

Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten xerothermen Grasarten

Monika PARTZSCH

5 Abbildungen und 6 Tabellen

Abstract

PARTZSCH, M.: Germination biology of ten xerothermic grass species – *Hercynia N. F. 43* (2010): 299–317.

The germination process generally determines the chance of survival of any plant species; and the diversity of germination strategies among plants is wide. Dry and semi-dry grasslands are characterised by the dominant occurrence of species from the Poaceae family. In order to determine the germination success in different Poaceae taxa, seeds from ten species were collected in the vicinity of Halle (Saale): *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *F. rupicola*, *Poa angustifolia* and *Sesleria varia*. The region of the town Halle is located in Central Germany (Saxony-Anhalt) and characterised by climatic dryness.

In order to identify optimal germination conditions, experiments were carried out under three different temperature-light regimes (8/4 °C, 20/10 °C, 32/20 °C; 12 h light : 12 h darkness; 45 days). After the first germination experiment, the remaining diaspores were buried in soil, to ensure hibernation until the next experimental phase in following spring. Seed viability was tested before and after the experiments.

Results indicate that the species are generally characterised by an asynchronistic germination, meaning that, even under favourable conditions, only a proportion of seeds germinates in a certain time. Such was the case in particular for *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *Poa angustifolia* and *Sesleria albicans*. The optimal germination temperature for most species was 20/10 °C (light/dark). An increase in temperature induced a higher germination percentage and velocity in *Agrostis vinealis*, *Bromus erectus* and *Poa angustifolia*. With the exception of *Poa angustifolia*, the natural cold stratification (over-wintering) did not lead to an enhanced germination.

Results regarding the germination behaviour and seed viability allow to range Poaceae species in three diaspore bank types: (1) the more transient type: *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Festuca rupicola*; (2) the short-term persistent type: *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *Poa angustifolia*, *Sesleria albicans*; (3) the long-term persistent type: *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*.

Key words: germination, dormancy, natural stratification, seed bank type, viability

1 Einleitung

Der Prozess der Keimung bestimmt im Wesentlichen den Überlebenserfolg von Pflanzenarten, wobei diese unterschiedliche Keimungsstrategien entwickelt haben. Bei einigen Arten sind die Diasporen sofort nach der Reife keimbereit, andere entwickeln dormante Diasporen, die erst nach längerer Zeit, durch Abbau von keimungshemmenden Substanzen, auflaufen (physiologische Dormanz). Im Falle einer morphologischen Dormanz sind die Diasporen beim Ausstreuen unreif, und eine Zeit für Wachstum und Entwicklung des Embryos ist erforderlich, bevor dieser keimen kann (FENNER & THOMPSON 2005). Andere Arten, z. B. aus der Familie der Fabaceen, besitzen eine physikalische Dormanz. Hierbei sind die Diasporen von einer nicht permeablen Testa oder einem Perikarp umhüllt, welche den Wassereintritt und somit die Quellung des Embryos verhindern. Erst wenn die Samenschale durch mechanische oder chemische Prozesse aufgebrochen wird, kann Wasser für die Keimung eindringen (BASKIN & BASKIN 2004, FENNER & THOMPSON 2005). Es wird angenommen, dass eine Reihe dieser Diasporen erst eine Passage durch den Tierdarm benötigen, um keimen zu können. Auf der anderen Seite wurde bei vielen Arten mit physikalischer Dormanz nachgewiesen, dass der exogene Faktor Feuer die Permeabilität der Testa und damit die Keimung fördert (AULD & O'CONNELL 1991).

Mehrere Autoren haben Zusammenhänge zwischen dem Keimverhalten und der Größe bzw. dem Gewicht der Diasporen festgestellt. Nach COUNTS & LEE (1991) und WU & DU (2007) keimen große und schwere Diasporen schneller als kleine und leichte. Im Gegensatz dazu fanden WEIS (1982) und VERA (1997), dass der Keimerfolg mit Größe und Gewicht der Diasporen abnimmt.

Generell wird die Keimung stark von abiotischen Umweltfaktoren sowohl positiv als auch negativ beeinflusst. Als wichtigste Faktoren sind hier Temperatur, Licht und Wasser zu nennen (BASKIN & BASKIN 2001, FENNER & THOMPSON 2005). Für viele Xerothermrasenarten liegen jedoch noch keine Ergebnisse in der Literatur vor.

Die Xerothermrasen werden in der Regel durch verschiedene Grasarten dominiert, während krautige, dikotyle Arten meist nur zerstreut auftreten. DEL-VAL & CRAWLEY (2005) beschreiben eine kompetitive Hierarchie in Graslandgesellschaften. Demnach sind Gräser in solchen Gesellschaften stärkere Konkurrenten als Kräuter. Auch GOLDBERG et al. (2001) stellten fest, dass Süßgräser den dikotylen Arten vor allem in der Etablierungsphase stark überlegen sind. Dazu führen JORRITSMA-WIENK et al. (2006) und JONGEJANS et al. (2006) aus, dass die Etablierungsphase den entscheidenden „bottleneck“ im Lebenszyklus der Pflanzen darstellt. Er umfasst zwei Abschnitte: die Keimung und das Überleben der Keimlinge.

Die Hypothese lag nahe, dass sich Gräser durch einen hohen Keimungserfolg auszeichnen. Um sie zu prüfen, wurden Diasporen von zehn xerothermen Arten aus der Familie der Poaceae (*Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *F. rupicola*, *Poa angustifolia*, *Sesleria varia*) in der näheren Umgebung von Halle (Saale) geerntet und Keimungsexperimenten unterzogen. Folgende Fragen sollten mit dieser Arbeit beantwortet werden:

1. In welchem Temperaturbereich erfolgt eine optimale Keimung?
2. Weisen die jeweiligen Arten eine Dormanz auf?
3. Welchen Effekt übt die natürliche Kältestratifikation auf das Keimverhalten der Spezies aus?
4. Bestehen Zusammenhänge zwischen den Samenmerkmalen Größe und Gewicht und dem Keimverhalten?
5. Welche Lebensfähigkeit besitzen die Arten nach der Ernte und nach Abschluss der Keimversuche. Lassen sich Schlussfolgerungen hinsichtlich des Diasporenbanktyps ziehen?
6. Gibt es Zusammenhänge zwischen dem Keimverhalten und dem Diasporenbanktyp?

2 Charakterisierung der Arten

Bei den zehn ausgewählten Arten handelt es sich um meist langlebige Spezies aus der Familie der Poaceae, die in der Region um Halle (Saale) (Sachsen-Anhalt) hauptsächlich auf xerothermen Standorten siedeln. Die Region ist Teil des Mitteldeutschen Trockengebietes (mittlere Jahrestemperatur: 9.2 °C; mittlerer jährlicher Niederschlag: 473 mm; DÖRING & BORG 2008).

Die Kennzeichnung der biologischen Eigenschaften der Arten (Tab. 1) folgt JÄGER & WERNER (2005); die Synsoziologie richtet sich nach SCHUBERT et al. (1995) und PARTZSCH (2007).

Agrostis capillaris L. (Rot-Straußgras) ist ein ausdauernder Hemikryptophyt, der Horste mit unterirdischen bzw. teilweise auch oberirdischen Ausläufern bildet und eine Wuchshöhe zwischen 20 und 80 cm erreicht. Die Art siedelt bevorzugt auf Sand- und Silikattrockenrasen und mäßig trockenen bis frischen Silikatmagerrasen sowie Heiden, ferner in verlichteten Eichen- und Kiefernwäldern und auf Schlägen. Sie blüht zwischen Juni und Juli. Die Diasporen gelten als Lichtkeimer und sind langlebig. Das Rot-Straußgras tritt in der Halleschen Porphyrkuppenlandschaft häufig in lückigen Beständen des Thymo-Festucetum und des Agrostietum vinealis auf.

Agrostis vinealis Schreb. (Schmalrispigtes Straußgras) ist ein 20 bis 80 cm hohes Gras mit unterirdischen Ausläufern, das sich nach der Blüte durch zusammengezogene Rispen auszeichnet. Die Blütezeit erstreckt sich von Juni bis Juli. Die Art besiedelt Sand- und Silikattrockenrasen, mäßig trockene bis frische Silikatmagerrasen, Heiden, verlichtete Eichen- und Kiefernwälder sowie Schläge. Die Diasporen

gelten als Lichtkeimer und sind langlebig. In der Porphyrkuppenlandschaft bildet die Art auf Porphyrgrus die lückige Gesellschaft des *Agrostietum vinealis*.

Brachypodium pinnatum (L.) P. Beauv. (Fieder-Zwenke) ist ein ausdauernder, horstbildender Hemikryptophyt mit unterirdischen Ausläufern und einer Wuchshöhe zwischen 50 und 60 cm. Das Gras blüht zwischen Juni und Juli und besiedelt Halbtrocken- sowie Trockenrasen, trockene Ruderalstellen, Trockengebüsche, trockene Wälder und deren Säume. In der Porphyrkuppenlandschaft kommt die Art vor allem im *Festuco-Brachypodietum* vor.

Bromus erectus Huds. (Aufrechte Trespe) ist ein ausdauerndes, immergrünes, rhizombildendes Horstgras mit einer Wuchshöhe zwischen 30 und 90 cm. Die Art blüht zwischen Mai und Oktober und besiedelt Trocken- und Halbtrockenrasen, wechselfeuchte Frischwiesen sowie entwässerte Niedermoorwiesen. In der Umgebung von Halle siedelt die Art auf Kalkstandorten (z.B. Lieskau). Sie ist vor allem in Gesellschaften des Mesobromion zu finden.

Danthonia decumbens (L.) DC. (Dreizahn) ist ein ausdauernder, rhizombildender Hemikryptophyt. Die Art erreicht eine Wuchshöhe zwischen 15 und 45 cm und blüht zwischen Juni und Juli. Sie besiedelt Silikattmagerrasen und Halbtrockenrasen, wechselfeuchte Wiesen, Heiden, Ruderalstellen und Waldlichtungen. In der Porphyrkuppenlandschaft kommt sie vor allem im *Euphorbio-Callunetum* und *Filipendulo-Helictotrichetum* vor.

Festuca brevipila R. Tracey (Raublatt-Schwingel) ist ein ausdauernder, horstbildender Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 20 und 65 cm und einer Blütezeit zwischen Mai und Juli. Die Art besiedelt reichere Sandtrockenrasen, Silikattrocken- und Halbtrockenrasen sowie trockene Ruderalstellen. In der Porphyrkuppenlandschaft kommt sie im *Festuco-Brachypodietum* vor.

