativen und generativen Merkmale der Arten unterschiedlich, sowohl durch inner- als auch zwischenartliche Konkurrenz, auf die Anwesenheit einer benachbarten Art reagieren können. Es gab allerdings artspezifische Unterschiede. Ähnliche Ergebnisse konnten bereits in anderen Studien gefunden werden, die Konkurrenzeffekte von

Gräsern (z. B. *Festuca rupicola*) auf vegetative und generative Merkmale von dikotylen Arten, wie z. B. *Alyssum montanum*, *Biscutella laevigata*, *Campanula glomerata*, *Dianthus carthusianorum*, *Filipendula vulgaris*, *Scabiosa cansecens* und *Veronica spicata* nachweisen konnten (BACHMANN et al. 2005, PARTZSCH & BACHMANN 2011, PARTZSCH et al. 2011, PARTZSCH 2013, 2014, 2019, SCHULZE et al. 2014). Auch hier reagierte der Parameter oberirdische Biomasse am stärksten auf die Nachbarschaftseffekte. Für die Bewertung der pflanzlichen Interaktionen auf die Fitness der Arten ist vor allem die Erhebung der generativen Merkmale wichtig, die häufig stärker auf Konkurrenz reagieren als die vegetativen Parameter, was bei *L. austriacum* an der Verringerung der Kapselanzahl mit zunehmender interspezifischer Konkurrenz deutlich wurde.

3. Ableitung naturschutzfachlicher Empfehlungen

Unsere Ergebnisse haben gezeigt, dass die negativen Nachbarschaftseffekte zwischen dem Gras *B. erectus* und *L. austriacum* als eher gering einzuschätzen sind. Analysen der Interaktionen des Grases *Festuca rupicola* auf *Alyssum montanum*, *Biscutella laevigata*, *Campanula glomerata*, *Dianthus carthusianorum*, *Filipendula vulgaris*, *Scabiosa cansecens* und *Veronica spicata* zeigten deutlich negativere Auswirkungen (BACHMANN et al. 2005, PARTZSCH & BACHMANN 2011, PARTZSCH et al. 2011, PARTZSCH 2013, 2014, 2019, SCHULZE et al. 2014). Ursache kann sein, dass sich die Wuchsformen von *B. erectus* und *F. rupicola* deutlich unterscheiden: *B. erectus* bildet zwar hochwüchsige, aber eher lockere Horste, während *F. rupicola* recht kompakte Horste aus sehr zahlreichen, haarartigen Blättern bildet (JÄGER 2017, PARTZSCH 2019).

Gegenwärtig erlangt *B. erectus* innerhalb der xerothermen Pflanzengesellschaften Mitteldeutschlands zunehmend an Dominanz und kann sich auf neuen Standorten schnell etablieren (MEIER et al. 2021, MEIER et al. in Vorber.). Dabei spezialisiert sich die Art in den ersten Lebensjahren auf starkes Wurzelwachstum (MARTI 1994, JÄGER 2017), indem die vegetative Reproduktion über Rhizome gefördert wird (ZSCHOKKE et al. 2000). Außerdem konnte experimentell nachgewiesen werden, dass sich das Populationswachstum von *B. erectus* unter zukünftigen klimatischen Bedingungen erhöhen könnte (LEMMER et al. 2021). Daher ist anzunehmen, dass *B. erectus* und weitere dominierende Gräser längerfristig die Populationen, insbesondere die Fitness von *L. austriacum* beeinträchtigen, zumal dikotyle Xerothermrasenarten generell als konkurrenzschwächer als Gräser gelten und sich mit zunehmender Dominanz von Gräsern die Artenvielfalt der Xerothermrasen verringern könnte (BOBBINK et al. 1998, PARTZSCH 2000, 2001, BORNKAMM 2006, 2008, PARTZSCH & BACHMANN 2011, SCHULZE et al. 2014).

