

Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter ephemerer Xerothermrassenarten^{*)}

Monika PARTZSCH

5 Abbildungen und 6 Tabellen

Abstract

PARTZSCH, M.: Germination biology of eight selected ephemeral xerothermic grassland species. – *Hercynia N.F.* 42 (2009): 93–110.

The germination behaviour of plants is strongly related to the environmental conditions and the biology and life span of the species involved. In the natural-near xerothermic vegetation of the porphyry landscape around Halle, Germany (Saxony-Anhalt), we can find plant species with a very narrow seasonal dynamic. These are ephemeral plants which are annual and survive long time of the year as seeds in the soil. They can germinate in very early spring or in summer. Other species germinate in autumn and overcome winter as seedlings or juvenile individuals. Both types can be also in combination.

For this study our goal was to find out whether the different types of therophytes are characterized by the same germination pattern, or if they show differences depending on their life types. For the consequent comparative studies on germination temperature, percentage germination, velocity, dormancy and viability we selected the following eight species: *Cerastium semidecandrum*, *Erophila verna*, *Gypsophila muralis*, *Myosotis ramosissima*, *M. stricta*, *Saxifraga tridactylites*, *Spergula morisonii* and *Veronica verna*.

The germination experiments were carried out under varying light-dark-regimes (12/12 hrs at 8/4 °C, 20/10 °C, and 32/20 °C). The first experiment was started ca. 6 weeks after harvest. The rest of the seeds was burrowed under field conditions outdoors and exposed to a natural stratification. The second germination experiment was initiated after hibernation in the following spring. The viability of seeds was tested before and after the 1st and 2nd round of experiments.

Results show that there was no complete dormancy in any of the species; a certain proportion of seeds always germinated under all conditions. For *C. semidecandrum*, *E. verna*, *G. muralis*, *S. tridactylites* and *S. morisonii* germination percentage and velocity was lowest in the fruiting year while after hibernation it was significantly higher and faster. In the case of *M. ramosissima*, *M. stricta* and *V. verna*, germination was highest in autumn while after hibernation only a small proportion of seeds germinated.

The germination behaviour of the eight target species is related to the life span of the species: *C. semidecandrum*, *E. verna*, *S. tridactylites* and *S. morisonii* are summer annual as well as annual hibernating species. A small proportion of seeds already germinated in the year of harvesting; after hibernation they germinated very quickly with between 85 and 100 % germination at optimal temperature/light-conditions of 20/10 °C. In accordance with JÄGER & WERNER (2005), *M. ramosissima*, *M. stricta* and *V. verna* are just annual hibernating species. However, in our study they showed highest germination success in autumn while in the spring germination was minimal and slow, and only under cold conditions (8/4 °C). *G. muralis* is summer annual, but germination in the year of harvesting was low under all three temperature/light-conditions. After hibernation, half of the seeds germinated quickly under cold and medium conditions. Also, under warm conditions (32/20 °C) she was relatively successful.

The very low seed size of the eight species argued for a long-term persistent diaspore bank. Caused to the germination and dormancy pattern it was estimated differently. The results show, that *C. semidecandrum*, *E. verna*, *S. tridactylites* and *S. morisonii* almost completely germinate after hibernation, which would assign these species to the short-term persistent diaspore bank type. The low germination and the high seed viability after hibernation in *M. ramosissima* and *M. stricta* may suggest a long-term persistent

^{*)} Diese Arbeit widme ich Herrn Prof. Dr. Eckehart J. Jäger mit den besten Wünschen zum 75. Geburtstag.

diaspore bank type. However, *V. verna* developed a transient and *G. muralis* a short-term till long-term persistent seed bank.

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

1 Einleitung

Das Keimverhalten von Pflanzenarten gibt Auskunft über deren Reproduktionsvermögen. BASKIN & BASKIN (2001) weisen aus, dass jede Art eine charakteristische Keimsaison besitzt, die durch für die jeweilige Art ungünstige Witterungs- bzw. Klimabedingungen begrenzt wird. Häufig ist die Keimung auf die klimatischen Bedingungen speziell abgestimmt und wird bei temporären ungünstigen Bedingungen durch Dormanz verhindert. Nach FENNER & THOMPSON (2005) liegt die entscheidende Funktion der Dormanz darin, die Keimung dann zu verhindern, wenn zwar die Umweltbedingungen für eine Keimung, nicht aber für das Überleben und das Wachstum der Keimlinge geeignet sind. Für FINCH-SAVAGE & LEUBNER-METZGER (2006) ist die Dormanz eine immanente Sameneigenschaft, die durch die Umweltbedingungen definiert wird, unter welchen die Samen zur Keimung gelangen. Neben einem starken Umwelteinfluss wird sie vor allem auch genetisch gesteuert, besonders durch die Pflanzenhormone Abscisinsäure und Gibbereline.

Die Keimung ist ein irreversibler Prozess, der von einer Vielzahl von Umweltfaktoren sowohl positiv als auch negativ beeinflusst wird (FENNER & THOMPSON 2005). Dabei gehören Temperatur, Licht und Wasser zu den wichtigsten Faktoren. Dies wurde bereits in vielfältiger Weise dokumentiert (BASKIN & BASKIN 2001). Nach unseren Untersuchungen an ausgewählten Pflanzenarten (*Calluna vulgaris*, *Filipendula vulgaris*, *Jurinea cyanoides*, *Seseli hippomarathrum*) scheint der pH-Wert der Bodenlösung jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Keimung zu haben (PARTZSCH 2008).

In der naturnahen Xerothermrasenvegetation der Porphyrkuppenlandschaft nahe Halle finden wir in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten Pflanzenarten vor, die eine mehr oder weniger enge saisonale Dynamik aufweisen. Hierbei handelt es sich um so genannte Ephemere, die nur kurzzeitig als voll entwickelte Individuen in den Pflanzengesellschaften auftreten, den Großteil des Jahres jedoch als Samen im Boden überdauern. Eine Reihe dieser Ephemerer laufen bereits im zeitigen Frühjahr auf und nutzen dabei die noch ausreichend vorhandene Feuchtigkeit an den Standorten. Ihre reproduktive Phase haben sie bereits abgeschlossen, wenn es zu einer starken Überhitzung bzw. Austrocknung der Wuchsorte im Sommer kommt. Andere Arten laufen aber erst im Frühsommer auf und können bis in den Herbst hinein blühen und fruchten. Nach JÄGER & WERNER (2005) werden sie zusammenfassend als sommerannuell bezeichnet. Ein anderer Teil der Arten keimt aber bereits im Herbst und überdauert den Winter in Form von Keimlingen bzw. juvenilen Individuen. Diese werde nach JÄGER & WERNER (2005) als einjährig-überwinternd bezeichnet. Diese beiden Formen der Lebensdauer können bei den verschiedenen Ephemerer sowohl getrennt als auch in Kombination auftreten.

Der unterschiedliche Lebenszyklus dieser Therophyten wirft die Frage auf, ob sich die Arten durch ähnliche Keimmuster auszeichnen oder unterscheiden. Aus diesem Grund wurden acht Arten mit unterschiedlichen Formen der ephemeren Lebensweise vergleichend untersucht, um Rückschlüsse auf deren Keimungsbiologie hinsichtlich optimaler Keimtemperaturen, prozentualer Keimung und Keimgeschwindigkeit ziehen zu können. Zusätzlich wurden die Diasporen der Arten im Herbst im Boden vergraben und im Frühjahr erneut einem Keimtest unterzogen. Dadurch sollte eine natürliche Stratifizierung erfolgen, die uns ermöglicht, den Einfluss des winterlichen Witterungsverlaufes auf die Überlebens- und Keimfähigkeit zu überprüfen sowie Aussagen über das Dormanzverhalten bzw. den Diasporenbanktyp der Arten abzuleiten.

2 Charakterisierung der Arten

Bei den acht ausgewählten Arten handelt es sich um kurzlebige, ephemere Arten, die in der Porphyrkuppenlandschaft, vornehmlich in dem sehr lückigen, acidophilen Thymo-Festucetum cinereae auf Syrosem-

böden (Porphy) vorkommen. Eine Ausnahme ist *Saxifraga tridactylites*, die in lückigen Xerothermrassen auf Löß siedelt. Die biologischen Eigenschaften der Arten (vgl. JÄGER & WERNER 2005) werden im Folgenden kurz beschrieben:

Cerastium semidecandrum L. (Fünfmänniges Hornkraut; Caryophyllaceae) ist eine sommerannuelle und einjährig-überwinternde Halbrosettenpflanze, mit einer Wuchshöhe zwischen 3 und 20 cm. Sie tritt vorwiegend in lückigen Xerothermrassen, aber auch auf Äckern bzw. Ruderalstellen auf. Die Art blüht von März bis Mai und bildet die gelbbraunen, nierenförmigen Samen in walzigen, 6zähligen, sich öffnenden Kapseln.

