

Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrassenarten - Teil 2: Caryophyllaceae

Monika PARTZSCH

4 Abbildungen und 7 Tabellen

Abstract

PARTZSCH, M.: Germination biology of xerothermic grassland species - Part 2: Caryophyllaceae. - *Hercynia N. F.* 44 (2011): 127 – 144.

Nowadays, in the focus of vegetation ecology stand experimental attempts on restoration of grasslands, for which the knowledge on germination biology is very important in order to evaluate the success of establishment of the introduced species. The series of articles of germination biology of different species introduced here, should close gaps in the present state of knowledge as well as provide assistance by the assessment or with the choice of the species. In the present study eight species of Caryophyllaceae (*Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria*, *Petrorhagia prolifera*, *Scleranthus perennis*, *Silene nutans*, *S. otites*, *S. vulgaris*) were chosen usually occurring in open xerothermic vegetation units. 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). The collected seeds were divided in two parts. The first germination experiment was carried out ca. 4 weeks after collection. The other diaspores were buried in soil from November till March, to ensure hibernation until the next experimental phase in following spring. Seed viability was tested before and after the experiments.

Results indicated that seeds of six out of eight species were not dormant, whereas *Scleranthus perennis* and *Silene otites* showed partially dormancy. In general, the species germinated in a broad range of temperature during first experiment and after hibernation: *Dianthus carthusianorum* germinated well under cold and warm conditions and *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria* and *Petrorhagia prolifera* under warm and hot conditions. *Silene otites* germinated generally low. Otherwise, *Scleranthus perennis*, *Silene nutans* and *S. vulgaris* showed the optimal germination temperature at 20 / 10°C. The germination behaviour of *Scleranthus perennis* and *Silene otites* is characterised as asynchronous germination, meaning that, even under favourable conditions, only a proportion of seeds germinates in a certain time. In generally, the natural cold stratification (hibernation) did not lead to an enhanced germination. There was found slightly negative, but not significant correlations between seed size and germination behaviour.

Results regarding the germination behaviour and seed viability allow ranging Caryophyllaceae species in two diaspore bank types: (1) the more transient type: *Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria*, *Petrorhagia prolifera*, *Silene nutans* and *Silene vulgaris* and (2) the long-term persistent type: *Scleranthus perennis*. The type of *Silene otites* was not fully clear.

Key words: Germination, dormancy, natural stratification, seed bank type, viability, *Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria*, *Petrorhagia prolifera*, *Scleranthus perennis*, *Silene nutans*, *S. otites*, *S. vulgaris*

1 Einleitung

Zu den Schwerpunkten der Vegetationsökologie gehören Renaturierungsversuche von Grasländern, in denen durch Saatgutübertrag (MANN & TISCHEW 2010) oder Samenaddition (TILMAN 1997, WAHL & PARTZSCH 2008) versucht wird, verarmte Habitats in artenreiche Habitats zu überführen bzw. eine Neu-

besiedlung zu initiieren (TISCHEW & KIRMER 2003). Ebenso werden künstlich zusammengestellte Pflanzengesellschaften angesät, um die Effekte verschiedener ökologischer Faktoren (z.B. Niederschlag, Trockenheit usw.) oder Interaktionen zwischen den Arten zu testen. Der Erfolg bzw. die Konkurrenzkraft der Arten wird nach ihren Auflaufraten und ihrer Etablierung bewertet. Um die Ergebnisse solcher Versuche korrekt bewerten zu können, muss das Keimverhalten der jeweiligen Arten in die Betrachtung einbezogen werden. Denn Arten, deren Diasporen sich z.B. durch starke Dormanz auszeichnen, werden in solchen Beständen kurzfristig nicht auftreten, können aber langfristig darin erscheinen oder haben später durch die Konkurrenz der bereits etablierten Arten keine Chance mehr. Vor allem für solche ökologischen Untersuchungen soll diese Publikationsreihe zur Keimungsbiologie eine Hilfestellung leisten, um für entsprechende experimentelle Ansätze Arten nach ihrem Keimverhalten gezielt auswählen zu können.

Die Keimung ist der erste wichtige Schritt mit dem der Lebenszyklus eines Individuums beginnt und an den sich die ebenso sensible Phase der Etablierung anschließt. Beide Prozesse sind eng miteinander verknüpft und stellen nach JORRITSMA-WIENK et al. (2006) und JONGEJANS et al. (2006) den entscheidenden „bottleneck“ im Lebenszyklus der Pflanzen dar. 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). Dabei bestimmt der Prozess der Keimung im Wesentlichen den Überlebenserfolg von Arten, wobei diese unterschiedliche Keimungsstrategien entwickelt haben. Einige Arten bringen Diasporen hervor, die gleich nach der Reife keimbereit sind, andere Arten entwickeln dormante Diasporen, die erst nach längerer Zeit keimen. Nach BASKIN & BASKIN (2004) sowie FENNER & THOMPSON (2005) liegen unterschiedliche Formen der Dormanz vor. So können Diasporen mit einer physiologischen Dormanz erst nach Abbau von keimungshemmenden Substanzen keimen. 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. Andere Arten besitzen eine physikalische Dormanz. Dabei sind die Diasporen von einer nicht permeablen Testa oder einem Perikarp umhüllt, welche den Wassereintritt und somit die Quellung des Embryos verhindern. Um die Dormanz zu brechen, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Stratifikation (durch Kälte oder Wärme) oder Skarifikation (mechanische oder chemische Verletzung der Testa).