Um die artenreichen, z. T. stark gefährdeten und seltenen, Xerothermrasen (FRANK et al. 2020) und damit auch die Bestände von konkurrenzschwachen, gefährdeten dikotylen Arten zu schützen, sollten Maßnahmen zum Erhalt und Schutz dieser Flächen eingeleitet werden. Dafür muss die traditionelle Landnutzung, insbesondere die Beweidung mit Schafen und Ziegen weitergeführt werden. Dies senkt nicht nur den Konkurrenzdruck, der von Gräsern, wie *B. erectus*, ausgeht, sondern schützt auch vor Verbuschung (DOSTÁLEK & FRANTÍK 2008, ELIAS et al. 2013, 2018). Die einfache Mahd hingegen ist hier nicht hilfreich, da insbesondere das Wachstum von *B. erectus* gefördert wird (DIEKMANN et al. 2019). Es bietet sich eher eine extensive Beweidung im Spätsommer (CROFTS & JEFFERSON 1999, DOSTÁLEK & FRANTÍK 2012, HEJCMANOVÁ et al. 2016) und eine intensive Beweidung im Frühjahr an (DOSTÁLEK & FRANTÍK 2012, ELIAS & TISCHEW 2016, ELIAS et al. 2018).

5 Zusammenfassung

SPLITH, M., HENSEN, I., PARTZSCH, M., MEIER, T.: Intra- und interspezifische Interaktionen in Xerothermrassen zwischen dem dominanten Gras *Bromus erectus* und der dikotylen Art *Linum austriacum*. - *Hercynia* N. F. 54/2 (2021): 157 – 179.

Innerhalb der Xerothermrassen interagieren Pflanzenarten in vielfältiger Weise. Die Interaktionen können einen positiven (Förderung) oder negativen (Konkurrenz) Effekt auf Individuen gleicher (intraspezifisch) oder verschiedener (interspezifisch) Arten haben. Diese Interaktionen werden durch die vielfältigen Prozesse des Globalen Wandel beeinflusst, was besonders in den Xerothermrassen spürbar wird, wo limitierte Ressourcen eine entscheidende Rolle für das Wachstum der Arten spielen. Vor allem Gräser, wie *Bromus erectus*, nehmen in ihrer Dominanz zu und scheinen konkurrenzstärker als Dikotyle zu sein. In dieser Studie wurden die intra- und interspezifischen Interaktionen zwischen *B. erectus* und *Linum austriacum*, einer dikotylen Art, untersucht. Dafür wurde ein Freiland-Topf-Experiment nach dem „replacement design“ mit verschiedenen Dichtestufen (Mono- und Mischkulturen) durchgeführt und folgende funktionellen Merkmale erhoben: oberirdische Biomasse, Wuchshöhe, Blattfläche, Blatttrockenmasse, SLA, LDMC, von *L. austriacum* auch Anzahl der Blütenstände, Kapselanzahl, Samenmasse und Samenfläche. Anschließend wurde zu jedem Parameter der „Relative Interaction Index“ (RII) berechnet. Die funktionellen Merkmale und der RII wurden mithilfe von einfaktoriellen ANOVA's und Tukey-Post-Hoc-Tests auf signifikante Unterschiede geprüft. Die Entwicklung der vegetativen Merkmale von *L. austriacum* zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen der Monokultur und den verschiedenen Mischungen, nur die generativen Merkmale Kapselanzahl und Samenfläche waren in der Monokultur signifikant höher und sanken mit steigender Anzahl von *B. erectus*-Individuen in den Töpfen. Bei *B. erectus* war nur eine signifikante Zunahme der Biomasse mit abnehmender Anzahl der Grasindividuen im Topf nachweisbar. Die Interaktionen bezüglich der vegetativen Parameter von *L. austriacum* lagen mehr oder weniger im neutralen Bereich, nur bei der Anzahl der Kapseln wurde ein signifikant negativer Effekt deutlich, wobei der Konkurrenzdruck auf *L. austriacum* mit zunehmender Grasdichte in den Töpfen anstieg. Bei *B. erectus* ergab sich ein starker Konkurrenzdruck auf die Biomasse vor allem in der Monokultur, der allerdings in den Mischungen mit abnehmender Grasdichte signifikant geringer wurde. Das zeigt, dass durch verstärkte intraspezifische Konkurrenz eine Selbstlimitierung von *B. erectus* entstehen kann. Generell ist das Ausmaß der Interaktionen zwischen *L. austriacum* und *B. erectus* als relativ gering einzuschätzen. Die Ergebnisse der Studie zeigten jedoch deutlich negative Effekte von *B. erectus* auf die Fitness von *L. austriacum*, was längerfristig die Populationsdichte von *L. austriacum* in den Xerothermrassen negativ beeinflussen kann. Um einen eventuellen Verlust an Phytodiversität durch expandierende Gräser entgegenzuwirken, sollte die traditionelle Beweidung der Xerothermrassen wieder eingeführt bzw. fortgesetzt werden.