Erophila verna (L.) CHEVALL. (Frühling-Hungerblümchen; Brassicaceae) ist eine bis 15 cm große Rosettenpflanze, die sommerannuell und einjährig-überwinternd ist. Sie ist unter den untersuchten Arten diejenige, die am frühesten blüht. Die Blütezeit erstreckt sich von März bis April, schon Anfang Mai sind meist nur noch abgestorbene Individuen zu finden. Sie besiedelt lückige Xerothermrassen, sandige Äcker und Ruderalstellen. Die elliptischen, gelbbraunen, glänzenden Samen werden in Schötchen gebildet.

Gypsophila muralis L. (Acker-Gipskraut; Caryophyllaceae) ist eine rosettenlose Sommerannuelle. Die Wuchshöhe beträgt 4 bis 25 cm (maximal 40 cm). Im Gegensatz zu den anderen Arten beginnt sie erst im Juni mit der Blüte, die sich bis Anfang Oktober erstrecken kann. In der Porphykuppenlandschaft finden wir die Art auf reinem Porphy, sie kommt aber auch auf sandig-lehmigen Ruderalstellen und Äckern vor. Die feinen Samen werden in Kapseln gebildet.

Myosotis ramosissima ROCHEL (Raues Vergissmeinnicht; Boraginaceae) ist eine einjährig-überwinternde Halbrosettenpflanze mit einer Wuchshöhe von 5 bis 25 cm. Sie blüht von April bis Juni und bildet je Blüte vier hellbraune Klausen, die eine langlebige Diasporenbank aufbauen. Sie siedelt auf Sand- und Silikattrockenrasen, trockenen Ruderalstellen und Brachäckern.

Myosotis stricta LINK ex ROEM. et SCHULT. (Sand-Vergissmeinnicht; Boraginaceae) ähnelt stark der vorher genannten Art hinsichtlich der Wuchs- und Lebensform sowie der bevorzugten Standorte. Von der Wuchshöhe ist sie etwas kleiner, zwischen 3 bis 20 cm. Die Blüte beginnt bereits im März und erstreckt sich bis Juni. Die reifen Klausen sind schwarzbraun und langlebig.

Saxifraga tridactylites L. (Finger-Steinbrech; Saxifragaceae) ist eine sommerannuelle und einjährig-überwinternde Halbrosettenpflanze, die nur zwischen 2 und 18 cm hoch wird und zwischen April und Juni blüht. Sie besiedelt lückige Xerothermrassen und trockene Ruderalstellen meist auf basischem Substrat (Löß). Die feinen Samen werden in Kapseln gebildet.

Spergula morisonii BOREAU (Frühlings-Spergel; Caryophyllaceae) ist eine sommerannuelle und einjährig-überwinternde Halbrosettenpflanze bzw. rosettenlose Pflanze. Die Wuchshöhe beträgt zwischen 5 und 25 cm. Die Art blüht zwischen April und Juni. Sie besiedelt bevorzugt Sandtrockenrasen und sandige Brachen sowie trockene Kiefernwälder. Die Samen sind mit einem breiten Hautrand umgeben und werden in Kapseln gebildet.

Veronica verna L. (Frühlings-Ehrenpreis; Scrophulariaceae) ist eine einjährig-überwinternde, rosettenlose Pflanze mit einer Wuchshöhe zwischen 3 bis 15 cm (maximal 20 cm). Die Blütezeit erstreckt sich von April bis Mai. Sie besiedelt Trockenrasen, sandige Äcker und Ruderalstellen. In den herzförmigen Kapseln werden 12 bis 16 gelbbraune Samen gebildet.

3 Material und Methoden

3.1 Sammlung und Versuchsansätze

Die Diasporen wurden im reifen Zustand an der Mutterpflanze geerntet. Je nach Art variierten die Sameltermine (Tab. 2). Die Orte der Aufsammlung waren auf die Porphykuppenlandschaft bei Halle (Region um Brachwitz und Gimritz) begrenzt. Die ersten Keimuntersuchungen fanden ca. 6 Wochen nach der Ernte statt. Bis dahin wurden die Diasporen zur Nachreife bei Zimmertemperatur trocken gelagert. Im Herbst wurde der übrige Teil der geernteten Diasporen in luftdurchlässige Säckchen verpackt, im Boden vergraben (ca. 5 cm tief) und den Witterungsbedingungen im Freiland zwischen Anfang November und

Tab. 1 Diasporenmerkmale der acht Zielarten. Daten zu Gewicht und Größe aus ¹⁾PARTZSCH et al. 2006), ²⁾PARTZSCH (1987) und ³⁾ aus Biolflor (OTTO 2002).

Table 1 Traits of diaspores of the eight target species. Data of weight and size follow ¹⁾PARTZSCH et al. 2006) ²⁾PARTZSCH (1987) and ³⁾ Biolflor (OTTO 2002).

Zielart	Diasporentyp	Gewicht [in mg]	Länge [mm]	Breite [mm]
<i>Cerastium semidecandrum</i> ¹⁾	Same	0,054	0,50	0,53
<i>Erophila verna</i> ¹⁾	Same	0,013	0,48	0,33
<i>Gypsophila muralis</i> ³⁾	Same	0,05	0,3	0,3
<i>Myosotis ramosissima</i> ³⁾	Klause (Frucht)	0,1	1,0	0,7
<i>Myosotis stricta</i> ¹⁾	Klause (Frucht)	0,144	1,15	0,75
<i>Saxifraga tridactylites</i> ³⁾	Same	0,05	0,4	0,3
<i>Spergula morisonii</i> ²⁾	Same	0,17	1,60	1,61
<i>Veronica verna</i> ¹⁾	Same	0,128	1,24	0,93

Ende März ausgesetzt. So wurden die Diasporen von sieben der acht untersuchten Arten (Tab. 2) zwischen 2004/2005 und von *G. muralis* zwischen 2007/2008 einer natürlichen Stratifikation unterzogen. Die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe schwankten 2004/2005 zwischen minimal (nachts) von -1,5 bis 10,3 °C und maximal (tags) von -0,5 bis 13,3 °C, dargestellt in Abb. 1. Der Klimaverlauf zwischen dem 1.11.2007 und dem 15.03.2008 war ähnlich: maximale Tagestemperaturen -1,7 bis 15,9 °C und minimale Nachttemperaturen -4,5 bis 8,6 °C. Die Klimadaten entstammen der Klimastation Halle-Seeben (DÖRING & BORG 2008). Ende März wurden diese Diasporen ausgegraben und einem Keimversuch unterzogen.

Tab. 2 Ort und Datum der Aufsammlung der Diasporen, Datum des ersten Keimansatzes nach Ernte und des zweiten Keimansatzes nach Überwinterung.

Table 2 Location and date of seed collection, date of first germination experiment after harvest and second experiment after hibernation.

Zielart	Sammelort	Sammeldatum	Ansatz nach Ernte	Ansatz nach Überwinterung
<i>Cerastium semidecandrum</i>	Lerchenhügel	9.5.2004	16.7.2004	9.5.2005
<i>Erophila verna</i>	Lerchenhügel	9.5.2004	16.7.2004	9.5.2005
<i>Gypsophila muralis</i>	Gimritz	30.8.2007	16.10.2007	17.3.2008
<i>Myosotis ramosissima</i>	Lerchenhügel	27.5.2004	16.7.2004	22.3.2005
<i>Myosotis stricta</i>	Lerchenhügel	27.5.2004	16.7.2004	22.3.2005
<i>Saxifraga tridactylites</i>	Brachwitz	9.5.2004	16.7.2004	22.3.2005
<i>Spergula morisonii</i>	Lerchenhügel	9.5.2004	16.7.2004	9.5.2005
<i>Veronica verna</i>	Lerchenhügel	27.5.2004	16.7.2004	22.3.2005

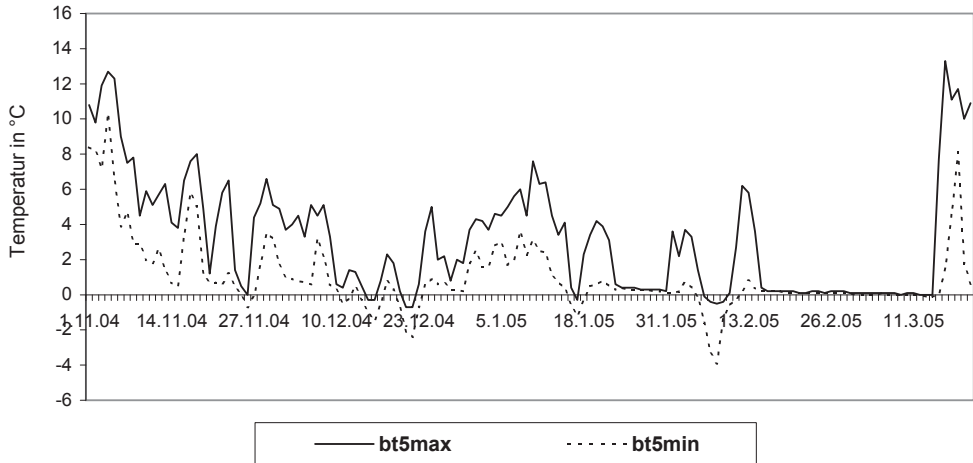


Abb. 1 Verlauf der Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe während der natürlichen Stratifikation im Zeitraum vom 1.11.2004 und 20.3.2005 (bt5max = maximale Bodentemperatur in 5 cm, bt5min = minimale Bodentemperatur in 5 cm Tiefe; Klimastation Halle-Seeben; DÖRING & BORG 2008).