Festuca glaucina Stohr (Blaugrüner Schwingel) ist ein horstbildender Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 8 und 50 cm und einer Blütezeit zwischen Mai und Juni. Die Art besiedelt vorwiegend Felsfluren und lückige Trockenrasen. In der Porphyrkuppenlandschaft kommt sie schwerpunktmäßig im *Thymo-Festucetum* vor.

Festuca rupicola Heuff. (Furchen-Schwingel) ist ein horstbildender Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 15 und 80 cm und einer Blütezeit zwischen Mai und Juli. Die Art besiedelt Trocken- und Halbtrockenrasen sowie trockene bis mäßig trockene Ruderalstellen. In der Porphyrkuppenlandschaft ist sie vor allem im *Festuco-Brachypodietum* und im *Filipendulo-Helictotrichetum* zu finden. *Festuca rupicola* baut häufig artenarme Dominanzbestände auf.

Poa angustifolia L. (Schmalblättriges Rispengras) ist ein ausdauernder Hemikryptophyt bzw. Geophyt, der kleine Horste und unterirdische Ausläufer bildet. Die Art erreicht eine Wuchshöhe zwischen 20 und 100 cm und blüht zwischen Mai und Juni. Sie besiedelt Trocken- und Halbtrockenrasen sowie trockene bis mäßig trockene Ruderalstellen. In der Porphyrkuppenlandschaft kommt sie vor allem im *Festuco-Brachypodietum* und im *Filipendulo-Helictotrichetum* vor. Sie baut häufig artenarme *Poa angustifolia*-Dominanzbestände auf.

Sesleria albicans Kit. ex Schult. (Kalk-Blaugras) ist ein ausdauernder, immergrüner horstbildender Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 15 und 45 cm. Die Hauptblütezeit umfasst den Zeitraum von März bis Mai. Zuweilen reicht die Blühzeit bis in den September hinein. Die Art besiedelt alpine bis kolline Fels- und Schotterfluren, Trocken- und Halbtrockenrasen sowie lichte Buchen- und Kiefernwälder. In der Nähe von Halle kommt sie vor allem in Gesellschaften des Xerobromion auf Kalkstandorten (z. B. bei Lieskau) vor.

3 Material und Methoden

3.1 Sammlung und Versuchsansätze

Die Diasporen (Karyopsen) der zehn Zielarten wurden im reifen Zustand an der Mutterpflanze geerntet. Je nach Art und Samenreife variierten die Sammeltermine zwischen Mai und Oktober der jeweiligen

Tab. 1 Diasporenmerkmale der zehn Grasarten. Daten zu Gewicht und Größe aus ¹⁾ Biolflor (OTTO 2002) oder eigenen Messungen.

Table 1 Traits of diaspores of the ten species. Data of weight and size follow ¹⁾ Biolflor (OTTO 2002) or own measurements.

Zielart	Gewicht [mg]	Länge [mm]	Breite [mm]
<i>Agrostis capillaris</i> ¹⁾	0,1	1,0	0,4
<i>Agrostis vinealis</i> ¹⁾	0,1	1,6	0,5
<i>Brachypodium pinnatum</i> ¹⁾	2,8	6,6	1,4
<i>Bromus erectus</i> ¹⁾	4,4	8,6	1,0
<i>Danthonia decumbens</i> ¹⁾	0,8	2,4	1,4
<i>Festuca brevipila</i>	0,4	2,5	-
<i>Festuca glaucina</i>	0,3	2,1	-
<i>Festuca rupicola</i> ¹⁾	0,4	2,8	-
<i>Poa angustifolia</i> ¹⁾	0,2	1,5	0,4
<i>Sesleria albicans</i>	0,1	1,2	-

Erntejahre (Tab. 2). Die Orte der Aufsammlungen waren auf Halle und den Saalekreis begrenzt. Die Diasporenproben (Mischproben von mindestens 20 Individuen) wurden geteilt, wobei ein Teil für den ersten Keimversuch genutzt wurde, der ca. zwei bis acht Wochen nach der Ernte stattfand. Bis dahin wurden die Diasporen zur Nachreife bei Zimmertemperatur trocken gelagert. Im Herbst wurde der restliche Teil der Diasporen in luftdurchlässige Säckchen verpackt, im Boden vergraben (ca. 5 cm tief) und den Witterungsbedingungen im Freiland zwischen Anfang November und Ende März ausgesetzt (natürliche Kältestratifikation).

Nach Klimaaufzeichnungen der Klimastation Halle-Seeben (schrift. Mitt. Dr. Döring; DÖRING & BORG 2008) schwankten die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe zwischen 1. November 2001 und 15. März 2002 nachts zwischen $-5,2$ und $7,2$ °C sowie tagsüber zwischen $-3,4$ und $15,3$ °C. Im Winter 2006/2007 lagen sie nachts zwischen $-6,2$ und $7,9$ °C sowie tagsüber zwischen $-1,6$ und $19,1$ °C. Im Winter 2008/2009 wurden Nachtwerte von $-6,5$ bis $9,0$ °C und Tageswerte von $-2,0$ bis $13,4$ °C gemessen. Im Winter 2009/2010, der sich über einen längeren Zeitraum durch eine geschlossene Schneedecke auszeichnete, wurden Nachtwerte von $-2,8$ bis $7,2$ °C und Tageswerte von $-1,1$ bis $11,2$ °C registriert. Der letzte Winter war lange Zeit durch eine lang anhaltende, geschlossene Schneedecke gekennzeichnet, welche die Bodentemperaturen vergleichsweise wenig absinken ließ.

Mitte März wurden die Diasporen ausgegraben, gegebenenfalls bei Zimmertemperaturen kurzzeitig zwischengelagert und einem weiteren Keimversuch unterzogen.

3.2 Untersuchungen zum Keimtemperaturoptimum

Die Untersuchungen zur Keimungsbiologie der Arten erfolgten in speziellen Keimschränken (Firma Rumet, Memmert), wobei der erste Ansatz nach der Ernte und der zweite Keimansatz nach der Überwinterung im nächsten Frühjahr starteten (Tab. 2). Dabei wurde jeweils ein Lichtregime von 12 Stunden Helligkeit und 12 Stunden Dunkelheit beibehalten; die Temperaturen in den verschiedenen Lichtphasen variierten jedoch. Folgende Varianten wurden getestet: a) 8 °C bei Licht und 4 °C im Dunkeln; b) 20 °C bei Licht und 10 °C in der Dunkelphase; c) 32 °C bei Licht und 20 °C in der Dunkelphase. Je Pflanzenart wurden vier Parallelproben zu jeweils 30 oder 40 Diasporen (je nach verfügbarem Material) in eine Petrischale auf gut durchfeuchtem Filterpapier (Befeuchtung mit Aqua dest.; pH 7,05) ausgelegt. Auf dem Grund der Petrischalen wurde ein Abstandshalter positioniert, um die Diasporen vor Sauerstoffmangel und Fäulnis zu schützen und den Rundfilter gleichmäßig feucht zu halten.

Tab. 2 Orte und Zeiten der Aufsammlung der Diasporen, Zeiten des ersten Keimversuches nach der Ernte und Zeiten des zweiten Keimversuches nach der Überwinterung.

Table 2 Locations and dates of seed collection, dates of the first germination experiment after harvest, and dates of the second experiment after hibernation.

Zielart	Sammelort	Sammel-datum	Ansatz nach Ernte	Ansatz nach Überwinterung
<i>Agrostis capillaris</i>	Brachwitz/Lerchenhügel	11.07.2006	31.08.2006	16.03.2007
<i>Agrostis vinealis</i>	Brachwitz/Lerchenhügel	11.07.2006	31.08.2006	16.03.2007
<i>Brachypodium pinnatum</i>	Mücheln bei Wettin	15.08.2008	13.10.2008	12.04.2009
<i>Bromus erectus</i>	Lieskau	01.06.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Danthonia decumbens</i>	Mücheln bei Wettin	05.09.2001	05.10.2001	18.03.2002
<i>Festuca brevipila</i>	Halle/Brandberge	19.06.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Festuca glaucina</i>	Brachwitz/Lerchenhügel	28.05.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Festuca rupicola</i>	Brachwitz/Lerchenhügel	11.07.2006	31.08.2006	16.03.2007
<i>Poa angustifolia</i>	Brachwitz/Lerchenhügel	11.07.2006	31.08.2006	16.03.2007
<i>Sesleria albicans</i>	Lieskau	01.06.2009	03.08.2009	09.03.2010

Der Keimungsverlauf (deutlich hervortretende Radikula) wurde im zwei- bis dreitägigen Abstand kontrolliert, und die gekeimten Diasporen wurden aus der Petrischale entfernt. Die Versuche liefen 45 Tage.

3.3 Test auf Lebensfähigkeit

Sowohl vor als auch nach den Keimversuchen wurden die Diasporen auf Lebensfähigkeit mit dem Tetrazoliumtest (TTC-Test) geprüft (HENDRY & GRIME 1993). Die Diasporen wurden dazu angeschnitten, so dass der Embryo sichtbar war und die 1%ige TTC-Lösung (2,3,5 Triphenyl-Tetrazolium-Chlorid) in das Sameninnere eindringen konnte. Die Inkubation erfolgt über 24 Stunden bei Zimmertemperatur und in Dunkelheit. Dringt die farblose Lösung in die lebenden Zellen ein, so wird sie durch eine NADH+H⁺(Nicotinamidadenindinukleotid)-abhängige Dehydrogenase reduziert. Die H⁺-Ionen werden dabei von den Zellen der Diaspore geliefert. Es entsteht das wasserunlösliche Formazan, welches zur Rotfärbung noch lebensfähiger Embryos beiträgt. Bei sehr kleinen Samen ist die Färbung teils sehr schwer erkennbar, weshalb weitere Merkmale wie die Konsistenz und Verfärbung des Embryos und des Endosperms herangezogen wurden (COCHRANE et al. 1999, ISTA 2003).