6 Danksagung

Wir bedanken uns besonders bei Frau Katrin Kittlaus für die Hilfe bei der praktischen Vorbereitung der Freiland- und Laborarbeiten. Außerdem danken wir den Gärtnern des Botanischen Gartens Halle (Saale), die das Substrat zur Verfügung gestellt und unsere Pflanzen nach Bedarf bewässert haben.

7 Literaturverzeichnis

- ADLER, P. B., HILLERISLAMBERS, J., LEVINE, J. M. (2007): A niche for neutrality. - *Ecol. Lett.* 10: 95 – 104.
- ADLER, P. B., LEIKER, J., LEVINE, J. M. (2009): Direct and indirect effects of climate change on a prairie plant community. - *PLoS One* 4: e6887.
- ANTHELME, F., CAVIERES, L. A., DANGLES, O. (2014): Facilitation among plants in alpine environments in the face of climate change. - *Front. Plant Sci.* 5: 387.
- ARMAS C., ORDIALES R., PUGNAIRE F.I. (2004): Measuring plant interactions: a new comparative index. - *Ecol.* 85: 2682 – 2686.
- 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. Syst.* 47: 263 – 281.
- BACHMANN, U., HENSEN, I., PARTZSCH, M. (2005): Is *Campanula glomerata* threatened by competition of expanding grasses? - *Plant Ecol.* 180: 257 – 265.
- BEGON, M., SAIT, S., THOMPSON, D. (1996): Predator–prey cycles with period shifts between two-and three-species systems. - *Nature* 381: 311 – 315.
- BLANK, R. R. (2010): Intraspecific and interspecific pair-wise seedling competition between exotic annual grasses and native perennials: plant-soil relationships. - *Plant Soil* 326: 331 – 343.
- BOBBINK, R., HORNING, 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.
- BOBBINK, R., HICKS, K., GALLOWAY, J., SPRANGER, T., ALKEMADE, R., et al. (2010): Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. - *Ecol. Appl.* 20: 30 – 59.
- BORNKAMM, R. (2006): Fifty years development of a xerothermic calcareous grassland in Central Europe after heavy disturbance. - *Flora* 201: 249 – 267.
- BORNKAMM, R. (2008): Einige Überlegungen zur Einwanderung von *Bromus erectus* HUDS. in Süd-Niedersachsen. - *Braunschw. Geobot. Arb.* 9: 83 – 95.
- BRUNO, J. F., STACHOWICZ, J. J., BERTNESS, M. D. (2003): Inclusion of facilitation into ecological theory. - *Trends Ecol Evol* 18: 119 – 125.
- BROOKER, R. W. (2006): Plant–plant interactions and environmental change. - *New Phytol.* 171: 271 – 284.
- BROOKER, R. W., MAESTRE, F. T., CALLAWAY, R. M., LORTIE, C. L., CAVIERES, L. A., et al. (2008): Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. - *J. Ecol.* 96: 18 – 34.
- BULLOCK, J. (2009): A Long-Term Study of the Roles of Competition and Facilitation in the Establishment of an Invasive Pine following Heathland Fires. - *J. Ecol.* 97: 646 – 656.
- CALLAWAY, R. M. (1995): Positive interactions among plants. - *Bot. Review* 61: 306 – 349.
- CALLAWAY, R. M. (2007): Positive interactions and interdependence in plant communities. - Springer, Dordrecht.
- CALLAWAY, R. M., WALKER, L. R. (1997): Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. - *Ecol.* 78: 1958 – 1965.
- CAVIERES, L. A., BROOKER, R. W., BUTTERFIELD, B. J., COOK, B. J., KIKVIDZE, Z., et al. (2014): Facilitative plant interactions and climate simultaneously drive alpine plant diversity. - *Ecol. Letters* 17: 193 – 202.
- CHESSON, P. (2000): Mechanisms of maintenance of species diversity. - *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 31: 343 – 366.
- CONNOLLY, J. (1986): On difficulties with replacement-series methodology in mixture experiments. - *J. Appl. Ecol.* 23: 125 – 137.
- CRAINE, J. M., DYBZINSKI, R. (2013): Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light. - *Funct. Ecol.* 27: 833 – 840.
- CROFTS, A., JEFFERSON, R. G. (1999): *The Lowland Grassland Management Handbook*, 2nd ed. - English Nature/The Wildlife Trusts, Peterborough.
- DEL-VAL, E., CRAWLEY, M. J. (2005): What limits herb biomass in grasslands: competition of herbivory? - *Oecologia* 142: 202 – 211.