Fig. 1 Soil temperatures in depth of 5 cm during natural stratification in the time between 1.11.2004 and 20.3.2005 (bt5max = maximal soil temperature in deep of 5 cm, bt5min = minimal soil temperature in a depth of 5 cm; climate station Halle-Seeben; DÖRING & BORG 2008).

3.2 Untersuchungen zum Keimtemperoptimum

Die Keimungsuntersuchungen fanden unter drei verschiedenen Temperaturbedingungen in speziellen Keimschränken (Rumet, Memmert) statt. Dabei wurde jeweils ein Lichtregime von 12 Stunden Helligkeit und 12 Stunden Dunkelheit beibehalten; die Temperaturen in den verschiedenen Phasen variierten jedoch. Folgende Varianten wurden getestet: 8 °C bei Licht und 4 °C im Dunkeln, 20 °C bei Licht und 10 °C in der Dunkelphase sowie 32 °C bei Licht und 20 °C in der Dunkelphase. Je Pflanzenart wurden vier Parallelproben zu jeweils 25 oder 40 Diasporen (je nach verfügbarer Menge an Diasporenmaterial) in einer Petrischale auf Filterpapier ausgelegt. Da PARTZSCH (2008) nachweisen konnte, dass der pH-Wert der Bodenlösung keinen Einfluss auf das Keimverhalten der Diasporen hat, wurde mit Aqua dest. (pH 7,05) befeuchtet. Auf dem Grund der Petrischalen wurde ein Abstandshalter positioniert, damit der darauf liegende Rundfilter mit den Diasporen nicht direkt in der Flüssigkeit schwimmt, sondern gleichmäßig feucht gehalten wird.

Der Verlauf der Keimung (deutlich hervortretende Radikula; THANOS & RUNDEL 1996) wurde im zwei- bis dreitägigem Abstand kontrolliert und die gekeimten Diasporen von der Petrischale entfernt. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von 45 Tage durchgeführt.

Der Keimversuch mit den im Boden überwinterten Diasporen fand nach der oben beschriebenen Prozedur im Frühjahr des folgenden Jahres statt.

3.3 Test auf Lebensfähigkeit

Vor Beginn der Keimversuche wurden die Diasporen auf Lebensfähigkeit mit dem Tetrazoliumtest (TTC-Test) geprüft (RIEDER & KOCH 1967, HENDRY & GRIME 1993). Die Diasporen wurden dazu angeschnitten bzw. leicht gequetscht, 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 erfolgte über 24 Stunden bei Zimmertemperatur und in Dunkelheit. Dringt die farblose Lösung in die lebenden Zellen ein, so wird

sie durch eine NADH+H⁺ (Nicotinamadenindinukleotid) abhängige Dehydrogenase reduziert. Die H⁺-Ionen werden dabei von den Zellen der Diaspore geliefert. Es entsteht das wasserunlösliche Formazan, welches zur Rotfärbung der Embryos beiträgt, die noch lebensfähig sind. Bei sehr kleinen Samen ist die Färbung jedoch zum Teil sehr schwer zu erkennen und so wurden noch andere Merkmale, wie Konsistenz und Verfärbung des Embryos und des Endosperms herangezogen (COCHRANE et al. 1999, ISTA 2003).

Nach Abschluss der beiden Keimexperimente wurden diese Tests erneut durchgeführt, um zu prüfen, wie hoch die Lebensfähigkeit der in den Petrischalen verbliebenen Diasporen war, die über 45 Tage unter relativ feuchten Bedingungen den drei verschiedenen Temperatur-Licht-Dunkel-Regimen ausgesetzt waren.

3.4 Berechnungsverfahren

Bei den untersuchten Zielarten sind die Diasporen generell sehr klein und staubfein. So ist die Bewertung der Lebensfähigkeit zum Teil nicht ganz zuverlässig. Aus diesem Grund wurden die Keimergebnisse immer bezogen auf die Anzahl der in den Petrischalen ausgelegten Diasporen berechnet.

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 gegebenenfalls ins Unermessliche steigen kann, folgten wir dem Vorschlag von KHAN & UNGAR (1996, 1997), einen modifizierten Timson-Index zu verwenden, 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. 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 $p=0,05$ durchgeführt. Um die Interaktionen zwischen den unterschiedlichen Zeiten der beiden Versuchsansätze (nach Ernte und nach Überwinterung) und den Temperaturregimen auf Signifikanz zu prüfen, wurde ein zweifaktorielle ANOVA durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Keimung nach Ernte

C. semidecandrum ist die einzige Art, die mit 76 % am besten bei 32/20 °C keimt (Tab. 3; Abb. 2). Bei allen anderen Arten liegt die prozentuale Keimung unter den hohen Temperaturbedingungen zwischen 1 und 5 %; *S. tridactylites* und *S. morisonii* keimen unter hohen Temperaturen gar nicht (Abb. 3). Demgegenüber keimt *C. semidecandrum* bei mittleren Temperaturen von 20/10 °C zu ca. einem Drittel und bei 8/4 °C nur noch zu 16 %. Die Keimung von *E. verna* ist bei allen Temperaturbedingungen sehr niedrig, zwischen 1 und 5 % und zeigt keine signifikanten Unterschiede. Bei *G. muralis* ist die Keimung mit 10 % bei 20/10 °C am höchsten, fällt aber sowohl bei Temperaturerhöhung als auch -erniedrigung ab. Die Keimung der beiden *Myosotis*-Arten ist unter 32/20 °C hoch signifikant gegenüber den beiden anderen Temperaturstufen reduziert. *M. ramosissima* keimt unter kalten und mittleren Bedingungen zwischen 37 und 30 % und *M. stricta* zwischen 71 und 63 %, wobei beide Arten bei 8/4 °C am erfolgreichsten sind. *S. tridactylites* keimt mit 29 % und *S. morisonii* mit 81 % am besten bei 8/4 °C und kaum oder gar nicht unter den beiden wärmeren Bedingungen. *V. verna* zeigt bei 8/4 °C und 20/10 °C mit 77 bzw. 81 % fast ähnlich hohe Keimung, keimt aber bei 32/20 °C so gut wie nicht.

Die höchsten Keimgeschwindigkeiten wies *V. verna* mit einem Timson-Index von knapp 60 bei 20/10 °C und ca. 44 bei 8/4 °C auf (Tab. 3). Ähnlich schnell keimt nur noch *S. morisonii* mit ca. 47 und *M. stricta* mit ca. 42 unter den kalten Bedingungen. Demgegenüber liegt der Timson-Index von *C. semidecandrum*

mit ca. 32 bei 32/20 °C etwas erhöht. Bei allen anderen Arten liegen die Keimgeschwindigkeiten unter den verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkel-Regimen deutlich niedriger.

Die Diasporen von *C. semidecandrum*, *E. verna*, *M. ramosissima*, *M. stricta* und *S. morisonii* begannen mit der Keimung ca. 14 Tage nach Versuchsbeginn, während der Keimstart von *V. verna* und *G. muralis* am 4. bzw. 5.Tag war (Abb. 3 und 4).

Tab. 3 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der acht Zielarten unter drei Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach der Ernte (Versuchsdauer: 45 Tagen). Die arcsinus-wurzel-transformierten Daten wurden mit der Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede getestet. Die Prüfgröße F und die P-Werte werden angegeben. Die Buchstaben geben signifikante Untermengen an (n = 4).

Table 3 Percentage of final germination and Timson-Index of the eight target species under three temperature- and light-dark-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).