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 Masse der Diasporen abnimmt. PARTZSCH (2010) konnte für die Karyopsen von Grasarten keine signifikanten Zusammenhänge feststellen.

Hinsichtlich ihrer Keimungsbiologie sind weitverbreitete Ruderal- bzw. Segetalarten recht gut untersucht (OTTE et al. 2006). Für eine Vielzahl von Xerothermrasenarten hingegen gibt es in der Literatur nur wenige Angaben. In dieser Arbeit soll deshalb das Keimverhalten von acht typischen Xerothermrasenarten aus der Familie der Caryophyllaceae (*Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria*, *Petrorhagia prolifera*, *Scleranthus perennis*, *Silene nutans*, *Silene otites*, *Silene vulgaris*) untersucht werden. Folgende Fragen sollen mit dieser Arbeit beantwortet werden:

1. Welcher Temperaturbereich ist für die Keimung der Arten optimal?
2. Sind die Samen der Arten dormant?
3. Welchen Effekt übt die natürliche Kältestratifikation auf das Keimverhalten der Arten aus?
4. Beeinflussen die Samenmerkmale Größe und Gewicht das 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 acht ausgewählten Arten handelt es sich um meist langlebige Spezies (Ausnahme: *Petrorhagia prolifera*) aus der Familie der Caryophyllaceae, die in verschiedenen xerothermen Habitaten gesammelt wurden. Die Beschreibung der biologischen Eigenschaften folgt JÄGER & WERNER (2005). In Tab. 1 sind die Angaben zu Größe und Gewicht der Samen, die meist in Kapseln gebildet werden, zusammengestellt.

Dianthus carthusianorum L. (Kartäuser-Nelke) ist ein halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt, der Wuchshöhen zwischen 15 und 45 cm erreicht. Die Blütezeit erstreckt sich zwischen Juni und September. Die Art siedelt bevorzugt in Xerothermrassen, auf trockenen Dammböschungen und an Waldrändern. Sie blüht zwischen Juni und September.

Gypsophila fastigiata L. (Ebensträußiges Gipskraut) ist ein 20 bis 50 cm hoher rosettenloser, ausdauernder Chamaephyt. Die Blütezeit erstreckt sich von Juni bis September. Die Art besiedelt kontinentale Gipsfelsfluren und Gipstrockenrasen, reichere Sandtrockenrasen und lichte Kiefernwälder.

Lychnis viscaria L. (Pechnelke) ist ein halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 30 und 60 cm. Die Art blüht zwischen Mai und Juli und besiedelt Felsfluren, Trockenrasen, Trockenwälder und –gebüsche sowie deren Säume.

Petrorhagia prolifera (L.) P. W. Ball et Heywood (Sprossendes Nelkenköpfchen) ist ein halbrosettiger oder rosettenloser, einjährig-überwinternder bzw. sommerannueller Therophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 15 und 45 cm. Die Art blüht zwischen Juni und Oktober und besiedelt lückige, oft ruderal beeinflusste Silikat- und reichere Sandtrockenrasen sowie trockene Ruderalstellen wie Wegränder, Bahnanlagen, Sand- und Kiesgruben.

Scleranthus perennis L. (Ausdauernder Knäuel) ist ein immergrüner, rosettenloser ausdauernder Chamaephyt bzw. Hemikryptophyt. Die Art erreicht nur eine Wuchshöhe zwischen 5 und 20 cm und blüht zwischen Mai und September. Sie besiedelt Silikatfelsfluren, Sandtrockenrasen und sandige Ruderalstellen wie Wegränder und Brachen. Im Gegensatz zu den anderen kapselbildenden Arten, bildet diese Art Nussfrüchte, die von einem Kelchbecher umhüllt sind.

Silene nutans L. (Nickendes Leimkraut) ist ein halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 30 und 50 cm und einer Blütezeit zwischen Mai und August. Die Art besiedelt Silikatfelsfluren, Trockengebüsche, Trockenwälder und deren Säume.

Silene otites (L.) Wib. (Ohrlöffel-Leimkraut) ist ein immergrüner, halbrosettiger, kurzlebiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 20 und 60 cm und einer Blütezeit zwischen Mai und August. Die Art siedelt in Kalk- und Silikatfelsfluren, Silikat- und reicheren Sandtrockenrasen sowie trockenen Kiefernwäldern.

Silene vulgaris (Moench) Garcke (Gewöhnliches Leimkraut, Taubenkropf-Leimkraut) ist ein sommer- bzw. immergrüner, rosettenloser, ausdauernder Geophyt bzw. Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 10 und 60 cm und einer Blütezeit zwischen Juni und September. Die Art besiedelt Steinschuttfluren, Schwermetallhalden, gestörte Halbtrockenrasen, mäßig frische Ruderalstellen und Gebüchsäume.