- DE WIT, C. T. (1960): On competition. - Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 66: 1 – 82.
- DIEKMANN, M., JANDT, U., ALARD, D., BLEEKER, A., CORCKET, E., et al. (2014): Long-term changes in calcareous grassland vegetation in North-western Germany no decline in species richness, but a shift in species composition. - *Biol. Conserv.* 172: 170 – 179.
- DIEKMANN, M., ANDRES, C., BECKER, T., BENNIE, J., BLÜML, V., et al. (2019): Patterns of long-term vegetation change vary between different types of semi-natural grasslands in Western and Central Europe. - *J. Veg. Sci.* 30: 1 – 16.
- DOHN, J., DEMBÉLÉ, F., KAREMBÉ, M., MOUSTAKAS, A., AMÉVOR, K. A., HANAN, N. P. (2013): Tree effects on grass growth in savannas: competition, facilitation and the stress-gradient hypothesis. - *J. Ecol.* 101: 202 – 209.
- DOSTÁLEK, J., FRANTÍK, T. (2008): Dry grassland plant diversity conservation using low intensity sheep and goat grazing management: case study in Prague (Czech Republic). - *Biodiv. Conserv.* 17: 1439 – 1454.
- DOSTÁLEK, J., FRANTÍK, T. (2012): The impact of different grazing periods in dry grasslands on the expansive grass *Arrhenatherum elatius* L. and on woody species. - *Environ. Manag.* 49: 855 – 861.
- DUPRÉ, C., STEVENS, C. J., RANKE, T., BLEEKER, A., PEPLER-LISBACH, C., et al. (2010): Changes in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years: the contribution of cumulative atmospheric nitrogen deposition. - *Global Change Biol.* 16: 344 – 357.
- ELIAS, D., TISCHEW, S. (2016): Goat pasturing – A biological solution to counteract shrub encroachment on abandoned dry grasslands in Central Europe? - *Agric., Ecosyst. Environ.* 234: 98 – 106.
- ELIAS, D., MANN, S., TISCHEW, S. (2013): Die Steppenrasen im Unteren Saaletal (Sachsen- Anhalt) - Wiederherstellung und Pflege durch Ziegenbeweidung. In: *Steppenlebensräume Europas - Gefährdung, Erhaltungsmaßnahmen und Schutz*. - Tagungsband, Erfurt: 351 – 354.
- ELIAS, D., HÖLZEL, N., TISCHEW, S. (2018): Goat paddock grazing improves the conservation status of shrub-encroached dry grasslands. - *Tuexenia* 38: 215 – 233.
- ENRIGHT, N. J., FONTAINE, J. B., LAMONT, B. B., MILLER, B. P., WESTCOTT, V. C. (2014): Resistance and resilience to changing climate and fire regime depend on plant functional traits. - *J. Ecol.* 102: 1572 – 1581.
- ENYEDI, Z. K., RUPRECHT, E., DEAK, M. (2008): Long-term effects of the abandonment of grazing on steppe-like grasslands. - *Appl. Veg. Sci.* 11: 53 – 60.
- FARRER, E. C., GOLDBERG, D. E. (2011): Patterns and mechanisms of conspecific and heterospecific interactions in a dry perennial grassland. - *J. Ecol.* 99: 265 – 276.
- FAUST, C., STORM, C., SCHWABE, A. (2012): Shifts in plant community structure of a threatened sandy grassland over a 9-yr period under experimentally induced nutrient regimes. Is there a lag phase? - *J. Veg. Sci.* 23: 372 – 386.
- 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., SCHNITZER, P. (Hrsg.) (2016): *Pflanzen und Tiere in Sachsen-Anhalt. Ein Kompendium der Biodiversität*. - Natur + Text GmbH, Rangsdorf.
- FRANK, D., BRADE, P., ELIAS, D., GLOWKA, B., HOCH, A., et al. (2020): *Rote Listen Sachsen-Anhalt. Farne und Blütenpflanzen (Pteridophyta et Spermatophyta) (4. Fassung, Stand: September 2019)*. - Ber. Landesamt. Umweltschutz Sachsen-Anh. (Halle) 1/2020: 151 – 186.
- FREVILLE, H., SILVERTOWN, J. (2005): Analysis of interspecific competition in perennial plants using Life Table Response Experiments. - *Plant Ecol.* 176: 69 – 78.
- FRECKLETON, R. P., WATKINSON, A. R., REES, M. (2009): Measuring the importance of competition in plant communities. - *J. Ecol.* 97: 379 – 384.
- GÓMEZ-A PARICIO, L., ZAMORA, R., GÓMEZ, J. M., HÓDAR, J. A., CASTRO, J., BARAZA, E. (2004): Applying plant facilitation to forest restoration: a meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. - *Ecol. Appl.* 14: 1128 – 1138.
- GRIME, J. P. (2001): *Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties*. - 2nd Ed. Wiley und Sons, Chichester: 417 S.
- HEINRICH, W. (2010): Zum Indigenat der Aufrechten Trespe (*Bromus erectus*) in Thüringen. - *Haussknechtia* (12): 101 – 126.
- HEJCMANOVÁ, P., POKORNÁ, P., HEJCMAN, M., PAVLŮ, V. (2016): Phosphorus limitation relates to diet selection of