	8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Cerastium semidecandrum</i>					
Endkeimung	16,00 a	35,00 a	76,00 b	12,020	0,003
Timson-Index	9,88 a	7,51 a	31,55 b	29,752	< 0,0001
<i>Erophila verna</i>					
Endkeimung	5,00	3,00	1,00	0,564	n.s.
Timson-Index	3,22	1,89	0,60	0,596	n.s.
<i>Gypsophila muralis</i>					
Endkeimung	1,90 a	10,00 b	4,40 ab	4,910	0,036
Timson-Index	1,32 a	8,13 b	3,30 ab	5,076	0,033
<i>Myosotis ramosissima</i>					
Endkeimung	37,00 a	30,00 a	5,00 b	71,459	< 0,0001
Timson-Index	17,16 a	14,20 a	1,09 b	41,771	< 0,0001
<i>Myosotis stricta</i>					
Endkeimung	71,00 a	63,00 a	5,00 b	27,999	< 0,0001
Timson-Index	42,13 a	14,56 b	0,73 c	52,463	< 0,0001
<i>Saxifraga tridactylites</i>					
Endkeimung	29,00 a	2,00 b	0 b	47,269	< 0,0001
Timson-Index	5,95 a	0,58 b	0 b	33,711	< 0,0001
<i>Spergula morisonii</i>					
Endkeimung	81,00 a	6,00 b	0 c	604,498	< 0,0001
Timson-Index	46,84 a	3,11 b	0 c	893,099	< 0,0001
<i>Veronica verna</i>					
Endkeimung	77,00 a	81,00 a	1,00 b	78,296	< 0,0001
Timson-Index	43,53 a	59,73 b	0,09 c	200,66	< 0,0001

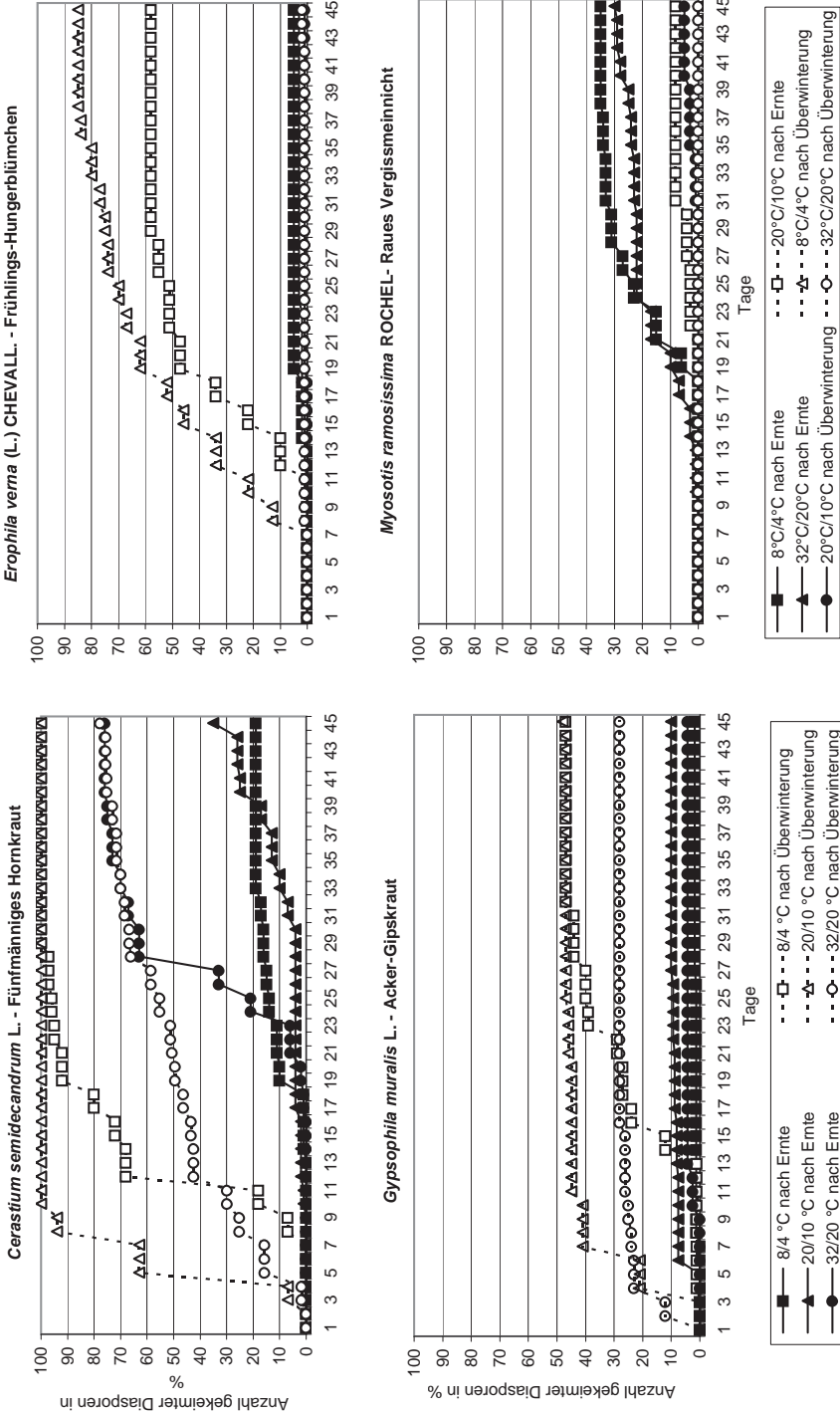


Abb. 2 Kumulativer Keimverlauf von *Cerastium semidecandrum*, *Erophila verna*, *Gypsophila muralis* und *Myosotis ramosissima* unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 2 Cumulative germination of *Cerastium semidecandrum*, *Erophila verna*, *Gypsophila muralis* and *Myosotis ramosissima* under three temperature- and light-dark-regimes after harvest and after hibernation (duration of experiment: 45 days).

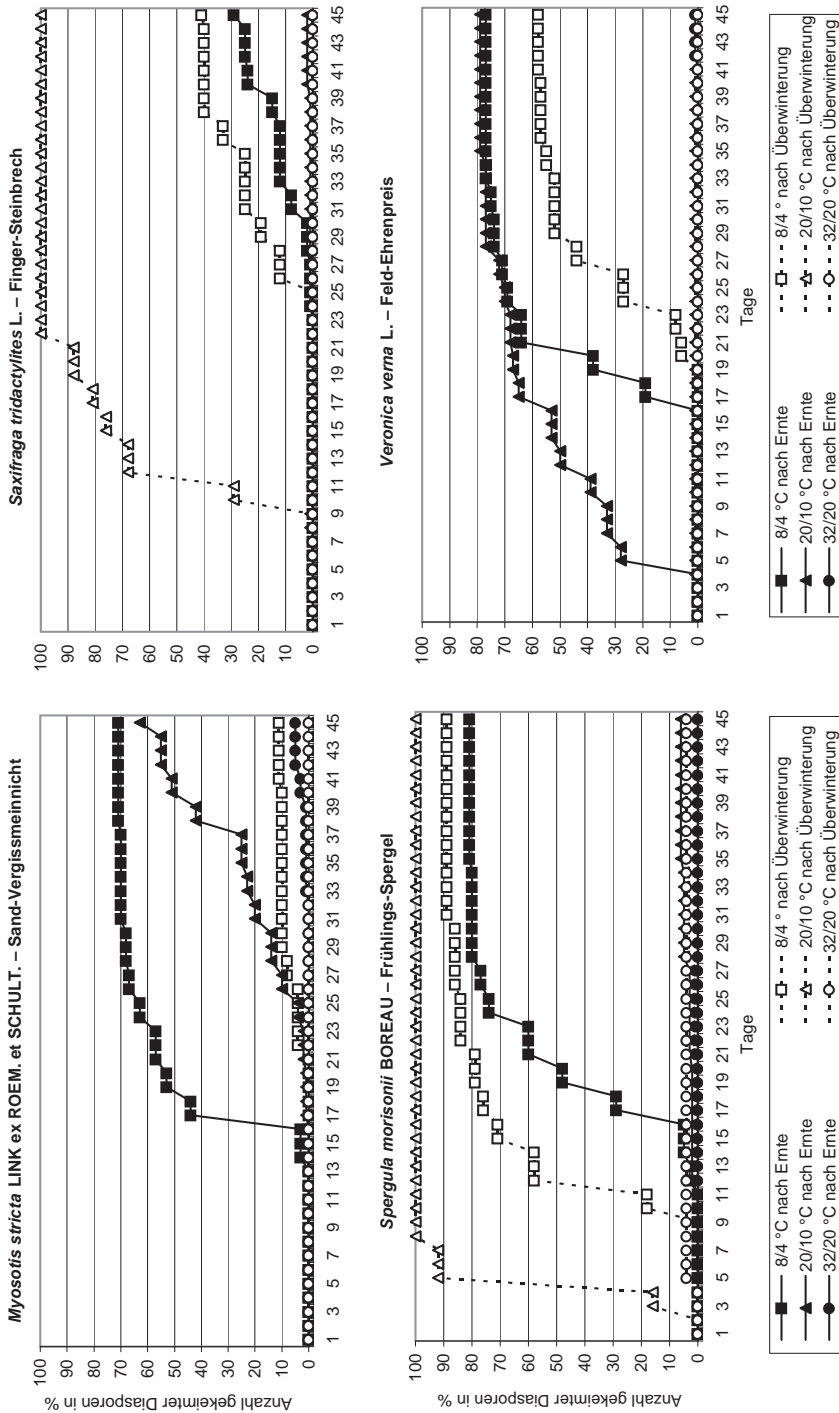


Abb. 3 Kumulativer Keimverlauf von *Myosotis stricta*, *Saxifraga tridactylites*, *Spergula morisonii* und *Veronica verna* unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 3 Cumulative germination of *Myosotis stricta*, *Saxifraga tridactylites*, *Spergula morisonii* and *Veronica verna* under three temperature- and light-dark-regimes after harvest and after hibernation (duration of experiment: 45 days).