3.4 Berechnungsverfahren

Die Berechnungen der Keimergebnisse bezogen sich immer auf die Anzahl der in den Petrischalen ausgelegten Diasporen. Um das Keimverhalten der Arten bei den unterschiedlichen Versuchsansätzen zu vergleichen, wurde der Timson-Index, ein Wert zur Berechnung der Keimgeschwindigkeit, herangezogen (TIMSON 1965). Hierbei wurde die Anzahl der täglich gekeimten Diasporen summiert (BASKIN & BASKIN 2001). Da dieser Wert von der Versuchsdauer abhängig ist und ins Unermessliche steigen kann, wurde sensu KHAN & UNGAR (1996, 1997) ein modifizierter Timson-Index verwendet, bei dem die täglichen prozentualen Keimwerte addiert und durch die Anzahl der Versuchstage dividiert werden (PÉREZ-FERNÁNDEZ et al. 2006). Der modifizierte Timson-Index berücksichtigt neben der prozentualen Endkeimung auch die Keimgeschwindigkeit einer Art und kann maximal den Wert 100 erreichen.

Für die statistische Auswertung wurden die Prozentwerte und der Timson-Index arcsinus-wurzel-transformiert und mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die Homogenität der Varianzen wurde mittels Bartlett-Test geprüft, um damit die Voraussetzung für eine ANOVA zu testen. Zum Vergleich der Mittelwerte in Abhängigkeit von den verschiedenen Temperaturregimen wurde

eine einfaktorielle ANOVA und der Post hoc Tukey-Test mit dem Programm WINstat (2003) auf dem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ durchgeführt. Um die Interaktionen zwischen den unterschiedlichen Zeiten der beiden Versuchsansätze (nach Ernte und nach Überwinterung) und den Temperaturregimen auf Signifikanz zu prüfen, wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit dem Programm SPSS 2008 durchgeführt.

Für die Feststellung eines Zusammenhangs zwischen Diasporengröße bzw. -gewicht und dem Keimungsverhalten der Arten wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet und auf Signifikanz geprüft. Hierbei wurden die höchsten Keimprozentage bzw. -geschwindigkeiten verrechnet, die im Jahr der Ernte unter dem optimalen Temperatur-Licht-Regime erzielt wurden.

4 Ergebnisse

4.1 Keimung nach Ernte

Agrostis capillaris begann unter warmen und heißen Bedingungen am vierten Tag und unter kalten Bedingungen am 12. Tag mit der Keimung und erreichte unter 20/10 °C und 32/20 °C nach 45 Tagen einen Keimerfolg von ca. 80 %, wobei die Geschwindigkeit unter 32/20 °C etwas reduziert war (Abb. 1; Tab. 3). Dies unterschied sich signifikant von der Keimung unter 8/4 °C, bei der insgesamt nur zwei Diasporen keimten. Demgegenüber war das Keimverhalten von *Agrostis vinealis* zwischen allen drei Temperaturstufen signifikant unterschiedlich, wobei die höchsten Keimprozentage (83 %) unter 32/20 °C erreicht wurden. Der Keimstart lag ebenfalls am vierten Tag für 20/10 °C und 32/20 °C und am 12. Tag für 8/4 °C. Während *Brachypodium pinnatum* unter kalten Bedingungen gar nicht keimte, lag der prozentuale Keimerfolg unter warmen und heißen Bedingungen nur bei etwas mehr als 20 %. Die Art begann am siebenten Tag zu keimen. Bei *Bromus erectus* keimten die ersten Diasporen bereits am zweiten Tag, wobei aber nur eine maximale Keimung von 25 % unter 32/20 °C erreicht wurde. Demgegenüber keimte *Danthonia decumbens* ausschließlich unter 20/10 °C zu ca. 17 % und begann bereits am dritten Tag mit der Keimung (Abb. 2; Tab. 3). Bei *Festuca brevipila* unterschieden sich die Keimerfolge bei allen drei Temperaturstufen signifikant, wobei ein maximaler Wert von 53 % unter 20/10 °C erreicht wurde. Die Keimung setzte jeweils am siebenten Tag ein. Ähnlich war es bei *Festuca glaucina*. Auch hier keimten die Diasporen am besten unter 20/10 °C, allerdings nur zu ca. 37 %. Temperaturerhöhung bzw. -erniedrigung bewirkten jeweils eine verringerte Keimung von ca. 22 %. Der Keimstart war für 20/10 °C und 32/20 °C am siebenten Tag, bei 8/4 °C jedoch stark verzögert (am 14. Tag). *Festuca rupicola* keimte unter 20/10 °C fast vollständig aus, wobei auch bei dieser Art Temperaturveränderungen zu einer Keimminderung (ca. 65 – 69 %) führten. Bei *Poa angustifolia* zeigten sich nur geringe temperaturbedingte, signifikante Änderungen in der prozentualen Keimung (zwischen 41 und 59 %; Abb. 3; Tab. 1). Die Keimgeschwindigkeit nahm jedoch deutlich mit Temperaturerhöhung zu. So war der Keimstart unter 8/4 °C erst am 19. Tag, unter den wärmeren Bedingungen jeweils am sechsten Tag zu beobachten. *Sesleria albicans* keimte von allen zehn Grasarten am schlechtesten mit Werten unter 10 %. signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Temperatur gab es nicht. Unter 32/10 °C begann die Keimung am neunten Tag und unter kalten bzw. warmen Bedingungen am 14. Tag.

4.2 Keimung nach Überwinterung

Nach Überwinterung keimten die Diasporen von *Agrostis capillaris* signifikant unterschiedlich unter den drei Temperatur-Licht-Regimen (Abb. 1, Tab. 4). Bei 32/20 °C begann die Keimung bereits am zweiten Tag und im Untersuchungszeitraum liefen nahezu alle Diasporen auf. Unter 20/10 °C begann die Keimung am vierten (86 %) und unter 8/4 °C am 12. Tag (14 %). Demgegenüber zeigte *Agrostis vinealis* nach der Überwinterung nur sehr geringe Keimprozentage zwischen ein und fünf Prozent, wobei die temperaturbedingten Unterschiede nicht signifikant waren. Die Keimung setzte allerdings ebenso wie nach der Ernte am vierten Tag bei 32/20 °C, allerdings am sechsten Tag bei 20 /10 °C und erst am 20. Tag bei 8/4 °C ein. *Brachypodium pinnatum* zeigte nach Überwinterung einen ähnlichen Verlauf sowohl bezüglich der prozentualen Endkeimung (maximale 27 % bei 20/10 °C), der Keimgeschwindigkeit als auch dem

Tab. 3 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der zehn Zielarten unter verschiedenen Temperatur- und Lichtregimen nach der Ernte (Versuchsdauer: 45 Tage). Die arcsinus-wurzel-transformierten Daten wurden mit der Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede getestet. Die Prüfgröße F und der P-Wert werden angegeben. Die Buchstaben geben signifikante Untermengen an (n = 4).

Table 3 Percentage of final germination and the Timson's index of the ten target species under different temperature and light regimes after harvest (duration of experiment: 45 days). The arcsinus square root transformed data were calculated by factorial ANOVA. Test statistic F-values and P-values are shown. The small letters show significant groups (n = 4).

Nach Ernte	8 °C/4 °C	20 °C/10 °C	32 °C/20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Agrostis capillaris</i>					
Endkeimung	2,00 a	82,00 b	80,00 b	89,043	< 0,0001
Timson-Index	1,38 a	74,62 b	70,73 b	94,861	< 0,0001
<i>Agrostis vinealis</i>					
Endkeimung	7,00 a	48,00 b	83,00 c	28,049	< 0,001
Timson-Index	4,16 a	43,00 b	73,47 c	33,925	< 0,0001
<i>Brachypodium pinnatum</i>					
Endkeimung	0 a	22,5 b	21,25 b	64,040	< 0,0001
Timson-Index	0 a	14,90 b	9,60 b	52,343	< 0,0001
<i>Bromus erectus</i>					
Endkeimung	7,50 a	14,38 ab	25,63 b	10,373	0,004
Timson-Index	6,00 a	11,36 a	20,94 b	11,894	< 0,001
<i>Danthonia decumbens</i>					
Endkeimung	0,00 a	17,33 b	0,00 a	84,818	< 0,0001
Timson-Index	0,00 a	7,85 b	0,00 a	36,751	< 0,001
<i>Festuca brevipila</i>					
Endkeimung	28,75 a	53,13 c	40,00 b	24,557	< 0,001
Timson-Index	11,76 a	44,40 c	28,33 b	70,080	< 0,0001
<i>Festuca glaucina</i>					
Endkeimung	21,88 a	36,88 b	22,50 a	7,283	0,013
Timson-Index	7,68 a	27,44 b	14,40 a	13,884	0,002
<i>Festuca rupicola</i>					
Endkeimung	68,50 a	94,50 b	64,50 a	22,465	< 0,001
Timson-Index	48,43 a	84,87 b	53,08 a	37,130	< 0,0001
<i>Poa angustifolia</i>					
Endkeimung	41,00 a	35,00 ab	58,50 b	4,317	0,048
Timson-Index	20,07 a	27,61 ab	42,56 b	9,777	< 0,001
<i>Sesleria albicans</i>					
Endkeimung	5,00	9,38	3,13	3,067	n. s.
Timson-Index	6,00	6,06	2,03	3,893	n. s.