- sheep and goats on dry calcareous grassland. – *Appl. Veg. Sci.* 19: 101 – 110.
- HELMECKE, K. (2017): Vegetationsdynamische Prozesse in Xerothermrassen – Auswertung langjähriger Dauerflächenuntersuchungen im Kyffhäuser. - *Artenschutzreport* 36: 24 – 41.
- HOLMGREN, M., SCHEFFER, M., HUSTON, M. A. (1997): The interplay of facilitation and competition in plant communities. - *Ecology* 78: 1966 – 1975.
- HOTHORN, T., BRETZ, F., WESTFALL, P. (2008): Simultaneous Inference in General Parametric Models. - *Biometrical Journal* 50(3): 346 – 363.
- HÜLBER, K., MOSER, D., SAUBERER, N., MAAS, B., STAUDINGER, M., GRASS, V., WRBKA, T., WILLNER, W. (2017): Plant species richness decreased in semi-natural grasslands in the Biosphere Reserve Wienerwald, Austria, over the past two decades, despite agri-environmental measures. - *Agricult., Ecosyst. & Envir.* 243: 10 – 18.
- JÄGER, E. J. (Hrsg.) (2017): *Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband*, 21. Aufl. - Springer Spektrum-Verlag, Berlin, Heidelberg: 927 S.
- JANSSEN, J. A. M., RODWELL, J. S., CRIADO, M. G., GUBBAY, S., HAYNES, T. (2016): *European Red List of Habitats. Part 2. Terrestrial and freshwater habitats.* - Publ. Office of the Europ. Union, Luxembourg.
- LEMMER, J., ANDRZEJAK, M., COMPAGNONI, A., KNIGHT, T. M., & KORELL, L. (2021): Climate change and grassland management interactively influence the population dynamics of *Bromus erectus* (Poaceae). - *Basic Appl. Ecol.* 56: 226 – 238.
- LEVINE, J. M., MCEACHERN, A. K., COWAN, C. (2010): Do competitors modulate rare plant response to precipitation change? - *Ecology* 91: 130 – 140.
- LIANCOURT, P., DOLEZAL, J. (2021): Community-scale effects and strain: Facilitation beyond conspicuous patterns. - *J. Ecol.* 109: 19 – 25.
- LIANCOURT, P., SPENCE, L.A., SONG, D. S., LKHAGVA, A., SHARKHUU, A. et al. (2013): Plant response to climate change varies with topography, interactions with neighbors, and ecotype. – *Ecol.* 94: 444 – 453.
- LUTSCHER, F., ILJON, T. (2013): Competition, facilitation and the Allee effect. - *Oikos* 122: 621 – 631.
- MACCHERINI, S., CHIARUCCI, A., DE DOMINICIS, V. (2000): Structure and species diversity of *Bromus erectus* grasslands of biancana badlands. - *Belgian J. Bot.* 133 (1-2): 3 – 14.
- MARTI, R. (1994): Einfluss der Wurzelkonkurrenz auf die Koexistenz von seltenen mit häufigen Pflanzenarten in Trespen-Halbtrockenrasen. - *Veröff. Geobot. Inst. ETH Stift. Rübel Zürich* 123: 1 – 147.
- MEIER, T., PARTZSCH, M. (2018): Federgras-Bestände in Mitteldeutschland. - Teil I. Aktuelle Situation und Bestandsentwicklung. - *Hercynia N. F.* 51/2: 113 – 154.
- MEIER, T., HENSEN, I., PARTZSCH, M. (2021): Floristic changes of xerothermic grasslands in Central Germany: A resurvey study based on quasi-permanent plots. – *Tuexenia* 41: 203 – 226.
- MEIER, T., HENSEN, I., PARTZSCH, M. (in Vorbereitung): Effects of nitrogen addition and land use change on plant performance and interactions among xerothermic grass species.
- MICHALET, R., LE BAGOUSSE-PINGUET, Y., MAALOUF, J. P., LORTIE, C. H. (2014): Two alternatives to the stress-gradient hypothesis at the edge of life: the collapse of facilitation and the switch from facilitation to competition. - *J. Veg. Sci.* 25: 609 – 613.
- 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.
- PADILLA, F. M., PUGNAIRE, F. I. (2006): The role of nurse plants in the restoration of degraded environments. - *Front. Ecol. Environ.* 4: 196 – 202.
- 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 in Abhängigkeit von Flächengröße und Genese der Porphyrkuppen. - *Bot. Jahrb. f. Syst., Pflanzengeschichte u. Pflanzengeographie* 123: 1 – 45.
- PARTZSCH, M. (2011): Does land use change affect the interactions between two grassland species? - *Flora* 206: 550 – 558.
- PARTZSCH, M. (2013): Growth performance and species interaction of *Festuca rupicola* Heuff. and *Dianthus carthusianorum* L. subjected to temperature increase and Nitrogen addition. - *J. Plant Studies* 2/2: 122 – 135.