4.2 Keimung nach Überwinterung

Nach Überwinterung der Diasporen im Boden weisen die Arten ein ganz anderes Keimverhalten als nach der Ernte auf. So war der Keimstart für *C. semidecandrum* (3. Tag), *E. verna* (7. Tag), *G. muralis* und *S. morisonii* (2. Tag) sowie *S. tridactylites* (9. Tag) deutlich vorverlegt. Nur *M. ramosissima* und *M. stricta* (22. Tag) sowie *V. verna* (20. Tag) begannen später mit der Keimung als im Erntejahr.

C. semidecandrum keimte mit ca. 88 % am besten unter mittleren Temperaturbedingungen (Tab. 4). Bei 32/20 °C fällt die prozentuale Keimung auf gut ein Drittel und bei 8/4 °C auf 8 % ab. Bei *E. verna* unterscheidet sich das Keimverhalten bei allen drei Bedingungen signifikant, wobei die höchsten Werte von 85 % bei 20/10 °C und von 58 % bei 8/4 °C zu verzeichnen. *G. muralis* zeigt unter den kalten und mittleren Bedingungen eine prozentuale Keimung von 50 %, bei 32/20 °C nur noch zu 28 %. Die beiden *Myosotis*-Arten keimen nach Überwinterung deutlich schlechter. Unter 20/10 °C und 32/20 °C findet gar keine Keimung statt, unter 8/4 °C nur zu 8 bzw. 10 %. Ähnlich verhält sich *V. verna*. Unter mittleren und warmen Bedingungen keimt die Art gar nicht, aber bei 8/4 °C zu 58 %. Die Samen von *S. tridactylites* und *S. morisonii* keimen bei 20/10 °C vollständig aus. Dafür keimen sie aber gar nicht oder spärlich bei 32/20 °C. Unter 8/4 °C ist die Keimung beider Arten recht hoch: *S. tridactylites* keimt zu 41 % und *S. morisonii* zu 81 %.

Nach Überwinterung ist die Keimgeschwindigkeit der Arten deutlich erhöht (Tab. 4). Die höchsten Werte zeigen *S. morisonii* mit ca. 91, *C. semidecandrum* mit ca. 79 und *S. tridactylites* mit 72, jeweils unter den mittleren Temperaturbedingungen. Unter höheren Temperaturen fallen die Keimgeschwindigkeiten stark ab und erreichen nur maximal 28 bei *C. semidecandrum* und 26 bei *G. muralis*. Unter den kalten Bedingungen schwankt der Timson-Index zwischen den Arten stark. Den höchsten Wert erreicht *S. morisonii* mit ca. 63. Bei *E. verna*, *G. muralis* und *V. verna* liegt die Keimgeschwindigkeit zwischen 25 und 36. Die anderen Arten keimen deutlich langsamer.

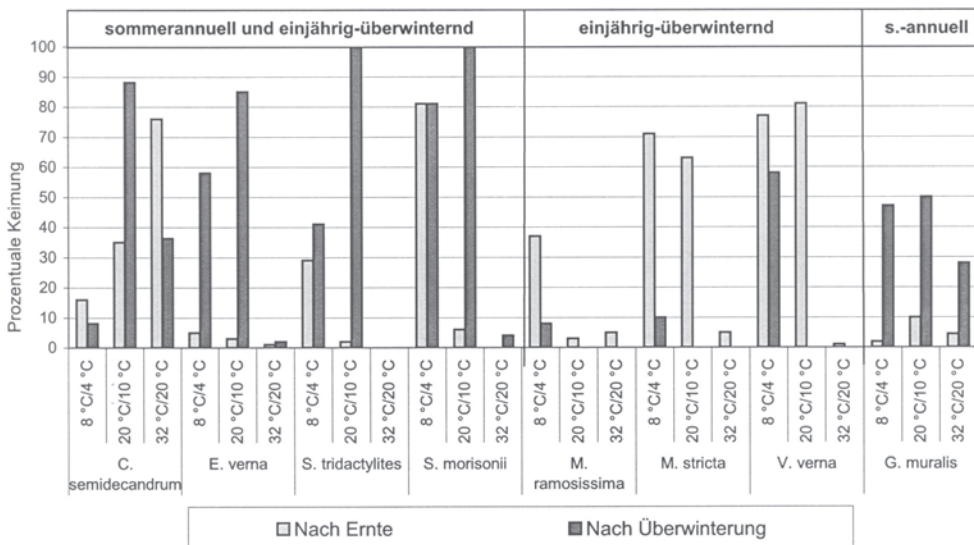


Abb. 4 Vergleich der prozentualen Keimung der acht Zielarten nach Ernte und Überwinterung unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkel-Regimen.

Fig. 4 Comparison of the germination percentage of the eight target species under three different temperature- and light-dark-conditions.

Tab. 4 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der acht Zielarten unter drei Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach der Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tagen). Die arcsinus-wurzel-transformierten Daten wurden mit der Varianzanalyse (ANOVA) auf signifikante Unterschiede getestet. Die Prüfgröße F und die P-Werte werden angegeben. Die Buchstaben geben signifikante Untermengen an (n = 4).

Table 4 Percentage of final germination and Timson-Index of the eight target species under three temperature- and light-dark-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).

	8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Cerastium semidecandrum</i>					
Endkeimung	8,10 a	88,13 b	36,25 c	45,141	< 0,0001
Timson-Index	4,47 a	79,24 b	27,93 c	49,232	< 0,0001
<i>Erophila verna</i>					
Endkeimung	58,00 a	85,00 b	2,00 c	86,358	< 0,0001
Timson-Index	36,40 a	54,27 b	0,91 c	86,358	< 0,0001
<i>Gypsophila muralis</i>					
Endkeimung	47,00	50,00	28,00	3,521	n.s.
Timson-Index	27,84	42,64	25,80	2,498	n.s.
<i>Myosotis ramosissima</i>					
Endkeimung	8,00 a	0 b	0 b	1443,81	< 0,0001
Timson-Index	3,24	0	0	2,993	n.s.
<i>Myosotis stricta</i>					
Endkeimung	10,00 a	0 b	0 b	21,426	0,0004
Timson-Index	4,69 a	0 b	0 b	21,811	0,0003
<i>Saxifraga tridactylites</i>					
Endkeimung	41,00 a	100,00 b	0 c	909,101	< 0,0001
Timson-Index	13,02 a	72,04 b	0 c	810,812	< 0,0001
<i>Spergula morisonii</i>					
Endkeimung	81,00 a	100,00 b	4,00 c	107,979	0,0002
Timson-Index	63,16 a	91,29 b	3,64 c	164,489	0,0016
<i>Veronica verna</i>					
Endkeimung	58,00 a	0 b	0 b	61,439	< 0,0001
Timson-Index	25,38 a	0 b	0 b	124,929	< 0,0001

Bei Vergleich der prozentualen Keimung nach Ernte und nach Überwinterung weisen die acht untersuchten Arten keinen einheitlichen Trend auf (Abb. 4). Während *C. semidecandrum* bei 20/10 °C nach Überwinterung doppelt so stark keimt wie nach der Ernte, ist die Keimung bei 8/4 °C und 32/20 °C nach Überwinterung jeweils nur halb so hoch. Bei *E. verna* ist die prozentuale Keimung zwischen 53 und 82 % nach Überwinterung unter den kalten und mittleren Bedingungen erhöht, unter den warmen Bedingungen

ist sie nahezu identisch niedrig. Auch *S. tridactylites* und *S. morisonii* keimen nach Überwinterung besser und erreichen unter 20/10 °C sogar einen 100-%igen Keimerfolg. Alle vier Arten zeichnen sich durch eine sommerannuelle und einjährig-überwinternde Lebensdauer aus. Ausschließlich einjährig-überwinternd sind dagegen die beiden *Myosotis*-Arten und *V. verna*. *M. ramosissima* und *M. stricta* keimten nach der Ernte deutlich besser. Nach Überwinterung liefen unter 20/10 °C und 32/20 °C gar keine Samen auf. Dies gilt in ähnlicher Weise für *V. verna*, die auch den größten Keimerfolg nach der Ernte im Herbst aufwies. Die einzige untersuchte sommerannuelle Art *G. muralis* zeigt nach Überwinterung unter allen drei Versuchsbedingungen zwischen 24 und 45 % erhöhte Werte. Während die Interaktionen (Tab. 5) zwischen den Zeitpunkten der Versuchsansätze (nach Ernte und nach Überwinterung) sowie den Temperatur-Licht-Regimen bei allen Arten hoch signifikant waren (Ausnahme war *S. tridactylites*: <0,001), ergaben sich bei *G. muralis* keine signifikanten Unterschiede.