3 Material und Methoden

3.1 Sammlung und Versuchsansätze

Die Diasporen wurden im reifen Zustand an der Mutterpflanze geerntet. Je nach Art und Samenreife variierten die Sammeltermine zwischen Mai und September (Tab. 2). Die Orte der Aufsammlungen waren Trockenbiotop im Saalekreis, am Kyffhäuser, im Unstruttal, in Potsdam und in der Slowakei. Die Diasporenproben (Mischproben von mindestens 30 Individuen aus jeweils einer Population) wurden geteilt, wobei ein Teil für den ersten Keimversuch genutzt wurde, der im Spätsommer oder Herbst des Erntejahres stattfand. Bis dahin wurden die Diasporen zur Nachreife bei Zimmertemperatur trocken gela-

Tab. 1 Diasporenmerkmale der acht untersuchten Arten. Daten zu Gewicht und Größe aus der Datenbank „Bioflor“ (OTTO 2002) oder eigenen Messungen.

Table 1 Traits of diaspores of the eight species under study. Data of weight and size from the Open Library ‘BioFlor’ (OTTO 2002) or own measurements.

Zielart	Gewicht [mg]	Länge [mm]	Breite [mm]
<i>Dianthus carthusianorum</i>	1,0	2,3	1,9
<i>Gypsophila fastigiata</i>	0,4	1,2	1,0
<i>Lychmis viscaria</i>	0,1	0,6	0,5
<i>Petrorhagia prolifera</i>	0,4	1,5	1,0
<i>Scleranthus perennis</i>	1,5	3,8	1,5
<i>Silene nutans</i>	0,3	1,1	0,8
<i>Silene otites</i>	0,2	0,9	0,7
<i>Silene vulgaris</i>	0,8	1,4	1,2

gert. 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 Mitte März ausgesetzt und somit einer natürlichen Kältestratifikation unterzogen. Dabei schwankten die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe von Jahr zu Jahr (Tab. 3). Die Klimaaufzeichnungen stammen aus der Klimastation Halle-Seeben, die von Herrn Dr. Döring zur Verfügung gestellt worden sind (DÖRING & BORG 2008).

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	Sammeldatum	Ansatz nach Ernte	Ansatz nach Überwinterung
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Gimritz/Lerchenhügel	03.08.2001	28.08.2001	16.03.2002
<i>Gypsophila fastigiata</i>	Kyffhäuser	05.08.2007	16.10.2007	17.03.2008
<i>Lychmis viscaria</i>	Landsberg/Queis	29.05.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Petrorhagia prolifera</i>	Nitra/Slowakei	12.07.2005	18.10.2005	15.03.2006
<i>Scleranthus perennis</i>	Halle/Brandberge	19.08.2004	09.09.2004	09.03.2005
<i>Silene nutans</i>	Müncheroda/Unstruttal	08.06.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Silene otites</i>	Gimritz/Küsterberg	14.09.2006	17.10.2006	18.03.2007
<i>Silene vulgaris</i>	Potsdam	28.06.2009	03.08.2009	09.03.2010

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 Rumat, Memmert), wobei der erste Ansatz nach der Ernte und der zweite Keimansatz nach der Überwinterung im nächsten Frühjahr durchgeführt wurden (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.

Tab. 3 Tages- und Nachttemperaturen in einer Bodentiefe von 5 cm in den Jahren der Überwinterung zwischen 1. November und 1. März.

Table 3 Daytime and night soil temperatures (soil depth 5 cm) in the years of hibernation between 1th November and 1th March.

Jahre	minimale Temperaturen (tagesüber)		maximale Temperaturen (nachtsüber)	
	von	bis	von	bis
2001/2002	-3,4	15,3	-5,2	7,2
2004/2005	-0,5	13,3	-1,5	10,3
2005/2006	-4,5	19,4	-9,4	9,1
2006/2007	-6,2	7,9	-1,6	10,1
2007/2008	-1,7	15,9	-4,5	8,6
2009/2010	-1,1	11,2	-2,8	7,2

Je Pflanzenart wurden vier Parallelproben zu jeweils 25 oder 40 Diasporen (je nach verfügbarem Material) in eine Petrischale auf gut durchfeuchtetem 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.

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 wurde 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 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 (SPSS 2008) durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen Diasporenmerkmalen (Größe, Gewicht) und dem Keimverhalten (prozentuale Keimung, Timson-Index) wurde mit dem Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet und auf Signifikanz geprüft.