- PARTZSCH, M. (2014): Effects of land-use and global change on growth performance and interactions between a dominant and a rare semi-dry grassland species. - In: MARIOTTE, P. & KARDOL, P. (Eds.): Grasslands biodiversity and conservation in a changing world. S. 163 – 186. - Nova Publishers, New York.
- PARTZSCH, M. (2019): Warming differently affects the inter- and intraspecific interactions among semi-dry grassland species. - *Perspec. Plant Ecol., Evol. and Syst.* 4: 125481.
- PARTZSCH, M., BACHMANN, U. (2011): Is *Campanula glomerata* threatened by competition from expanding grasses? - Results of a long-term experiment. - *Plant Ecol.* 212: 251 – 261.
- PARTZSCH, M., MAHN, E.-G. (2001): Welche Etablierungschancen haben Adventivpflanzen in xerothermen Vegetationskomplexen? - *Braunsch. Geobot. Arb.* 8: 249 – 268.
- 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.
- PÉREZ-HARGUINDEGUY, N., DÍAZ, S., GARNIER, E., LAVORE, L. S., POORTER, H., et al. (2013): New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. - *Austral. J. Bot.* 61: 167 – 234.
- POSCHLOD, P., WALLIS DE VRIES, M. F. (2002): The historical and socioeconomic perspective of calcareous grasslands lessons from the distant and recent past. - *Biol. Conserv.* 104: 361 – 376.
- R CORE TEAM (2019): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>
- RIDDING, L. E., BULLOCK, J. M., PESCOTT, O. L., HAWES, P., WALLS, R., et al. (2020): Long-term change in calcareous grassland vegetation and drivers over three time periods between 1970 and 2016. - *Plant Ecol.* 221: 377 – 394.
- RÖMERMANN, C., DUTOIT, T., POSCHLOD, 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.
- SCHUBERT, R., HILBIG, W., KLOTZ, S. (2001): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. - Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- SCHULZE, M., PARTZSCH, M., HENSEN, I. (2014): Die Xerothermrassenart *Veronica spicata* L.: Populationsstruktur, Etablierung und pflanzliche Interaktionen. - *Hercynia N.F.* 45: 79 – 104.
- SILVERTOWN, J. (2004): Plant coexistence and the niche. - *Trends Ecol. Evol.* 19: 605 – 611.
- SPASOJEVIC, M. J., HARRISON, S., DAY, H. W., SOUTHARD, R. J. (2014): Above- and belowground biotic interactions facilitate relocation of plants into cooler environments. - *Ecol. Letters* 17: 700 – 709.
- SUTTLE, K. B., THOMSEN, M. A., POWER, M. E. (2007): Species interactions reverse grassland responses to changing climate. - *Science* 315: 640 – 642.
- THORPE, A. S., ASCHEHOUG, E. T., ATWATER, D. Z., CALLAWAY, R. M. (2011): Interactions among plants and evolution. - *J. Ecol.* 99: 729 – 740.
- TREDENNICK, A. T., TELLER, B. J., ADLER, P. B., HOOKER, G., ELLNER, S. P. (2018): Size-by environment interactions: a neglected dimension of species' responses to environmental variation. - *Ecol. Lett.* 21: 1757 – 1770.
- 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.
- VALÉRY, L., HERVÉ, F., LEFEUVRE, J.-C., SIMBERLOFF, D. (2009): Ecosystem-level consequences of invasions by native species as a way to investigate relationships between evenness and ecosystem function. - *Biol. Invasions* 11: 609 – 617.
- VALKÓ, O., VENN, S., ZMIHORSKI, M., BIURRUN, I., LABADESSA, R., LOOS, J. (2018): The challenge of abandonment for the sustainable management of Palearctic natural and semi-natural grasslands. - *Hacquetia* 17: 5 – 16.
- WALKER, K. J., PINCHES, C. E. (2011): Reduced grazing and the decline of *Pulsatilla vulgaris* Mill. (Ranunculaceae) in England, UK. - *Biol. Conserv.* 144: 3098 – 3105.
- WEIHER, E., VAN DER WERF, A., THOMPSON, K., RODERICK, M., GARNIER, E., ERIKSSON, O. (1999): Challenging the phorastus: A common core list of plant traits for functional ecology. - *J. Veg. Sci.* 10: 609 – 620.
- WESCHE, K., KRAUSE, B., CULMSEE, H., LEUSCHNER, C. (2012): Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. - *Biol. Conserv.* 150: 76 – 85.
- WHITFORD, G. (2002): Ecology of Desert Systems. - Academic Press, London: 473 S.