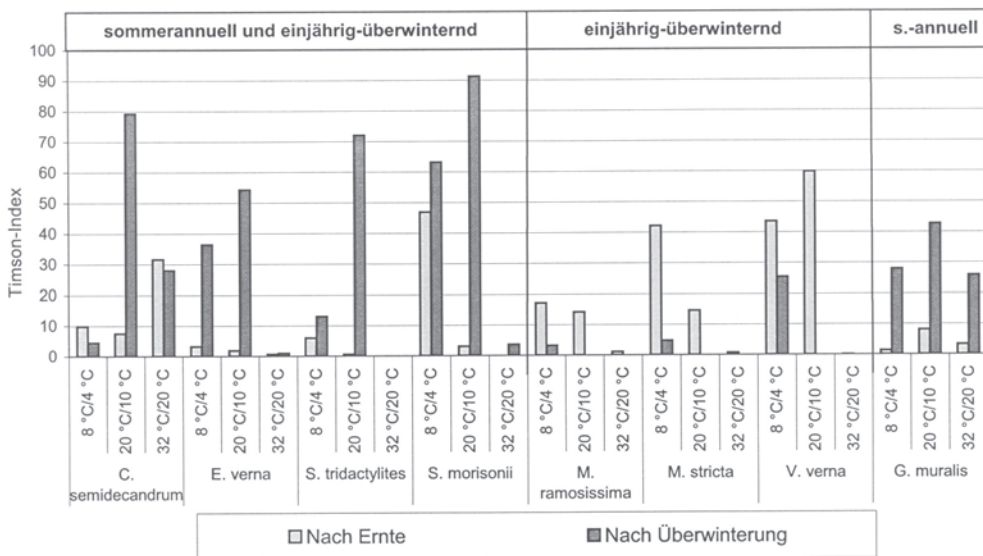


Abb. 5 Vergleich des Timson-Index der acht Zielarten nach Ernte und Überwinterung unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkel-Regimen.

Fig. 5 Comparison of Timson-index of the eight target species under three different temperature- and light-dark-conditions.

Die Keimgeschwindigkeiten (Timson-Index) der Arten weisen große Ähnlichkeit mit dem Verlauf der prozentualen Keimung auf (Abb. 5). Mit Ausnahme von *G. muralis* und *S. tridactylites* sind die Unterschiede zwischen den Keimansätzen nach Ernte und nach Überwinterung hoch signifikant. Die Interaktionen (Tab. 5) zwischen den Zeitpunkten der Versuchsansätze nach Ernte und nach Überwinterung sowie den Temperatur-Licht-Regimen sind bei allen Arten hoch signifikant. Nur *G. muralis* und *S. tridactylites* weisen keine signifikanten Unterschiede auf.

4.3 Lebensfähigkeit der Diasporen

Die Lebensfähigkeit der Diasporen aller acht Zielarten war nach der Ernte sehr hoch und lag zwischen 96 und 100 % (Tab. 6). Nach Abschluss des ersten Keimexperiments waren sehr viele der in den Petrischalen

Tab. 5 Interaktion zwischen Zeitpunkt des Versuchsansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen für 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 Interaction between the time of experiments (after harvest and after hibernation) and the different temperatur-light-regimes on the percentage of final germination and the Timson-index. The arcsinus square root transformed data were calculated by two factorial ANOVA (n.s. = not significant).

	df	mittlere Quadrat-summe	F-Wert	P-Wert
<i>Cerastium semidecandrum</i>				
Endkeimung	2	0,6263	20,429	<0,0001
Timson-Index	2	0,5503	53,188	<0,0001
<i>Erophila verna</i>				
Endkeimung	2	0,5307	29,072	<0,0001
Timson-Index	2	0,2667	26,397	<0,0001
<i>Gypsophila muralis</i>				
Endkeimung	2	0,0447	2,960	n.s.
Timson-Index	2	0,0362	2,653	n.s.
<i>Myosotis ramosissima</i>				
Endkeimung	2	0,0641	42,202	<0,0001
Timson-Index	2	0,0446	13,556	<0,0001
<i>Myosotis stricta</i>				
Endkeimung	2	0,2817	15,820	<0,0001
Timson-Index	2	0,0994	19,333	<0,0001
<i>Saxifraga tridactylites</i>				
Endkeimung	2	0,2033	6,268	<0,001
Timson-Index	2	0,0361	2,653	n.s.
<i>Spergula morisonii</i>				
Endkeimung	2	0,8979	79,747	<0,0001
Timson-Index	2	0,5782	136,334	<0,0001
<i>Veronica verna</i>				
Endkeimung	2	0,7891	41,753	<0,0001
Timson-Index	2	0,4211	117,196	<0,0001

übrig gebliebenen Samen noch lebensfähig. Nur ein relativ kleiner Anteil war durch Verpilzung abgestorben. Auch nachdem die Diasporen von Ende Oktober bis Ende März unter Freilandbedingungen im Boden gelagert und dann erneut einem Keimtest unterzogen wurden, blieb die Lebensfähigkeit der meisten noch nicht ausgekeimten und in den Petrischalen verbleibenden Diasporen erhalten. Bei *C. semidecandrum*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* waren z. T. nach Versuchsende alle Samen zu 100 % gekeimt.

Tab. 6 Vergleich der Lebensfähigkeit der Diasporen der acht Zielarten nach der Ernte (vor Beginn der Keimversuche) und nach dem 1. und 2. Keimungsversuch unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkel-Regimen. Die Lebensfähigkeit nach den beiden Keimversuchen bezieht sich auf die restlichen, nicht gekeimten Diasporen in den Petrischalen.

Table 6 Comparison of viability of diaspores of the eight target species after harvest (before experiment) and after 1. and 2. germination experiment under three different temperature- and light-dark-conditions.

	Lebensfähigkeit nach Ernte	Lebensfähigkeit nach 1. Keimversuch			Lebensfähigkeit nach 2. Keimversuch		
		8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C	8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C
<i>C. semidecandrum</i>	98	78	68	21	-	-	3
<i>E. verna</i>	100	92	96	99	37	35	98
<i>G. muralis</i>	98	95	89	91	37	37	63
<i>M. ramosissima</i>	98	23	60	17	68	27	64
<i>M. stricta</i>	96	14	20	80	63	83	79
<i>S. tridactylites</i>	100	68	85	98	53	-	94
<i>S. morisonii</i>	100	18	92	100	8	-	95
<i>V. verna</i>	96	7	5	87	2	58	29

5 Diskussion

Die acht ephemeren Xerothermrasenarten weisen im Keimverhalten sowohl Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten auf. Es konnte festgestellt werden, dass keine der acht Zielarten sowohl im Jahr der Ernte als auch im darauf folgenden Frühjahr eine vollständige Dormanz aufwiesen, da ein bestimmter Anteil an Samen immer keimbereit war. Nach BASKIN & BASKIN (2001) ist die physiologische Dormanz bei Arten von Trockenstandorten verbreitet. Nach deren Angaben besitzen *C. semidecandrum*, *E. verna*, *M. ramosissima*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* eine physiologische Dormanz; für *G. muralis*, *M. stricta* und *V. verna* gibt es keine Angaben. Durch Wärmestratifikation soll die Dormanz gebrochen werden können. Die Dauer der Behandlung soll bei *C. semidecandrum* 42, bei *E. verna* und *S. tridactylites* 112 und bei *S. morisonii* 90 Tage betragen. Ebenso geben GRIME et al. (2007) an, dass *C. semidecandrum*, *E. verna*, *M. ramosissima* und *S. tridactylites* besonders erfolgreich nach trockener Lagung bei Zimmertemperatur keimen. Meine Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass die oben genannten Arten, mit Ausnahme der einjährig-überwinternden Arten *M. ramosissima*, *M. stricta* und *V. verna*, nach Überwinterung deutlich besser und schneller keimen. Somit benötigen sie eher eine Stratifikation durch Kälte als durch Wärme. Dies scheint auch von den Lebensansprüchen der Arten, die sowohl sommerannuell als auch einjährig-überwinternde sind, und somit ein Großteil der Individuen im zeitigen Frühjahr aufläuft, erklärbar zu sein.