Keimbeginn wie nach der Ernte. Obwohl der Keimstart bei *Bromus erectus* nach Überwinterung ähnlich war, lagen die Keimwerte unter denen nach der Ernte zwischen zwei und sechs Prozent. Signifikante Unterschiede traten nicht auf. Ebenso war bei *Danthonia decumbens* der Keimverlauf nach natürlicher Stratifikation sehr ähnlich dem nach der Ernte. Maximale Keimwerte von nur 13 % wurden bei 20/10 °C erreicht. Bei höheren oder niedrigeren Temperaturen keimte die Art fast gar nicht (Abb. 2; Tab. 4). Für *Festuca brevipila* und *Festuca glaucina* wirkte sich die Überwinterung eher negativ auf die Keimbereitschaft

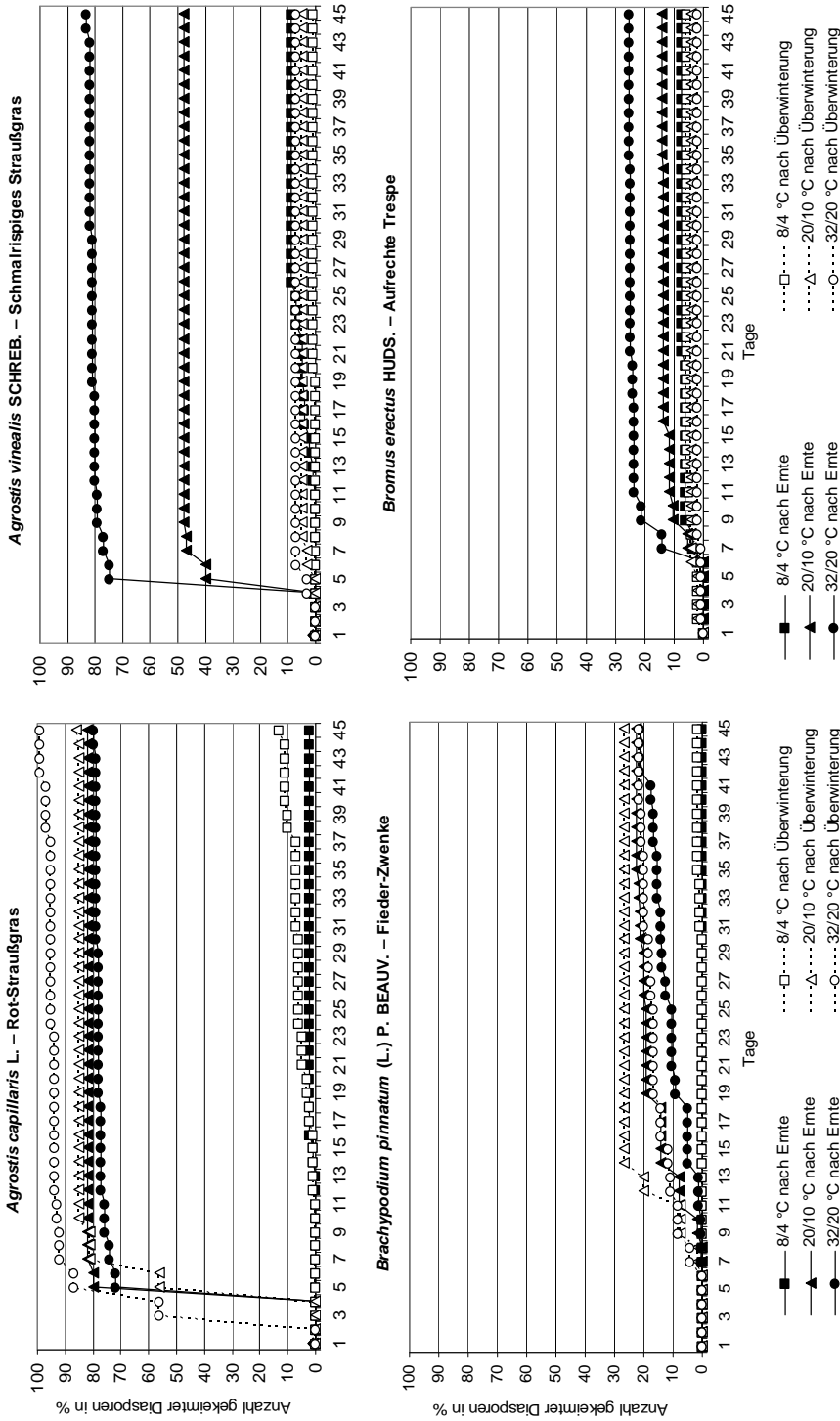


Abb. 1 Kumulativer Keimverlauf von *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Brachypodium pinnatum* und *Bromus erectus* unter den verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 1 Cumulative germination of *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Brachypodium pinnatum* and *Bromus erectus* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

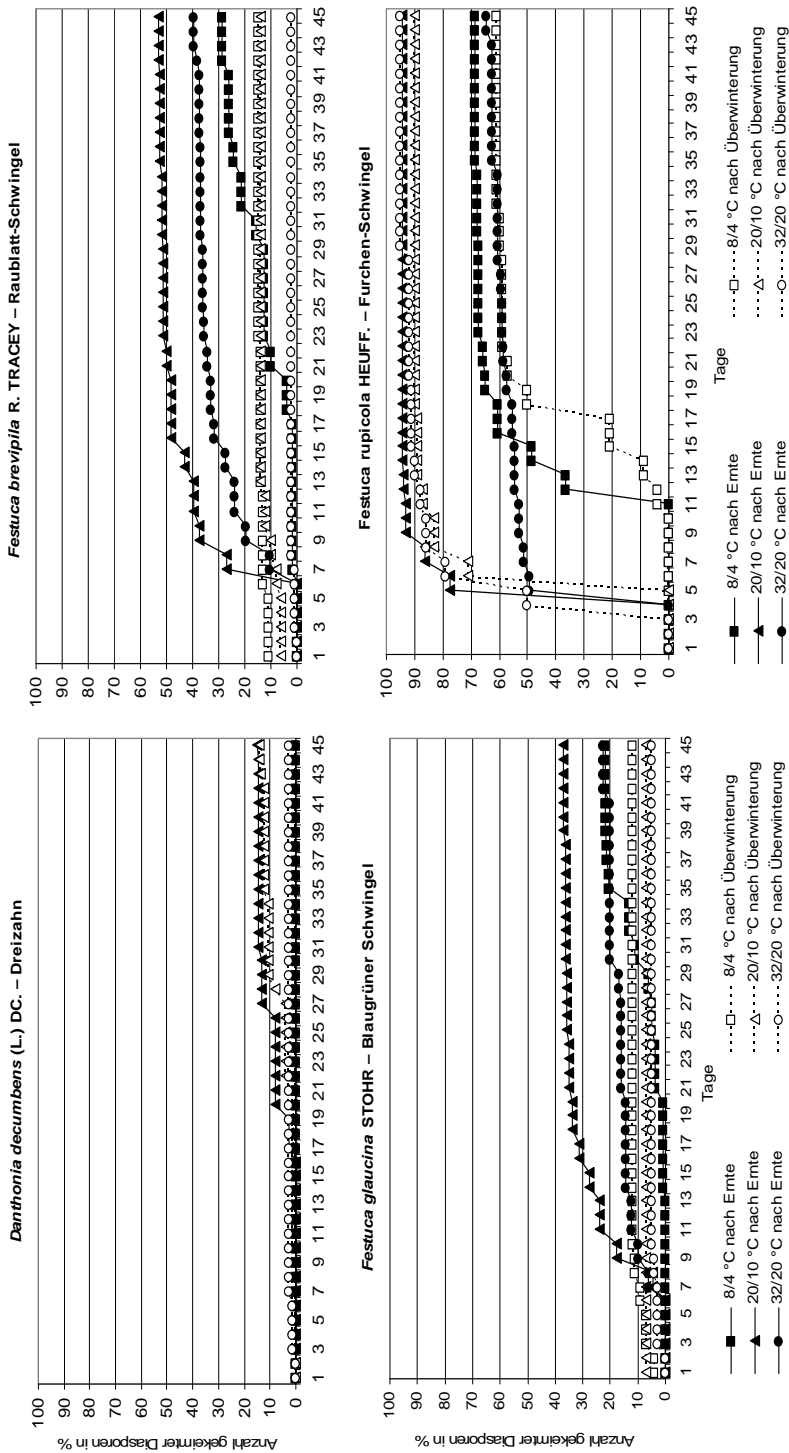


Abb. 2 Kumulativer Keimverlauf von *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glauca* und *F. rupicola* unter verschiedenen Temperatur- und Lichtregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 2 Cumulative germination of *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glauca* and *F. rupicola* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

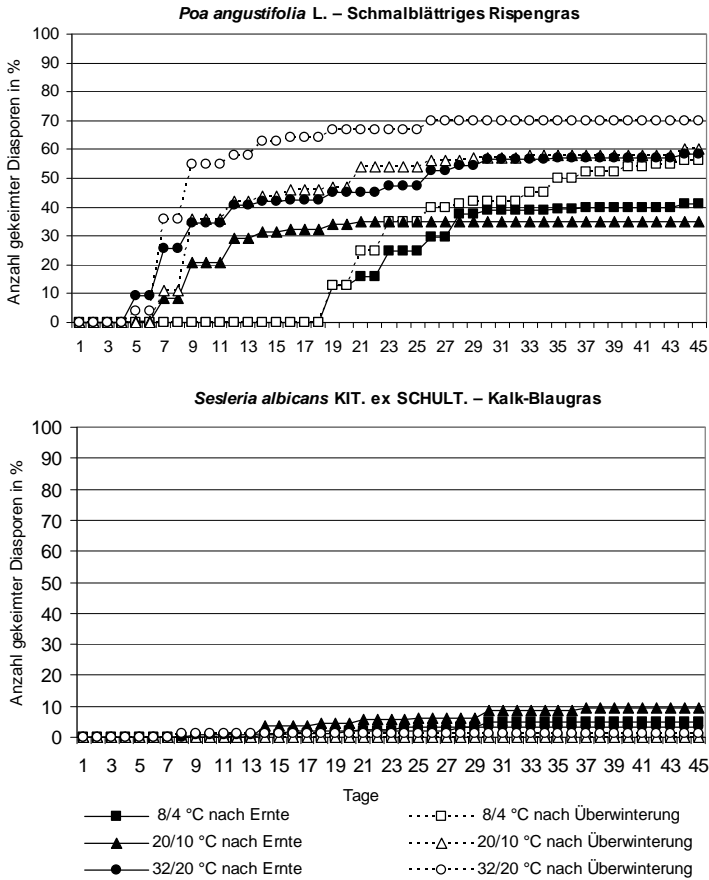


Abb. 3 Kumulativer Keimverlauf von *Poa angustifolia* und *Sesleria albicans* unter verschiedenen Temperatur- und Lichtregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 3 Cumulative germination of *Poa angustifolia* and *Sesleria albicans* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

auch. Beide Arten begannen zwar schon am ersten Tag nach Versuchsansatz mit der Keimung, die erreichten Endkeimraten lagen aber deutlich niedriger als im Erntejahr (zwischen 2 und 15%). Im Gegensatz dazu ist die Keimung von *Festuca rupicola* ebenso erfolgreich wie im Erntejahr. Nach Überwinterungen keimten die Diasporen sowohl unter 20/10 °C als auch unter 32/20 °C zu über 90% aus. Bei *Poa angustifolia* lag die Keimung unter 8/4 °C am niedrigsten bei 56% und unter 32/20 °C am höchsten bei 70% (Abb. 3, Tab. 4). Nach Überwinterung lag die prozentuale Keimung von *Sesleria albicans* bei 32/20 °C nur etwas über 1%, unter kalten und warmen Bedingungen keimte die Art gar nicht.