4 Ergebnisse

4.1 Keimung nach Ernte

Dianthus carthusianorum begann unter warmen und heißen Bedingungen am vierten Tag und unter kalten Bedingungen am siebenten Tag zu keimen und erreichte sowohl bei 8 / 4°C bzw. 20 / 10°C eine Keimung von 92 bzw. 93 %. Unter heißen Bedingungen war die Keimung signifikant niedriger (76 %). Die Keimgeschwindigkeit unterschied sich signifikant zwischen allen drei Temperaturstufen, war jedoch unter 20 / 10°C am höchsten (Abb. 1; Tab. 4). *Gypsophila fastigiata* startete mit der Keimung unter 32 / 20°C am vierten, unter 20 / 10°C am siebenten und unter 8 / 4°C am 21. Tag. Unter warmen und heißen Bedingungen war der Keimerfolg ähnlich groß (78 bzw. 85 %). Auch die Keimgeschwindigkeit zeigte keine signifikanten Unterschiede bei beiden Temperaturen. Demgegenüber waren die prozentuale Keimung (7,5 %) und die Keimgeschwindigkeit (3,2) unter kalten Bedingungen signifikant geringer. *Lychnis viscaria* begann unter 32 / 20°C bereits am zweiten Tag zu keimen, unter 20 / 10°C am vierten und unter 8 / 4°C erst am 30. Tag. Diese Art war unter den warmen (90 %) und heißen (82 %) Bedingungen ähnlich erfolgreich, unter kalten Bedingungen keimten die Samen kaum (1,3 %). Auch bei *Petrorhagia prolifera* ergaben sich unter warmen und heißen Bedingungen gleich hohe Keimprozent (ca. 83 %), jedoch keimten die Samen auch unter kalten Bedingungen zu ca. 50 % aus. Unter 32 / 20°C begann die Keimung bereits am ersten, unter 20 / 10°C am zweiten und unter 8 / 4°C am dritten Tag. Demgegenüber keimte *Scleranthus perennis* unter 20 / 10°C maximal zu 34 %; eine Temperaturverringerung bzw. -erhöhung führte zu einer stark verminderten Keimung (Abb. 2). Unter warmen Bedingungen setzte die Keimung am sechsten, unter heißen Bedingungen am achten und unter kalten Bedingungen am 18. Tag ein. *Silene nutans* hatte ihr Keimoptimum unter warmen Bedingungen und keimte nahezu vollständig aus. Unter heißen Bedingungen keimte ca. die Hälfte der Samen und unter kalten Bedingungen nur 1,3 %. Der Keimstart lag unter warmen und heißen Bedingungen jeweils am vierten und unter kalten Bedingungen am 25. Tag. Auch bei *Silene otites* gab es keine signifikanten Unterschiede in den Keimprozent (ca. 15 %) und den Keimgeschwindigkeiten (ca. 14) zwischen warmen und heißen Bedingungen, allerdings war der Keimerfolg relativ gering. Auch hier führte eine Temperaturerniedrigung zu einer stark verringerten Keimung (1,3 %). Die Keimung startete unter kalten und heißen Bedingungen bereits am zweiten und unter warmen Bedingungen am vierten Tag. Ebenso wie *Silene nutans* hatte *Silene vulgaris* ihr Keimoptimum unter warmen Bedingungen (ca. 99 %). Unter 32 / 20°C war der Keimerfolg signifikant auf ca. 78 % reduziert und unter 8 / 4°C keimten immerhin noch 41 % der Samen. Der Keimstart lag unter warmen und heißen Bedingungen am vierten und unter kalten Bedingungen am 11. Tag.

4.2 Keimung nach Überwinterung

Nach Überwinterung war der Keimerfolg von *Dianthus carthusianorum* unter warmen und kalten Bedingungen immer noch am höchsten; die prozentuale Keimung lag jedoch nur noch zwischen 51 und 64 % und fiel mit Temperaturerhöhung auf 20 % ab (Abb. 1; Tab. 5). Während die ersten Samen unter 32 / 20°C bereits am zweiten Tage zu keimen begannen, verschob sich der Keimstart unter 20 / 10°C auf den sechsten und unter 8 / 4°C auf den 10. Tag. *Gypsophila fastigiata* hatte das Keimoptimum (78 %) unter warmen Bedingungen und Temperaturerhöhung bzw. -verringerung führte zu signifikant niedrigeren

Tab. 4 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der acht untersuchten Arten unter verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen 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 4 Percentage of final germination and Timson's index of the eight 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>Dianthus carthusianorum</i>					
Endkeimung	92,00 a	93,30 a	76,00 b	11,258	< 0,05
Timson-Index	61,00 b	83,50 c	41,00 a	43,907	< 0,0001
<i>Gypsophila fastigiata</i>					
Endkeimung	7,50 a	77,50 b	85,00 b	155,645	< 0,0001
Timson-Index	3,17 a	63,10 b	69,15 b	218,559	< 0,0001
<i>Lychnis viscaria</i>					
Endkeimung	1,25 a	90,00 b	81,88 b	76,799	< 0,0001
Timson-Index	0,28 a	75,08 b	64,43 b	118,252	< 0,0001
<i>Petrorhagia prolifera</i>					
Endkeimung	52,50 a	82,50 b	83,35 b	10,219	< 0,05
Timson-Index	42,80 a	79,91 b	83,13 b	19,886	< 0,001
<i>Scleranthus perennis</i>					
Endkeimung	3,00 a	34,00 b	5,00 a	41,738	< 0,0001
Timson-Index	1,42 a	18,51 b	2,76 a	20,787	< 0,001
<i>Silene nutans</i>					
Endkeimung	1,25 a	96,88 c	51,88 b	199,525	< 0,0001
Timson-Index	0,58 a	77,81 c	33,29 b	197,517	< 0,0001
<i>Silene otites</i>					
Endkeimung	1,25 a	15,63 b	15,00 b	17,477	< 0,001
Timson-Index	1,22 a	14,33 b	13,92 b	16,687	< 0,001
<i>Silene vulgaris</i>					
Endkeimung	41,25 a	98,75 c	78,75 b	144,594	< 0,0001
Timson-Index	30,11 a	88,07 c	62,33 b	440,088	< 0,0001