Das Keimverhalten war abhängig vom Temperatur-Licht-Angebot. So keimten unter den warmen Temperaturbedingungen (32/20 °C) fast alle Arten sowohl nach der Ernte als auch nach Überwinterung kaum oder gar nicht. Eine Ausnahme bildete *C. semidecandrum*, deren Samen zu drei Viertel nach der Ernte und noch zu mehr als einem Drittel nach Überwinterung keimten. In Vergleich dazu zeigen Arten der Trockensteppe Zentralasiens die höchste Endkeimung bei 32/20 °C (WESCHE et al. 2006).

Die optimalen Temperaturbedingungen lagen für *C. semidecandrum*, *E. verna*, *G. muralis*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* im mittleren Temperaturbereich bei 20/10 °C. Sie keimten jeweils nach Überwinterung am besten, wobei SCHNEIDER et al. (1994) *G. muralis* ausschließlich als Frühjahrskeimer einstuften.

Demgegenüber keimte *V. verna*, die den größten Keimerfolg bei 20/10 °C nach der Ernte aufwies, nach Überwinterung nur bei 8/4 °C. Ebenso keimten die beiden *Myosotis*-Arten am besten unter kalten Bedingungen bei 8/4 °C und zwar gleich nach der Ernte, wobei *M. stricta* auch einen ähnlich hohen Keimerfolg bei 20/10 °C aufwiesen.

Meine Ergebnisse zeigen, dass mit Ausnahme der beiden *Myosotis*-Arten die optimalen Keimbedingungen im mittleren Bereich bei 20/10 °C liegen. Dies ist vergleichbar mit den Ergebnissen von MORGAN (1998), der in einer ähnlichen Studie zum Keimverhalten von 28 Graslandarten der temperaten Zone feststellte, dass die bevorzugte Keimtemperatur bei 20/10 °C liegt. Die meisten Arten begannen nach wenigen Tagen zu keimen und wiesen eine moderate Keimgeschwindigkeit auf. Dies deckt sich auch mit den Keimergebnissen von langlebigen Xerothermrassenarten aus der Porphyrykuppenlandschaft von PARTZSCH (2008). Hinzu kommt jedoch, dass die untersuchten einjährigen Arten, auch relativ gute Keimerfolge unter kalten Bedingungen zeigen, jedoch mit Ausnahme von *C. semidecandrum* und *G. muralis* unter sehr warmen Bedingungen kaum oder gar nicht keimten. Hieraus ergeben sich einige Unterschiede zu den Angaben von BASKIN & BASKIN (2001), die die optimale Keimtemperatur unter denen die höchste prozentuale Keimung erzielt wird, für *C. semidecandrum* bei 5 °C und für *S. tridactylites* bei 10 °C angeben. Für *S. morisonii* mit einem Keimoptimum bei 22/12 °C sowie *M. ramosissima* bei 5–10 °C stimmen meine Ergebnisse mit denen von BASKIN & BASKIN (2001) recht gut überein. Ebenso liegen die Werte für *E. verna* mit 15/5 °C meinen Ergebnissen sehr nahe.

Vergleich man dieses Verhalten mit der nach JÄGER & WERNER (2005) angegebenen Lebensdauer der Arten so fällt auf, dass es Arten sind (*C. semidecandrum*, *E. verna*, *S. tridactylites* und *S. morisonii*), die sowohl sommerannuell (den Winter ausschließlich als Samen überdauern) als auch einjährig-überwinternd sind (keimen im Herbst nach der Samenreife und blühen und fruchten im nächsten Jahr), bei denen schon ein geringer Teil der Samen im Jahr der Ernte keimen. Dies entspricht dem Anteil der überwinternden Individuen. Der Großteil der Diasporen ist aber dormant und bringt nach Überwinterung den Anteil an sommerannuellen Individuen hervor. Nun keimt der überwiegende Teil der Samen deutlich besser und schneller, und zwar bei 20/10 °C zwischen 85 und 100 %. Die Dormanz wurde also durch die natürliche Kältestratifikation gebrochen. Arten wie *M. ramosissima*, *M. stricta* und *V. verna*, die nach JÄGER & WERNER (2005) ausschließlich einjährig-überwinternd sind, zeigen die höchsten Keimerfolge im Jahr der Ernte. Im darauf folgenden Frühjahr keimen sie deutlich schlechter und langsamer, aber nur unter kalten Bedingungen. Die lebensfähigen Samen sind im darauf folgenden Frühjahr größtenteils dormant. Für *G. muralis* weisen JÄGER & WERNER (2005) nur eine sommerannuelle Lebensweise aus. Sie keimt im Erntejahr unter allen drei Temperatur-Licht-Bedingungen nur gering (< 10 %), nach Überwinterung laufen aber bis zur Hälfte der Diasporen relativ schnell unter kalten und mittleren Bedingungen auf; auch unter 32/20 °C ist sie noch relativ erfolgreich.

PONS (1991) stellte fest, dass verschiedene Graslandarten (*Arenaria serpyllifolia*, *Linum catharticum*, *Daucus carota*, *Scabiosa columbaria*, *Plantago lanceolata*, *P. media*, *Rhinanthus minor*, *R. alectorolophus*) einen saisonalen Wechsel in der Dormanz mit höchsten Keimraten im Frühling und niedrigsten im Herbst aufweisen. Dies können wir mit unseren Untersuchungen für *C. semidecandrum*, *E. verna*, *G. muralis*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* bestätigen.

Nach PONS (1991) lässt sich über den Langzeit-Wechsel in der Dormanz und das Überlebenspotential der Diasporen auf den Diasporenbanktyp schlussfolgern. Außerdem stellten MOLES et al. (2000) und FENNER & THOMPSON (2005) Zusammenhänge zwischen der Größe der Diasporen und dem Diasporenbanktyp fest, wobei kleine Diasporen vorwiegend eine langlebige Diasporenbank und große eine kurzlebige aufbauen. Aufgrund der sehr kleinen Diasporen all unserer Zielarten ließe sich daraus auf den Aufbau einer persistenten Diasporenbank schlussfolgern.

In der Datenbank von THOMPSON et al. (1997) sind Daten zum Diasporentyp für alle acht Zielarten enthalten, jedoch mit unterschiedlicher Häufigkeit. Bei Mehrfachangaben umfasst das Spektrum alle ausgewiesenen Typen, von transient (weniger als ein Jahr) bis lang-zeit-persistent (mehr als 5 Jahre). Dies gilt für *E. verna*, *M. ramosissima* und *M. stricta*. Für *C. semidecandrum*, *G. muralis* und *S. tridactylites* werden der

transiente und der short-term persistente (mehr als ein Jahr und weniger als fünf Jahre) Diasporenbanktyp angegeben. Bei *V. verna* und *S. morisonii* gibt es jeweils nur eine Angabe, die *V. verna* dem transienten und *S. morisonii* dem short-term persistenten Diasporenbanktyp zuordnet. In GRIME et al. (2007) finden sich Angaben zu *C. semidecandrum*, *E. verna*, *M. ramosissima* und *S. tridactylites*, die den Arten eine persistente Diasporenbank zuweisen. KÄSTNER et al. (2001) geben für *E. verna* eine Lebensfähigkeit von etwa 1 (-?) Jahren und für *G. muralis* für 8 bis 20 Jahre an.

Aufgrund der hier vorgestellten Ergebnisse, die zeigen, dass *C. semidecandrum*, *E. verna*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* nach Überwinterung unter entsprechenden Bedingungen fast vollständig auskeimen, würde ich diese vier Arten dem short-term persistenten Diasporenbanktyp zuordnen. Wegen der niedrigen Keimung und der noch vorhandenen hohen Lebensfähigkeit der Diasporen könnten *M. ramosissima* und *M. stricta* dem long-term persistenten Diasporenbanktyp zugewiesen werden. Dafür spricht auch, dass nach THOMPSON et al. (1997) für beide *Myosotis*-Arten noch nach 18 bzw. 20 Jahren lebensfähige Diasporen im Boden gefunden werden konnten. Demgegenüber scheint *V. verna* nur eine transiente und *G. muralis* eine kurz- bis langlebige Samenbank aufzubauen.

6 Zusammenfassung

PARTZSCH, M.: Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter ephemerer Xerothermrassenarten. – *Hercynia N.F.*: **42** (2009): 93-110.