4.3 Vergleich der Keimung nach Ernte und nach Überwinterung

Die Interaktionsplots (Abb. 4) sowie Tabelle 5 informieren darüber, ob signifikante Interaktionen zwischen den drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen und den zwei verschiedenen Zeitpunkten der Keimversuche (im Erntejahr und nach Überwinterung) vorlagen. Der nahezu parallele Verlauf der beiden Kurven in den Interaktionsplots verdeutlicht, dass es für die Arten *Agrostis capillaris*, *Brachypodium*

Tab. 4 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der zehn Zielarten unter verschiedenen Temperatur- und Lichtregimen nach der Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage). Die arcsinus-wurzel-transformierten Daten wurden mit der Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede getestet. Die Prüfgröße F und der P-Wert werden angegeben. Die Buchstaben geben signifikante Untermengen an (n = 4).

Table 4 Percentage of final germination and Timson's index of the ten target species under different temperature and light regimes after hibernation (duration of experiment: 45 days). The arcsinus square root transformed data were calculated by factorial ANOVA. Test statistic F-values and P-values are shown. The small letters show significant groups (n = 4).

Nach Überwinterung	8 °C/4 °C	20 °C/10 °C	32 °C/20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Agrostis capillaris</i>					
Endkeimung	14,00 a	86,00 b	99,00 c	109,297	< 0,0001
Timson-Index	4,98 a	75,31 b	88,67 c	168,520	< 0,0001
<i>Agrostis vinealis</i>					
Endkeimung	1,00	5,00	4,00	0,475	n. s.
Timson-Index	0,58	4,36	3,64	0,602	n. s.
<i>Brachypodium pinnatum</i>					
Endkeimung	1,67 a	26,67 b	21,67 b	14,796	< 0,05
Timson-Index	0,48 a	20,43 b	14,22 b	18,269	< 0,001
<i>Bromus erectus</i>					
Endkeimung	6,00	4,00	2,00	2,250	n. s.
Timson-Index	5,18	3,73	1,82	1,674	n. s.
<i>Danthonia decumbens</i>					
Endkeimung	0,00 a	13,33 b	2,67 a	16,875	< 0,05
Timson-Index	0,00 a	5,72 b	2,43 ab	9,522	< 0,05
<i>Festuca brevipila</i>					
Endkeimung	15,00 a	14,00 a	2,00 b	15,933	0,0011
Timson-Index	14,02 a	12,53 a	1,80 b	15,448	0,0013
<i>Festuca glaucina</i>					
Endkeimung	12,00	7,00	5,00	2,727	n. s.
Timson-Index	11,12	7,00	4,51	2,829	n. s.
<i>Festuca rupicola</i>					
Endkeimung	61,00 a	90,00 b	95,00 b	8,816	< 0,05
Timson-Index	38,89 a	78,44 b	83,78 b	29,578	< 0,001
<i>Poa angustifolia</i>					
Endkeimung	56,00 a	60,00 a	70,00 a	2,191	0,1678
Timson-Index	25,47 a	43,51 b	56,66 b	17,521	< 0,001
<i>Sesleria albicans</i>					
Endkeimung	0	0	1,33	1	n. s.
Timson-Index	0	0	1,13	1	n. s.

pinnatum, *Danthonia decumbens* und *Poa angustifolia* keine signifikanten Interaktionen zwischen den simulierten Umweltfaktoren Temperatur/Licht sowie vor und nach Überwinterung gab. Sowohl hinsichtlich der prozentualen Endkeimung als auch der Keimgeschwindigkeit konnten keine signifikanten Interaktionen festgestellt werden (Tab. 5). Während bei *Agrostis capillaris*, *Brachypodium pinnatum* und

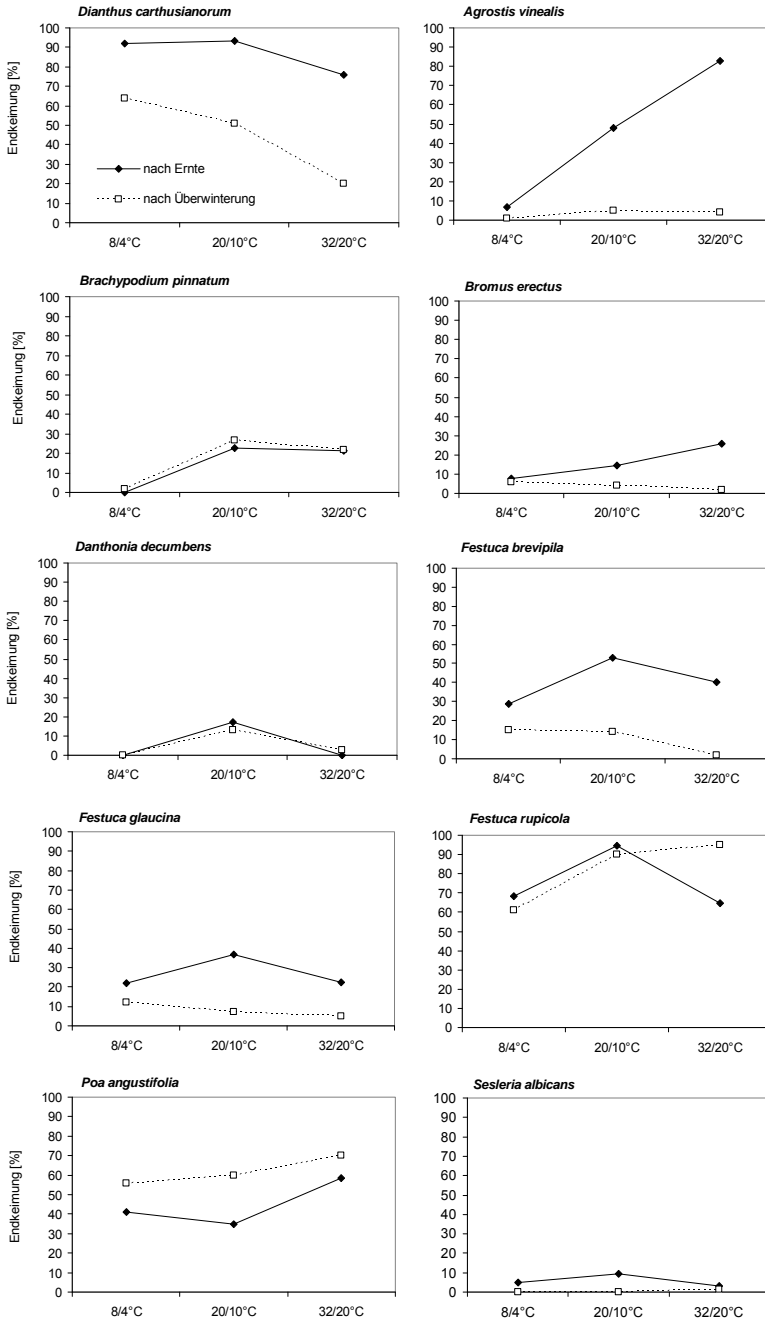


Abb. 4 Interaktionsplots der Endkeimung der zehn Zielarten zur Darstellung der Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Keimansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen.

Fig. 4 Interaction plots of the final germination of the ten target species, showing the interactions between the time of the experiment (after harvest and after hibernation) and different temperature-light regimes.

Danthonia decumbens das Keimverhalten in beiden Jahren nahezu identisch war, wies *Poa angustifolia* nach Überwinterung höhere prozentuale Keimwerte sowie Keimgeschwindigkeiten auf. Im Gegensatz dazu war die Keimung bei *Agrostis vinealis*, *Festuca brevipila* und *Festuca glaucina* nach Überwinterung deutlich und bei *Bromus erectus* und *Sesleria albicans* etwas weniger deutlich vermindert. Bei *Festuca rupicola* war das Keimverhalten bei 8/4 °C und 20/10 °C in beiden Jahren nahezu identisch, aber bei 32/20 °C war die Keimung nach Überwinterung deutlich erhöht. Bei den sechs letztgenannten Arten ergaben sich mehr oder weniger starke signifikante Interaktionen zwischen den Variablen Temperatur-Licht-Regime und Erntejahr bzw. Überwinterung sowohl hinsichtlich der prozentualen Endkeimung als auch der Keimgeschwindigkeit.

Tab. 5 Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Versuchsansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen in Bezug auf die prozentuale Endkeimung und den Timson-Index. Die arcsinus-wurzel-transformierten Daten wurden mit einer zweifaktoriellen ANOVA auf signifikante Unterschiede getestet (n. s. = nicht signifikant).

Table 5 Interactions between the time of the experiments (after harvest and after hibernation) and the different temperature-light-regimes in relation to the percentage of final germination and the Timson's index. The arcsinus square root transformed data were calculated by a Two-Way ANOVA (n. s. = not significant).

	df	mittlere Quadratsumme	F-Wert	P-Wert
<i>Agrostis capillaris</i>				
Endkeimung	2	0,056	3,915	n. s.
Timson-Index	2	0,022	2,224	n. s.
<i>Agrostis vinealis</i>				
Endkeimung	2	0,383	12,868	< 0,001
Timson-Index	2	0,319	13,886	< 0,001
<i>Brachypodium pinnatum</i>				
Endkeimung	2	0,004	0,424	n. s.
Timson-Index	2	0,0002	0,031	n. s.
<i>Bromus erectus</i>				
Endkeimung	2	0,078	9,541	< 0,01
Timson-Index	2	0,063	8,890	< 0,01
<i>Danthonia decumbens</i>				
Endkeimung	2	0,014	3,420	n. s.
Timson-Index	2	0,011	3,492	n. s.
<i>Festuca brevipila</i>				
Endkeimung	2	0,101	18,278	< 0,0001
Timson-Index	2	0,149	30,495	< 0,0001
<i>Festuca glaucina</i>				
Endkeimung	2	0,034	4,668	0,023
Timson-Index	2	0,066	9,198	0,002
<i>Festuca rupicola</i>				
Endkeimung	2	0,164	8,390	0,002
Timson-Index	2	0,124	16,899	< 0,0001
<i>Poa angustifolia</i>				
Endkeimung	2	0,010	0,822	n. s.
Timson-Index	2	0,006	0,937	n. s.
<i>Sesleria albicans</i>				
Endkeimung	2	0,022	3,772	0,043
Timson-Index	2	0,018	4,677	0,023

4.4 Lebensfähigkeit der Diasporen

Die Lebensfähigkeit der Diasporen aller zehn Zielarten war nach der Ernte sehr hoch und lag zwischen 92 und 100 % (Tab. 6). Viele Diasporen, die nach Abschluss der beiden Keimexperimente in den Petrischalen verblieben waren, wiesen allerdings eine mehr oder weniger starke Verpilzung auf. Die Ursache hierfür liegt wahrscheinlich darin, dass die Karyopsen mit den sie umschließenden Spelzen aufgelegt worden sind, an deren rauen Oberflächen eine Vielzahl von Pilzsporen haften, die aus dem Freiland stammen. In den Keimschränken konnten sie aufgrund der guten Temperatur- und Feuchtebedingungen schnell keimen und somit die Diasporen zum Absterben bringen. Die geringste Überlebensrate trat dabei bei *Agrostis vinealis* auf.