Keimprozenten. Unter heißen Bedingungen keimten die ersten Samen bereits am zweiten, unter warmen Bedingungen am vierten und unter kalten Bedingungen am 16. Tag. *Lychnis viscaria* keimte ebenso wie im Erntejahr unter warmen und heißen Temperaturen am besten und erreichte ähnlich hohe Keimprozent. Nur unter kalten Bedingungen war die Keimung auf ca. 26 % begrenzt und setzte viel früher als im Erntejahr, nämlich schon am sechsten Tag, ein. Unter warmen und heißen Bedingungen lag der Keimstart am ersten bzw. am dritten Tag. *Petrorhagia prolifera* keimte nach Überwinterung unter allen drei Temperatur-Licht-Regimen etwas schlechter, doch auch hier gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen warmen und heißen Bedingungen, jedoch einen Abfall der Keimung auf 12 %. Unter 8 / 4 °C verzögerte sich der Keimstart auf den neunten Tag, unter warmen und heißen Bedingungen begann die Keimung jedoch am zweiten Tag. Die Überwinterung wirkte sich auf *Scleranthus perennis* fördernd aus. Unter 20 / 10 °C lagen die maximale Keimung bei 47 %, unter 32 / 20 °C bei 33 % und unter 8 / 4 °C bei 7 %. Nur unter warmen und heißen Bedingungen wurde der Keimstart auf den fünften Tag vorverlegt, unter kalten Bedingungen startete die Keimung auch erst am 19. Tag. Im Gegensatz dazu war die Keimung von *Silene nutans* nach Überwinterung reduziert und es gab keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich

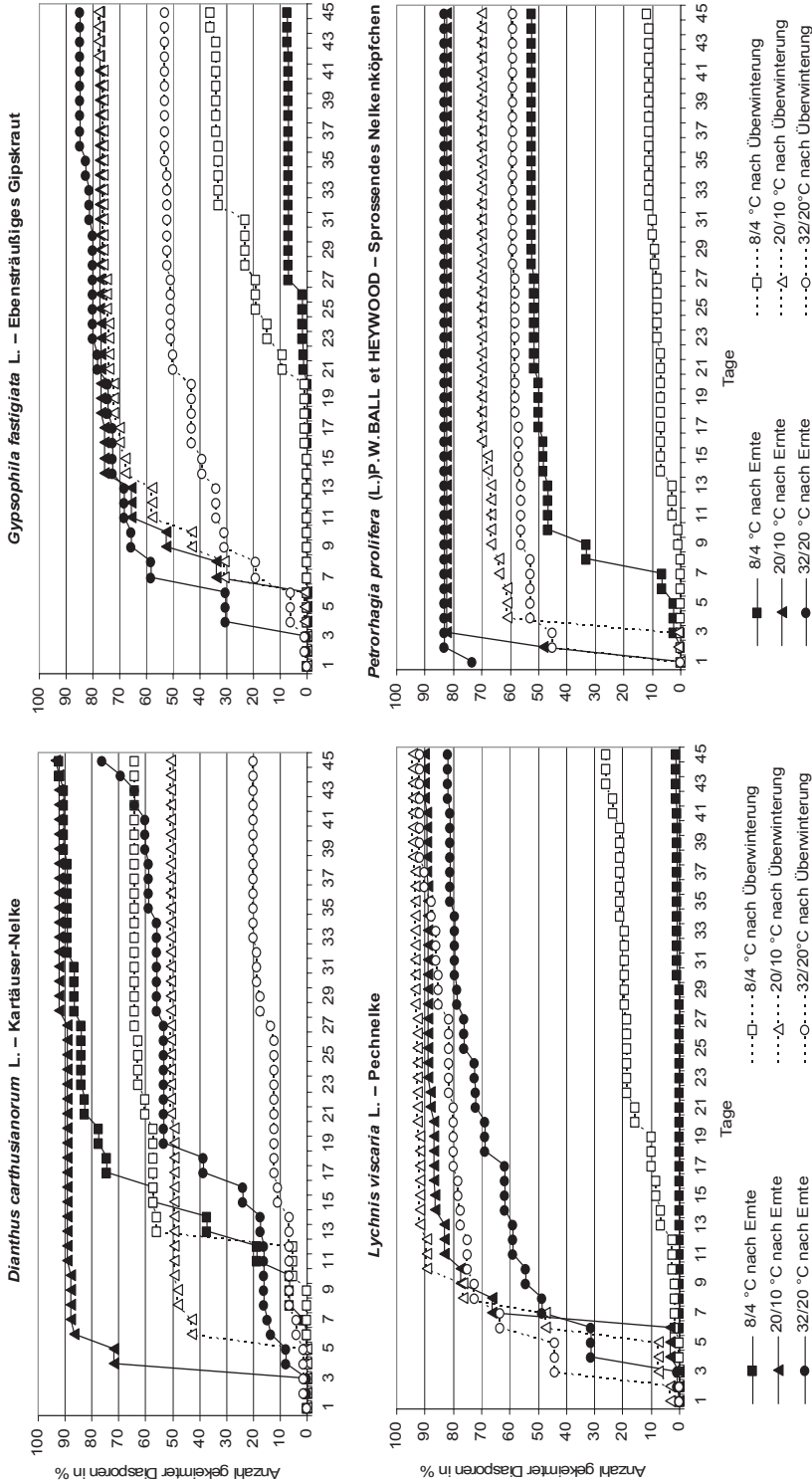


Abb. 1 Kumulativer Keimverlauf von *Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychmis viscaria* und *Petrorhagia prolifera* unter den verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 1 Cumulative germination of *Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychmis viscaria* and *Petrorhagia prolifera* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

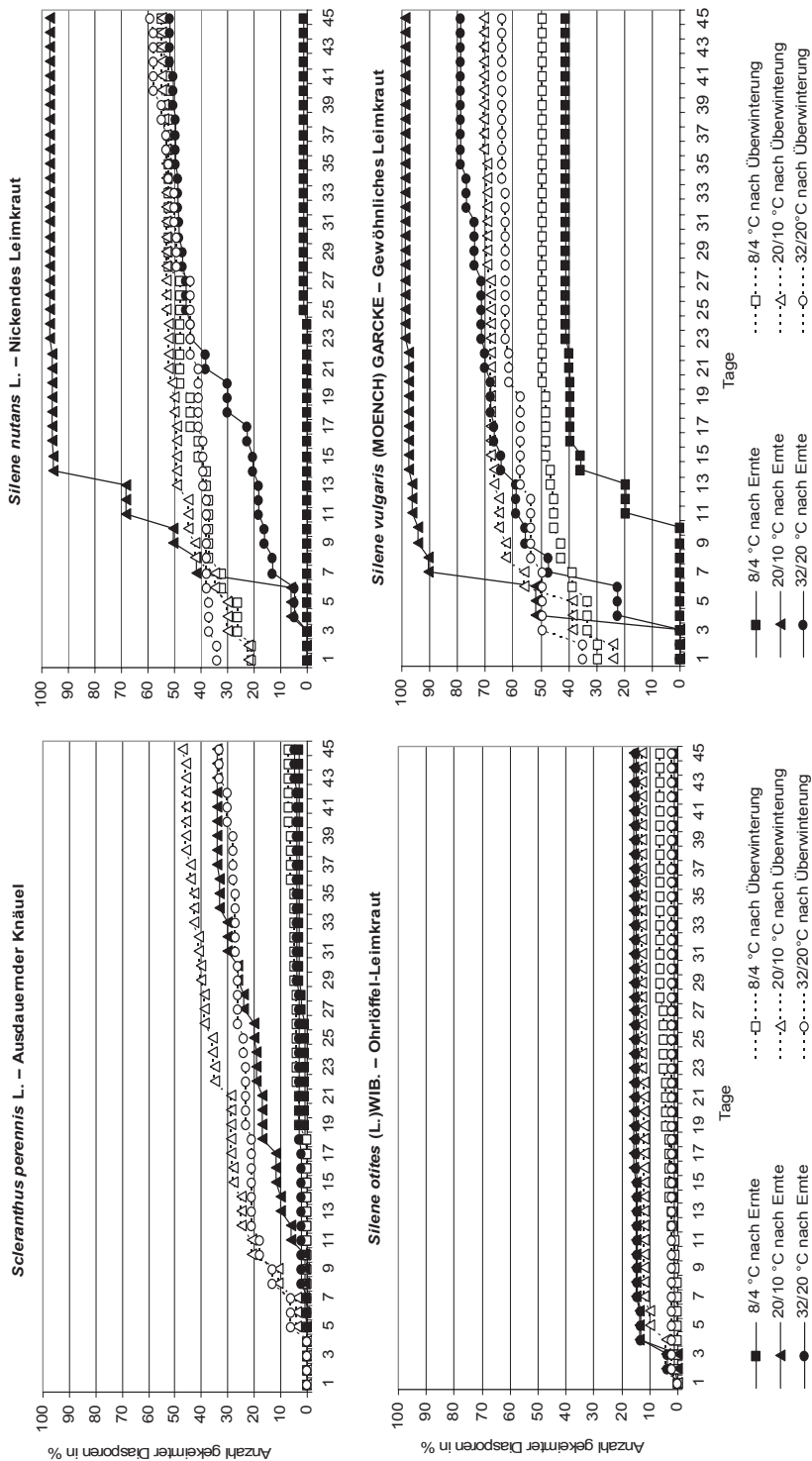


Abb. 2 Kumulativer Keimverlauf von *Scleranthus perennis*, *Silene nutans*, *S. oites* und *S. vulgaris* unter verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 2 Cumulative germination of *Scleranthus perennis*, *Silene nutans*, *S. oites* and *S. vulgaris* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 day).