Das Keimverhalten von Arten steht häufig im engen Zusammenhang zum einen zu den standörtlichen Bedingungen, zum anderen zur Biologie und Lebensweise der Arten. In der naturnahen Xerothermrassenvegetation der Porphyrkuppenlandschaft nahe Halle finden wir in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten neben ausdauernden Pflanzenarten solche vor, die eine mehr oder weniger enge saisonale Dynamik aufweisen. Es sind so genannte Ephemere, die annuell sind und, soweit sie nicht schon im Herbst keimen, als Samen im Boden überdauern. Der Lebenszyklus dieser Therophyten lässt vermuten, dass sie sich durch ähnliche Keimmuster auszeichnen. Für vergleichende Untersuchungen hinsichtlich bevorzugter Keimtemperaturen, prozentualer Keimung und Keimgeschwindigkeit sowie Dormanz und Lebensfähigkeit wählten wir die folgenden acht Arten aus: *Cerastium semidecandrum*, *Erophila verna*, *Gypsophila muralis*, *Myosotis ramosissima*, *M. stricta*, *Saxifraga tridactylites*, *Spergula morisonii*, *Veronica verna*. Die Keimversuche wurden bei 8/4 °C, 20/10 °C und 32/20 °C unter wechselnden Licht-Dunkel-Regimen (12 : 12 Stunden) durchgeführt. Der erste Versuchsansatz erfolgte ca. 6 Wochen nach der Ernte. Der restliche Teil der Diasporen wurde im Herbst im Freiland vergraben und somit einer natürlichen Stratifikation ausgesetzt. Im Frühjahr des darauf folgenden Jahres wurde ein weiterer Keimtest durchgeführt. Begleitend dazu erfolgte jeweils der Test auf Lebensfähigkeit der Diasporen nach der Ernte sowie nach Abschluss des 1. und 2. Keimversuches.

Zunächst konnte festgestellt werden, dass bei keiner Art eine vollständige Dormanz vorlag, da immer ein bestimmter Anteil an Diasporen unter bestimmten Bedingungen keimte. Für *C. semidecandrum*, *E. verna*, *G. muralis*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* waren die prozentuale Keimung und die Keimgeschwindigkeit im Erntejahr meist gering, nach Überwinterung keimten sie deutlich besser und schnell. Bei *M. ramosissima*, *M. stricta* und *Veronica verna* traten die höchsten Keimerfolge im Jahr der Ernte auf, nach Überwinterung fiel nur ein geringer Teil im Frühjahr auf, obwohl die Samen noch lebensfähig waren.

Aus dem Keimverhalten der acht Zielarten lässt sich ein Bezug zur Lebensdauer der Arten ableiten: So keimen *C. semidecandrum*, *E. verna*, *S. tridactylites* und *S. morisonii*, die sowohl sommerannuell als auch einjährig-überwinternd sind, schon zu einem geringen Teil im Jahr der Ernte. Nach Überwinterung keimten sie sehr schnell zu 85 bei 100 % aus. Die bevorzugten Temperaturen liegen im mittleren Bereich bei 20/10 °C. Arten wie *M. ramosissima*, *M. stricta* und *V. verna*, die nach JÄGER & WERNER (2005) ausschließlich einjährig-überwinternd sind, zeigen die höchsten Keimerfolge im Jahr der Ernte und keimen im darauf folgenden Frühjahr schlecht und langsam, jedoch nur unter kalten Bedingungen. *G. muralis* gilt nur als sommerannuell. Sie keimt im Erntejahr unter allen drei Temperatur-Licht-Bedingungen gering,

nach Überwinterung laufen aber bis zur Hälfte der Diasporen relativ schnell unter kalten und mittleren Bedingungen auf; auch unter 32/20 °C ist sie noch relativ erfolgreich.

Die sehr geringe Diasporengroße aller acht Zielarten spricht für den Aufbau einer langlebigen Diasporenbank. Aufgrund der Keim- und Dormanzmuster muss diese jedoch differenziert bewertet werden. Meine Ergebnisse zeigen, dass *C. semidecandrum*, *E. verna*, *S. tridactylites* und *S. morisonii* nach Überwinterung unter entsprechenden Bedingungen fast vollständig auskeimen. Wir würden diese vier Arten deshalb dem short-term persistenten Diasporenbanktyp zuordnen. Die niedrige Keimung und die noch vorhandene hohe Lebensfähigkeit der Samen auch nach Überwinterung spricht bei *M. ramosissima* und *M. stricta* für den long-term persistenten Diasporenbanktyp. Demgegenüber scheinen *V. verna* nur eine transiente und *G. muralis* eine kurz- bis langlebige Samenbank aufzubauen.

7 Danksagung

Für die artenschutzrechtliche Genehmigung zur Durchführung der Keimversuche bedanke ich mich herzlich beim Referat für Naturschutz und Landschaftspflege des Landesverwaltungsamtes Sachsen-Anhalt in Halle, bei Herrn Dr. Jentzsch.

Frau Constanze Nossol, Anja Schmidt und Frau Christine Voigt sei herzlich für die Unterstützung bei der Durchführung der Keimversuche gedankt. Für die Bereitstellung der Witterungsdaten danke ich Herrn Dr. Jürgen Döring.

Bei der Firma DOW Olefinverbund GmbH, möchte ich mich ganz herzlich für die finanzielle Unterstützung meiner naturschutzrelevanten Forschung in der Region um Halle bedanken.

Herrn Dr. Anselm Krumbiegel, Herrn Prof. Ernst-Gerhard Mahn und Frau Prof. Isabell Hensen sowie den beiden anonymen Gutachtern sei für die kritische Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

8 Literatur

- BASKIN C. C.; BASKIN, J. M. (2001): Seeds - ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. – Academic Press Chapman & Hall, London.
- COCHRANE, A.; BROWN, K.; MEESON, N.; HARDING, C. (1999): The germination requirements of *Hemigenia 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
- 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.
- FENNER, M.; THOMPSON, K. (2005): The ecology of seeds. – Cambridge University Press, Cambridge.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; LEUBNER-METZGER, G. (2006): Seed dormancy and the control of germination. – New Phytologist 171: 501–523.
- GRIME, J.P.; HODGSON, J.G.; HUNT, R. (2007): Comparative plant ecology. A functional approach to common British species. – Castlepoint Press, Colvend.
- HENDRY, G. A.; GRIME, J. P. (1993): Methods in comparative plant ecology. – Chapman & Hall, London.
- 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.
- KÄSTNER, A.; JÄGER, E.J.; SCHUBERT, R. (2001): Handbuch der Segetalpflanzen Mitteleuropas. – Springer, Wien, New York.
- KHAN, M.A.; UNGAR, I.A. (1996): Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* 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.
- MOLES, A. T.; HODSON, D. W.; WEBB, C. J. (2000): Seed size and shape and persistence in the soil in the New Zealand flora. – Oikos 89: 541–545.

- 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. Veg.kde* **38**: 177-196.
- PARTZSCH, M. (1987): Steckbrief der Samen und Früchte von Ackerunkräutern. Einführung. Geflügelte Samen. – *Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR*, Berlin 3.
- 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.; CREMER, J.; ZIMMERMANN, G.; GOLTZ, H. (2006): Acker- und Gartenunkräuter. – Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.
- 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. Envir. Biol.* **27** (1): 13-20.
- PONS, T.L. (1991): Dormancy, germination and mortality of seeds in a chalk-grassland flora. – *J. Ecol.* **79**: 765-780.
- RIEDER, G.; KOCH, W. (1967): Die Bestimmung der Keimpotenz von Unkrautsamen nach der TTC-Methode. – *Mitt. Biol. Bundesanstalt* **121**: 210-213.
- SCHNEIDER, C.; SUKOPP, U.; SUKOPP, H. (1994): Biologisch-ökologische Grundlagen des Schutzes gefährdeter Segetalpflanzen. – Bundesamt f. Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- THANOS, C. A.; RUNDEL, P. W. (1996): Fire-followers in chaparral: nitrogenous compounds trigger seed germination. – *J. Ecol.* **83**: 207-216.
- 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.
- WESCHE, K.; PIETSCH, M.; RONNENBERG, K.; UNDRAKH, R.; HENSEN, I. (2006): Germination of fresh and frost-treated seeds from dry Central Asian steppes. – *Seed Science Research* **16**: 123-136.

Manuskript angenommen: 20. März 2009

Adresse der Autorin:

Dr. rer. nat. Monika Partzsch

Martin-Luther-Universität, Institut für Biologie/Geobotanik und Botanischer Garten, Am Kirchtor 1, 06108 Halle/ S.

e-mail: monika.partzsch@botanik.uni-halle.de