Tab. 6 Vergleich der Lebensfähigkeit der Diasporen der zehn Zielarten nach der Ernte (vor Beginn der Keimversuche) und nach dem ersten und zweiten Keimungsversuch unter verschiedenen Temperatur- und Lichtregimen. Die Lebensfähigkeit nach den beiden Keimversuchen bezieht sich auf die restlichen, nicht gekeimten Diasporen in den Petrischalen.

Table 6 Comparison of diaspore viability of the ten target species after harvest (before experiment) and after the first and second germination experiment under different temperature and light regimes.

	Lebensfähigkeit nach Ernte	Lebensfähigkeit nach erstem Keimversuch			Lebensfähigkeit nach zweitem Keimversuch		
		8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C	8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C
<i>Agrostis capillaris</i>	100	19	7	2	15	2	1
<i>Agrostis vinealis</i>	100	1	0	0	4	20	28
<i>Brachypodium pinnatum</i>	100	51,88	68,13	70,63	87,5	68,3	64,1
<i>Bromus erectus</i>	99	88	56	44	49	60	20
<i>Danthonia decumbens</i>	98	61,3	93,3	96	42,7	53,3	68
<i>Festuca brevipila</i>	99	68	27	56	32	20	32
<i>Festuca glauca</i>	98	71	41	73	41	22	34
<i>Festuca rupicola</i>	100	21	1	14	33	0	2
<i>Poa angustifolia</i>	100	40,5	43,5	32	18	14	3
<i>Sesleria albicans</i>	92	74	18	11	42,7	45,9	34,7

4.5 Zusammenhang zwischen Gewicht und Größe der Diasporen und dem Keimungsverhalten

In Abbildung 5 ist der Zusammenhang zwischen dem Gewicht bzw. der Größe (Länge) der Diasporen und den höchsten Keimungsprozenten, die unter dem artspezifisch optimalen Temperatur-Licht-Regime erzielt worden sind, dargestellt. Zwischen dem Gewicht der Diasporen und der prozentualen Keimung zeigte sich eine negative Korrelation. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson betrug $-0,429$ ($P = 0,108$). Ebenso ergab sich eine negative Beziehung zwischen Diasporengröße und prozentualer Keimung; der Korrelationskoeffizient betrug $-0,381$ ($P = 0,139$). Beide Zusammenhänge waren jedoch nicht signifikant. Für den Zusammenhang zwischen Timson-Index und Diasporengewicht (Pearson-Korrelationskoeffizient: $-0,422$, $P = 0,112$) sowie Diasporengröße (Pearson-Korrelationskoeffizient: $-0,378$, $P = 0,140$) ergaben sich ähnlich negative, aber nicht signifikante Zusammenhänge.

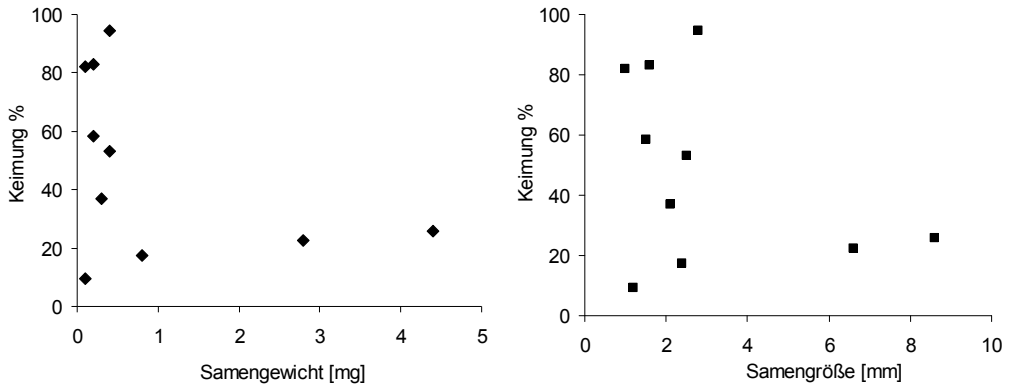


Abb. 5 Zusammenhang zwischen den höchsten Keimungsprozentsen und der Diasporenmasse (links) bzw. der Diasporengröße (rechts) der zehn Zielarten.

Fig. 5 Correlation between the highest final germination and the seed mass (left) resp. the seed size (right) of the ten target species.

5 Diskussion

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigten, dass die zehn untersuchten Arten, die alle aus der Familie der Poaceae stammen und weitgehend ähnliche Standortansprüche aufweisen, ein unterschiedliches Keimverhalten zeigen. Selbst die drei sehr ähnlichen *Festuca*-Arten keimten deutlich unterschiedlich. Für *Agrostis capillaris*, *Brachypodium pinnatum*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *F. rupicola* und *Sesleria albicans* lag die optimale Keimtemperatur im Erntejahr bei 20/10°C. Bereits MORGAN (1998) stellte in seiner Studie zum Keimverhalten von 28 Graslandarten der temperaten Zone fest, dass die bevorzugte Keimtemperatur bei 20/10°C liegt. Dies stimmt mit den Angaben von WILLIAMS (1983) zu den fünf Grasarten *Agrostis capillaris*, *Cynosurus cristatus*, *Holcus lanatus*, *Festuca rubra* und *Poa trivialis* überein. Auch PARTZSCH (2008, 2009) bestätigte dieses Keimoptimum für eine Reihe dikotyler Xerothermrasenarten. In BASKIN & BASKIN (2001) finden sich nur Angaben zum Keimtemperaturoptimum von *Agrostis vinealis* und *Sesleria albicans*, welches bei 22/12°C bzw. 20 / 10°C liegt und somit unseren Ergebnissen entspricht. Für die anderen Grasarten liegen jedoch keine Daten vor.

Ebenso geben BASKIN & BASKIN (2001) hinsichtlich der Dormanz nur für *Agrostis vinealis* an, dass deren Diasporen nicht dormant sind. Für die anderen Arten gibt es keine Angaben in der Literatur. Generell kann festgestellt werden, dass bei allen zehn Grasarten keine vollständige Dormanz vorlag, da bereits im Erntejahr alle Arten mehr oder weniger stark keimen. GASQUE & GARCIA-FAYOS (2003) beschrieben dieses Phänomen als „asynchrone Keimung“, die nach FENNER (1985) vor allem in der Familie der Poaceae auftritt. Diese gewährleistet, dass selbst unter gut geeigneten Keimbedingungen nur ein Teil der gesamten Samenpopulation einer bestimmten Art bereit ist, zu einer bestimmten Zeit zu keimen (GUTTERMANN 1992). Nach unseren Untersuchungen trifft dies vor allem auf *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *Poa angustifolia* und *Sesleria albicans* zu.

Da außer *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Festuca brevipila*, *F. rupicola* und *Poa angustifolia* alle anderen Grasarten nur zu geringen Prozentsen (deutlich unter 50%) keimten, lag die Vermutung nahe, dass ein hoher Anteil an Diasporen dormant war. Zum Brechen der Dormanz werden verschiedene Formen der Stratifikation angewendet, wie z. B. Kälte- oder Wärmebehandlung bzw. trockene Lagerung (BASKIN & BASKIN 2001). In meinen Untersuchungen wählte ich eine natürliche Stratifikation durch Überwinterung, in der die Diasporen die witterungsbedingten Temperaturschwankungen in den Wintermonaten im Freiland ausgesetzt waren. Die Kältestratifikation hatte jedoch auf die Keimung von *Brachypodium pinnatum*, *Danthonia decumbens* und *Sesleria albicans* überhaupt keinen Einfluss. Diese Arten keimten nahezu

genauso wie im Jahr der Ernte. Bei *Agrostis capillaris* und *Festuca rupicola* zeigte sich nach Überwinterung nur eine Steigerung bei der Temperatur 32/20°C. Bei *Agrostis vinealis*, *Bromus erectus*, *Festuca brevipila* und *F. glaucina* war die Keimung nach Überwinterung mehr oder weniger deutlich reduziert. Ausschließlich für *Poa angustifolia* kann vermutet werden, dass die Dormanz der Diasporen teilweise gebrochen wurde, da unter allen Temperaturbedingungen nach Überwinterung mehr Keimlinge aufliefen. Nur bei dieser Art war auch die Keimgeschwindigkeit nach Überwinterung höher als im Jahr der Ernte. Dies weist auf eine physiologische Dormanz hin, bei der die keimungshemmenden Substanzen in den Diasporen mit der Zeit abgebaut werden (BASKIN & BASKIN 2004). Allerdings keimten die Diasporen von *Poa angustifolia* auch nach Überwinterung nicht vollständig aus und ein Teil der nicht gekeimten Karyopsen war immer noch lebensfähig, was wiederum auf eine asynchrone Keimung hinweist (GASQUE & GARCIA-FAYOS 2003).