der Keimprozent (zwischen 55 und 59 %) und den Keimgeschwindigkeiten (44 – 48) zwischen allen drei Temperatur-Licht-Regimen. Die Samen begannen unter allen drei Bedingungen bereits am ersten Tag zu keimen. Auf *Silene otites* hatte die natürliche Stratifikation keinen fördernden Effekt. Der Keimerfolg war ähnlich niedrig wie im Erntejahr. Unter kalten Bedingungen keimten die ersten Samen am neunten und unter warmen und heißen Bedingungen bereits am zweiten Tag. *Silene vulgaris* keimte unter warmen und heißen Bedingungen etwas geringer und unter kalten Bedingungen etwas stärker als im Erntejahr, wobei Keimungsprozente und -geschwindigkeiten keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich der drei Temperaturstufen mehr aufwiesen. Unter allen drei Temperatur-Licht-Regimen setzte die Keimung schon am ersten Tag ein. Bei dieser Art waren einige Samen bereits im Boden gekeimt.

Tab. 5 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der acht untersuchten Arten unter verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen nach der Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tagen). 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 5 Percentage of final germination and Timson's index of the eight 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>Dianthus carthusianorum</i>					
Endkeimung	64,00 a	50,70 b	20,00 c	43,907	< 0,001
Timson-Index	45,70 a	44,20 a	12,60 b	12,610	< 0,05
<i>Gypsophila fastigiata</i>					
Endkeimung	36,00 a	78,00 b	53,00 a	16,575	< 0,001
Timson-Index	15,04 a	60,31 c	40,38 b	33,928	< 0,0001
<i>Lychnis viscaria</i>					
Endkeimung	25,83 a	94,16 b	91,67 b	28,879	< 0,001
Timson-Index	13,35 a	80,30 b	76,26 b	56,977	< 0,0001
<i>Petrorhagia prolifera</i>					
Endkeimung	12,00 a	70,00 b	59,00 b	50,099	< 0,0001
Timson-Index	7,09 a	65,64 b	56,98 b	69,959	< 0,0001
<i>Scleranthus perennis</i>					
Endkeimung	7,00 a	47,00 b	33,00 b	44,614	< 0,0001
Timson-Index	3,07	30,20	21,24	56,069	< 0,0001
<i>Silene nutans</i>					
Endkeimung	55,00	55,00	59,00	0,151	n.s.
Timson-Index	44,18	47,87	45,24	0,083	n.s.
<i>Silene otites</i>					
Endkeimung	6,00 a	13,00 ab	2,00 b	4,196	0,051
Timson-Index	3,80 a	11,62 b	1,96 a	5,291	0,030
<i>Silene vulgaris</i>					
Endkeimung	49,33	70,67	64,00	1,271	n.s.
Timson-Index	46,07	63,91	58,34	0,976	n.s.

4.3 Vergleich der Keimung nach Ernte und nach Überwinterung

Die Interaktionsplots stellen das Zusammenspiel von zwei Umweltfaktoren auf die Entwicklung pflanzlicher Parameter dar. In diesen Untersuchungen waren es das variable Temperatur-Licht-Regime und die

fehlende bzw. natürliche Kältestratifikation, die das Keimverhalten der Arten unterschiedlich beeinflussen konnten. Dabei kann einer der beiden Umweltfaktoren die Sensitivität der Arten gegenüber dem anderen verändern, was durch signifikante Interaktionen verdeutlicht wird.

Der nahezu parallele Verlauf der beiden Kurven in den Interaktionsplots (Abb. 3) verdeutlicht, dass bei *Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata* und *Lychnis viscaria* keine signifikanten Interaktionen zwischen den beiden Umweltfaktoren auftraten (Tab. 6). Das temperaturabhängige Keimverhalten war nach Überwinterung genau so wie im Erntejahr.

Die Arten *Petrorhagia prolifera*, *Scleranthus perennis*, *Silene otites* und *Silene vulgaris* zeigten Interaktionen, wobei nur eine geringe Signifikanz ($P < 0,05$) vorlag. Nur bei *Silene nutans* löste die Kältestratifikation eine hochsignifikante Veränderung der Temperaturempfindlichkeit aus. Die Samen keimten nach Überwinterung unter allen drei Temperatur-Licht-Regimen nahezu gleich gut und schnell.

Tab. 6 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 6 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>Dianthus carthusianorum</i>				
Endkeimung	2	0,025	2,175	n.s.
Timson-Index	2	0,029	3,756	n.s.
<i>Gypsophila fastigiata</i>				
Endkeimung	2	0,004	0,897	n.s.
Timson-Index	2	0,006	0,673	n.s.
<i>Lychnis viscaria</i>				
Endkeimung	2	0,004	0,897	n.s.
Timson-Index	2	0,006	0,673	n.s.
<i>Petrorhagia prolifera</i>				
Endkeimung	2	0,049	3,938	< 0,05
Timson-Index	2	0,041	4,061	< 0,05
<i>Scleranthus perennis</i>				
Endkeimung	2	0,047	7,965	< 0,05
Timson-Index	2	0,037	7,547	< 0,05
<i>Silene nutans</i>				
Endkeimung	2	0,930	73,735	<0,0001
Timson-Index	2	0,508	42,956	<0,0001
<i>Silene otites</i>				
Endkeimung	2	0,088	7,420	< 0,05
Timson-Index	2	0,067	7,070	< 0,05
<i>Silene vulgaris</i>				
Endkeimung	2	0,125	6,948	< 0,05
Timson-Index	2	0,082	6,343	< 0,05