- WICKHAM, H. (2020): tidy: Tidy Messy Data. R package version 1.1.2.
- WICKHAM, H., CHANG, W., LIONEL, H., PEDERSEN, T. L., TAKAHASHI, K., et al. (2020): ggplot2: Create Elegant Data Visualisations Using the Grammar of Graphics. R package version 3.3.2.
- ZSCHOKKE, S., DOLT, C., RUSTERHOLZ, H. P., OGGIER, P., BRASCHLER, B., et al. (2000): Short term responses of plants and invertebrates to experimental small-scale grassland fragmentation. - *Oecologia* 125: 559 – 572.
- ZÜNDORF, H.-J., GÜNTHER, K.-F., KORSCH, H., WESTHUS, W. (2006): *Flora von Thüringen*. - Weissdorn-Verlag, Jena.

Manuskript angenommen: 10. Dezember 2021

Anschrift der Autoren:
BSc. Biol. Markus Splith
Meckelstraße 7, 06112 Halle

Prof. Dr. Isabell Hensen
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Biologie/Geobotanik und Botanischer Garten,
Am Kirchtor 1, 06120 Halle (Saale)

Dr. Monika Partzsch
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Biologie/Geobotanik und Botanischer Garten,
Am Kirchtor 1, 06120 Halle (Saale)

MSc. Biol. Tim Meier
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Biologie/Geobotanik und Botanischer Garten,
Am Kirchtor 1, 06120 Halle (Saale)

E-Mail: markus.splith@student.uni-halle.de
isabell.hensen@botanik.uni-halle.de
monika.partzsch@botanik.uni-halle.de
tim.meier@botanik.uni-halle.de