Merkmale der Diasporen, einschließlich Samengewicht und –größe, Dormanz, Keimung und Ausbreitung sind zentrale Komponenten der Lebensgeschichte der Pflanzen (HARPER 1977, FENNER & THOMPSON 2005) und ihre Bedeutung für die Fitness der Arten ist weitreichend akzeptiert (GRUBB 1977, HIGGINS & RICHARDSON 1999). So wurde in verschiedenen Studien ein Zusammenhang zwischen der prozentualen Keimung und der Samengröße bzw. –masse festgestellt. Die Ergebnisse zeigen jedoch keinen einheitlichen Trend: WEIS (1982) und VERA (1997) stellten fest, dass der Keimerfolg mit dem Gewicht der Diasporen ansteigt, COUNTS & LEE (1991) berichteten jedoch von einer abnehmenden Keimung. Demgegenüber konnte ERIKSSON (1999) keinen Zusammenhang zwischen prozentualer Keimung und Diasporengewicht nachweisen. Im Gegensatz dazu wiesen WU & DU (2007) in ihrer Studie an 47 Arten aus der Familie der Poaceae nach, dass die größeren und damit schwereren Diasporen signifikant schneller und erfolgreicher keimten. Die Masse der Grasdiasporen variierte in ihrer Studie zwischen 0,11 und 14,4 mg, wobei die Variation der Masse nahezu 103% erreichte. Bei den hier untersuchten Arten lag das Samengewicht zwischen minimal 0,1 mg für die beiden *Agrostis*-Arten und *Sesleria albicans* sowie maximal 4,4 mg für *Bromus erectus*. Innerhalb der zehn Arten zeigte sich ein negativer Zusammenhang zwischen prozentualer Keimung und dem Samengewicht bzw. der –größe, wonach kleine Diasporen besser keimten als große. Dieser Zusammenhang war allerdings nicht signifikant. Ebenso konnte in der vorliegenden Studie nicht festgestellt werden, dass kleinere und leichtere Diasporen signifikant schneller keimten.

Nach OTTE et al. (2006) lassen sich aus dem Keimverhalten und der Dormanz der Diasporen Rückschlüsse auf den Diasporenbanktyp ableiten und sie wiesen dies für eine Reihe von Ackerunkräutern nach. Dabei verfolgen viele Arten die Strategie, aufgrund von niedrigen Keimraten größere Mengen an Diasporen im Boden zu lagern und somit eine langlebige Diasporenbank aufzubauen. Nach THOMPSON et al. (1997) lassen sich die Diasporenbanken in folgende vier Typen unterteilen: 1 = transient, 2 = short-term persistent, 3 = long-term persistent, 4 = unklarer Diasporenbanktyp. In der vorliegenden Studie wird versucht, aufgrund der unter optimalen Bedingungen erzielten Keimraten sowohl in Jahr der Ernte als auch nach Überwinterung und der Lebensfähigkeit der nicht gekeimten Diasporen nach Ende der Versuche Rückschlüsse über den Diasporenbanktyp zu ziehen. Für *Agrostis capillaris* finden sich folgende Angaben in der Datenbank von THOMPSON et al. (1997): 13x1, 18x2, 8x3, 15x4; Lebensfähigkeit: > 7 bzw. > 40 Jahre. Ebenso gibt WILLIAMS (1983) für diese Art einen persistenten Diasporenbanktyp an. Nach den vorliegenden Ergebnissen bewerte ich die Diasporenbank als transient. Dies gilt ebenso für *A. vinealis* (THOMPSON et al. 1997: 2x1, 3x2, 1x4; Lebensfähigkeit: > 2 Jahre). Bei den Arten *Brachypodium pinnatum* (THOMPSON et al. 1997: 8x1, 1x2, 3x4; Lebensfähigkeit: > 2 Jahre), *Bromus erectus* (THOMPSON et al. 1997: 4x1, 2x2, 1x4) und *Danthonia decumbens* (THOMPSON et al. 1997: 6x1, 5x2, 6x4; > 2 Jahre) weisen die Angaben sowohl auf einen transienten als auch einen short-term persistenten oder einen unklaren Diasporenbanktyp hin. Nach den hier vorliegenden Ergebnissen handelt es sich eher um einen long-term persistent Typ. Für die drei *Festuca*-Arten gibt es keine Angaben in THOMPSON et al. (1997). Die Ergebnisse weisen auf einen short-term persistenten bzw. bei *F. rupicola* auf einen transienten Diasporenbanktyp hin. Für *Poa angustifolia* geben THOMPSON et al. (1997) nur 1x1 und 1x4 an. Ich vermute einen short-term persistenten Diasporenbanktyp. Auch für *Sesleria albicans* sind die Angaben spärlich (THOMPSON et al. 1997: 1x1, 1x4) aufgrund der geringen Restlebensfähigkeit der Diasporen vermute ich einen short-term persistenten Diasporenbanktyp.

Generell kann aufgrund meiner Keimdaten nicht geschlussfolgert werden, dass Grasarten bessere Keimerfolge im Vergleich zu dikotylen Arten aufwiesen. Bei beiden Artengruppen ist das Keimverhalten

artspezifisch verschieden (vgl. PARTZSCH 2008, 2009a, b, 2010). Ebenso kann nicht mit Sicherheit geschlussfolgert werden, dass Arten, die hohe Keimungsprozente erzielten, auch zum Aufbau von dominanten Grasbeständen neigen. Dies könnte eventuell für *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Festuca rupicola* und *Poa angustifolia* angenommen werden. Auf der anderen Seite können auch *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina* und *Sesleria albicans* dichtschießende Rasenbestände aufbauen, obwohl sie sich durch geringe Keimung auszeichnen. So kann *Brachypodium pinnatum* aufgrund der sehr dominanten vegetativen Ausbreitung auf eine generative Vermehrung im Vergleich zu den anderen Arten deutlich weniger angewiesen sein, was ihre geringere Investition in die Diasporen bzw. deren Keimfähigkeit erklären könnte. Der Erfolg von Arten aus der Familie der Poaceae in Graslandschaften liegt wohl eher in der ausdauernden Lebensform begründet, die für einen jährlichen Nachschub von Diasporen am Wuchsort sorgt.

6 Zusammenfassung

PARTZSCH, M.: Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten xerothermen Grasarten. – Hercynia N. F. 43 (2010): 299–317.

Der Prozess der Keimung bestimmt im Wesentlichen den Überlebenserfolg von Pflanzenarten, wobei die Arten unterschiedliche Keimungsstrategien entwickelt haben. Trockenrasen- und Halbtrockenrasen sind vor allem durch ein dominantes Auftreten von verschiedenen Arten aus der Familie der Poaceae gekennzeichnet. Die Frage war, ob sich diese Arten auch durch eine verstärkte Keimung auszeichnen. Aus diesem Grund wurden die folgenden zehn Arten in der Umgebung von Halle (Mitteldeutsches Trockengebiet) gesammelt und verschiedenen Keimungsversuchen unterzogen: *Agrostis capillaris*, *A. vinealis*, *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *F. rupicola*, *Poa angustifolia* und *Sesleria varia*. Unter drei verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen (8/4°C, 20/10°C, 32/20°C; 12 h Licht: 12 h Dunkelheit; 45 Tage) wurden die optimalen Keimansprüche der Arten im Erntejahr untersucht. Ein Teil der Diasporen wurde einer natürlichen Stratifikation durch Überwinterung unterzogen und im darauf folgenden Frühjahr einem Keimtest unterzogen. Vor und nach dem Keimtest wurden die Diasporen auf Lebensfähigkeit getestet.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den untersuchten Grasarten keine vollständig Dormanz sondern eine asynchrone Keimung vorliegt, bei der selbst unter gut geeigneten Keimbedingungen nur ein Teil der Diasporen einer Art bereit ist, zu einer bestimmten Zeit zu keimen. Nach unseren Untersuchungen trifft dies vor allem auf *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus*, *Danthonia decumbens*, *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *Poa angustifolia* und *Sesleria albicans* zu. Das Temperaturoptimum lag bei den meisten Arten bei 20/10°C. Nur bei *Agrostis vinealis*, *Bromus erectus* und *Poa angustifolia* führt eine Temperaturerhöhung auch zu höheren Keimprozenten und –geschwindigkeiten. Mit Ausnahme von *Poa angustifolia* führte die natürliche Kältestratifikation nicht zu einer Erhöhung der Keimraten. Das Keimverhalten sowie die Überlebensrate der Diasporen nach Beendigung der Versuche erlaubten Schlussfolgerungen auf den Diasporenbanktyp der Arten: bei *Agrostis capillaris*, *A. vinealis* und *Festuca rupicola* scheint ein transientser Diasporenbanktyp, bei *Festuca brevipila*, *F. glaucina*, *Poa angustifolia* und *Sesleria albicans* ein short-term persistenter und bei *Brachypodium pinnatum*, *Bromus erectus* und *Danthonia decumbens* ein long-term persistenter Diasporenbanktyp vorzuliegen.

7 Danksagung

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Keimversuche bedanke ich mich ganz herzlich bei Frau Christine Voigt und Juliane Friese. Für die Bereitstellung der Klimadaten danke ich Herrn Dr. Jürgen Döring. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes bedanke ich mich bei Frau Prof. Isabell Hensen und Herrn Dr. Anselm Krumbiegel.

8 Literatur

- AULD, T. D.; O'CONNELL, M. A. (1991): Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. – *Australian Journal of Ecology* **16**: 53–70.
- BASKIN C. C.; BASKIN, J. M. (2001): *Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. – Academic Press, Chapman & Hall, London.
- BASKIN C. C.; BASKIN, J. M. (2004): A classification system for seed dormancy. – *Seed Sci. Res.* **14**: 1–16.
- COCHRANE, A.; BROWN, K.; MEESON, N.; HARDING, C. (1999): The germination requirements of *Hernigenia exilis* (Lamiaceae) – seed plug removal and gibberellic acid as a successful technique to break dormancy in an arid zone shrub from Western Australia. – *CALMScience* **3**: 21–30.
- COUNTS, R. L.; LEE, P. F. (1991): Germination and early seedling growth in some northern wild rice (*Zizania palustris*) populations differing in seed mass. – *Can. J. Bot.* **69**: 689–696.
- DEL-VAL, E.; CRAWLEY, M. J. (2005): What limits herb biomass in grasslands: competition of herbivory? *Oecologia* **142**: 202–211.
- DÖRING J.; BORG, H. (2008): Ist das Klima von Halle (Saale) noch „normal“? Betrachtungen anhand der Temperatur- und Niederschlagsreihe von 1851 bis heute. – *Hercynia N. F.* **41**: 3–21.
- ERIKSSON, O. (1999): Seed mass variation and its effect on germination and seedling performance in the clonal herb *Convallaria majalis*. – *Acta Oecol.* **20**: 61–66.
- FENNER, M. (1985): *Seed Ecology*. – Chapman & Hall, London.
- FENNER, M.; THOMPSON, K. (2005): *The ecology of seeds*. – Cambridge University Press, Cambridge.
- GASQUE, M.; GARCIA-FAYOS, P. (2003): Seed dormancy and longevity in *Stipa tenacissima* L. (Poaceae). – *Plant Ecol.* **168**: 279–290.
- 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* **7/3**: 423–446.
- GRIME, J. P.; HODGSON, J. G.; HUNT, R. (2007): *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. – Castlepoint Press, Colvend.
- GRUBB, P. J. (1977): The maintenance of species richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. – *Biol. Rev.* **52**: 107–145.
- GUTTERMANN, Y. (1992): Maternal effects on seed germinability: phenotypic maternal effects during seed maturation. – *Israel J. Bot.* **29**: 105–117.
- HARPER, J. L. (1977): *Population biology of plants*. – Academic Press, London.
- HENDRY, G. A.; GRIME, J. P. (1993): *Methods in Comparative Plant Ecology*. – Chapman & Hall, London.
- HIGGINS, S. L.; RICHARDSON, D. M. (1999): Predicting plant migration rates in a changing world: the role of long-distance dispersal. – *Am. Nat.* **153**: 464–475.
- ISTA (2003): *International rules for seed testing*. – Zurich, Switzerland.
- JÄGER, E. J.; WERNER, K. (eds.) (2005): *Exkursionsflora von Deutschland, begründet von W. Rothmaler. Bd. 4. Gefäßpflanzen: Kritischer Band*. – Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, München.
- JONGEJANS, E.; SOONS, M. B.; DE KROON, H. (2006): Bottlenecks and spatiotemporal variation in the sexual reproduction pathway of perennial meadow plants – *Basic and Appl. Ecol.* **7**: 71–81.
- JORRITSMA-WIENK, L. D.; AMELOOT, E.; LENSSEN, J. P. M.; DE KROON, H. (2006): Differential responses of germination and seedling establishment in populations of *Tragopogon pratensis* (Asteraceae). – *Plant Biol.* **9**: 109–115.
- KHAN, M. A.; UNGAR, I. A. (1996): Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon fecurvum* Bunge ex Boiss. – *Annals of Botany* **78**: 547–551.
- KHAN, M. A.; UNGAR, I. A. (1997): Alleviation of seed dormancy on the desert forb *Zygophyllum simplex* L. from Pakistan. – *Annals of Botany* **80**: 395–400.
- MORGAN, J. W. (1998): Comparative germination responses of 28 temperate grassland species. – *Austr. J. Bot.* **46** (2): 209–219.
- OTTO, B. (2002): Merkmale von Samen, Früchten, generativen Geminulen und generativen Diasporen. – In: KLOTZ, S.; KÜHN, I.; DURKA, W. : *BIOLFLOR – Eine Datenbank mit biologisch-ökologischen Merkmalen zur Flora von Deutschland*. – Schr.R. Vegetationskunde **38**: 177–196.
- OTTE, A.; BISSELS, S.; WALDHARDT, R. (2006): Samen-, Keimungs- und Habitateigenschaften: Welcher Parameter erklärt Veränderungstendenzen in der Häufigkeit von Ackerwildkräutern in Deutschland? – *J. Plant Diseases and Protection. Sonderh.* **XX**: 507–516.
- PARTZSCH, M. (2007): Flora, Vegetation und historische Entwicklung der Porphyrkuppenlandschaft zwischen Halle und Wettin (Sachsen-Anhalt). – *Schlechtendalia* **15**: 1–91.
- PARTZSCH, M. (2008): Welchen Einfluss haben Temperatur und Azidität der Bodenlösung auf die Keimungsbiologie ausgewählter xerothermer Graslandarten? – *Hercynia N. F.* **41**: 239–252.

- PARTZSCH, M. (2009a): Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter ephemerer Xerothermrasenarten. – *Hercynia N. F.* **42**: 93–110.
- PARTZSCH, M. (2009b): Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrasenarten - Teil 1. – *Hercynia N. F.* **42**: 239–254.
- PARTZSCH, M. (2010): Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter kurzlebiger Ruderal- und Segetalarten. – *Hercynia N. F.* **42**: 149–166.
- PÉREZ-FERNÁNDEZ, M. A.; CALVO-MAGRO, E.; MONTANERO-FERNÁNDEZ, J.; OYOLA-VELASCO, J. A. (2006): Seed germination in response to chemicals: Effect of nitrogen and pH in the media. – *J. Environ. Biol.* **27** (1): 13–20.
- SCHUBERT, R.; HILBIG, W.; KLOTZ, S. (1995): Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Mittel- und Nordostdeutschlands. – Fischer-Verlag, Jena, Stuttgart.
- SPSS (2008) SPSS for Windows 16.0. SPSS, Chicago.
- THOMPSON, K.; BAKKER, J. P.; BEKKER, R. M. (1997): The soil seed banks of north west Europe: methodology, density and longevity. – University Press, Cambridge.
- TIMSON, J. (1965): New method of recording germination data. – *Nature* **207**: 216–217.
- 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.
- WEIS, I. M. (1982): The effect of propagule size on germination and seedling growth in *Mirabilis hirsuta*. – *Can. J. Bot.* **60**: 1868–1874.
- WILLIAMS, E. D. (1983): Effects of temperature fluctuation, red and far-red light and nitrate on seed germination of five grasses. – *J. Appl. Ecol.* **20**: 923–935.
- WU, G.; DU, G. (2007): Germination is related to seed mass in grasses (Poaceae) of the eastern Quinhai-Tibetan Plateau, China. – *Nord. J. Bot.* **25**: 361–365.

Manuskript angenommen: 7. September 2010

Anschrift der Autorin:
Dr. rer. nat. Monika Partzsch
Martin-Luther-Universität
Institut für Biologie / Geobotanik und Botanischer Garten
Am Kirchtor 1
D-06108 Halle (Saale)
E-mail: monika.partzsch@botanik.uni-halle.de

Fortsetzung von S. 202

Das Gebiet umfasst die an dessen mittleren Westrand liegende Stadt Großenhain und die von folgenden Ortschaften ungefähr umschlossene Fläche von ca. 22 x 17 km: Nasseböhle, Stroga (NW), Weißig am Raschütz (N), Lüttichau (NO), Röhrsdorf (O), Würschnitz, Boden (SO), Radeburg, Steinbach (S) und Jessen, Gävernitz (SW).

Die Großenhainer Pflege ist eine traditionelle Kulturlandschaft, die vor allem dank der Bodenfruchtbarkeit seit alters her durch Ackerbau genutzt wird und nicht zuletzt deswegen kaum noch Wald besitzt. Landschaftsprägend ist die durch das Bearbeitungsgebiet von SO nach NW verlaufende Aue der Großen Röder. Im Ostteil des Bearbeitungsgebietes befinden sich einige bewaldete Flächen, die überwiegend zum Ortrander Hügelland (NO) und zu den Königsbrück-Ruhlander Heiden gehören. Der Landeskundliche Überblick informiert als erster Hauptteil umfassend über Naturraum, Geschichte, Gebietsstruktur und Landnutzung, Ortsnamen, Mundart und Volkskunde sowie Siedlungsformen und ländliche Bauweise.

Wesentlich bestimmt wird das Gebiet durch kaltzeitliche Ablagerungen, die einerseits für die stellenweise fruchtbaren Böden verantwortlich sind (vor allem Löss, Geschiebemergel) und andererseits die Grundlage für den ergiebigen Sand- und Kiesabbau bilden. Nur stellenweise durchragt das Grundgebirge die Ablagerungen. Es erstreckt sich als schmales Band (Großenhainer Gneiskomplex) zwischen Großenhain und Radeburg, an das sich nordöstlich das Lausitzer und südwestlich das Meißener Massiv anschließen.

Die Lage am Übergang zwischen Tief- und Hügelland hat einen wesentlichen Einfluss auf die klimatischen Gegebenheiten und damit die biotische Naturraumausstattung. So ist das Gebiet auch deshalb floristisch interessant, weil es im Durchdringungsbereich der Vorkommen (sub-)atlantischer und borealer Arten (Ausläufer der Königsbrück-Ruhlander Heiden) und (sub-)mediterraner Sippen des wärmebegünstigten Elbtals liegt. Nicht nur die natürlichen Gegebenheiten bedingen ein reiches floristisches Inventar, sondern wesentlich dazu tragen auch die anthropogen entstandenen Gewässer, vor allem (ehemalige) Fischteiche bei. Aber auch verschiedene gefährdete Heide- und Moorarten besitzen Vorkommen im Gebiet. Avifaunistisch ist die Großenhainer Pflege nicht zuletzt wegen der Gewässer von großer Bedeutung. So wird das Speicherbecken Radeburg II während des Vogelzuges u. a. von mehreren Zehntausend Gänsen als Schlafplatz genutzt.

Im zweiten Hauptteil, der die 86 Einzeldarstellungen enthält, wird in der für die Reihe bewährten Form auf unterschiedliche Natur- und i. w. S. Kulturobjekte näher eingegangen. Vornehmlich sind es Ortschaften, außerdem Gewässer, wie z. B. Elligastbach, Hopfenbach und Stausee Nauleis, Große Röder und Speichersystem Radeburg, sonstige natürliche Landschaftselemente, wie Raschützwald, Ponickauer Endmoräne oder Gävernitzer Heidchen. Die Einzelbeschreibungen vermitteln dank ihrer Vielseitigkeit hinsichtlich Geschichte, Natur, Kultur und Wirtschaft interessante Einblicke in den Landschaftsraum und stellen die lokalen Besonderheiten nach dem regionalen, landeskundlichen Überblick im ersten Teil detailliert vor. Zahlreiche, meist farbige, Abbildungen, darunter 13 Karten im landeskundlichen Teil, untersetzen die fundierten Darstellungen.

Das Literaturverzeichnis ist mit 25 Seiten sehr umfangreich und ermöglicht so die vertiefende Beschäftigung mit Details zu allgemeinen oder speziellen Aspekten. Der sich anschließende Anhang enthält verschiedene tabellarische Übersichten, z. B. zur Entwicklung der Einwohnerzahl der einzelnen Gemeinden zwischen 1551/52 und 2006, eine Pflanzen- und Tierartenliste sowie eine Zusammenstellung der Naturschutzgebiete. Es folgen Kurzbiografien von 39 Personen mit Bezug zum Bearbeitungsgebiet sowie Vorschläge für landeskundliche Exkursionen.

Die vielseitigen und detaillierten Texte sowie die zahlreichen Karten, Fotos, Schwarzweißzeichnungen, Diagramme und Tabellen ermöglichen eine gute Vor- und Nachbereitung eines Besuches in dieser sowohl natur- als auch kulturgeschichtlich interessanten Gegend.

Anselm KRUMBIEGEL, Halle (Saale)