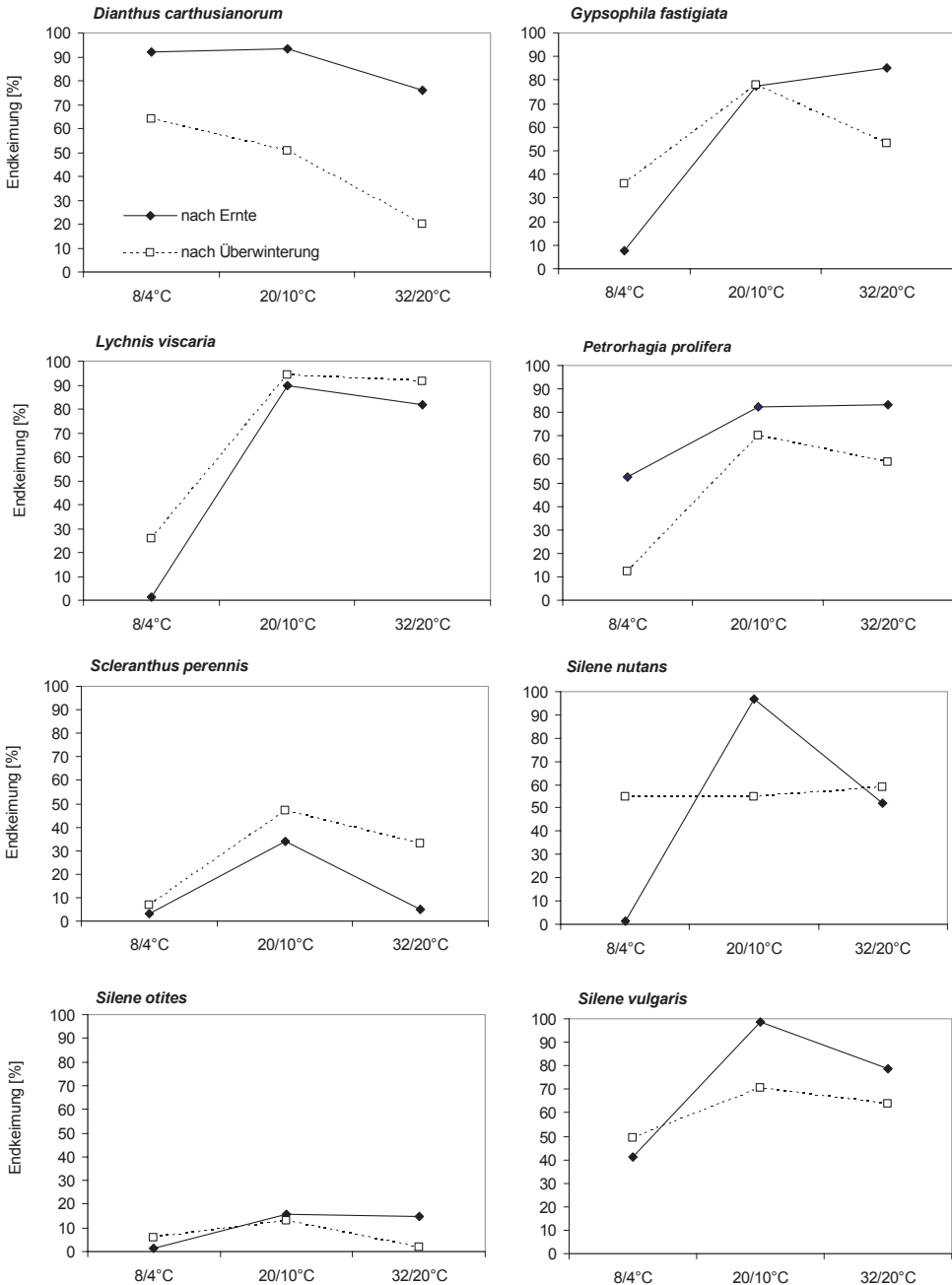


Abb. 3 Interaktionsplots der Endkeimung der acht untersuchten Arten zur Darstellung der Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Keimansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen.

Fig. 3 Interaction plots of the final germination of the eight species, showing the interactions between the time of the experiment (after harvest and after hibernation) and different temperature-light-regimes.

4.4 Lebensfähigkeit der Diasporen

Die Lebensfähigkeit der Diasporen aller acht Caryophyllaceen-Arten war nach der Ernte sehr hoch und lag zwischen 97 und 100 % (Tab. 7). Viele Diasporen, die nach Abschluss der beiden Keimexperimente in den Petrischalen verblieben waren, waren allerdings mehr oder weniger stark verpilzt und deshalb nicht lebensfähig. Bei *Petrorhagia prolifera* und *Silene otites* waren nahezu alle verbliebenen Samen durch Pilzbefall stark geschädigt. Relativ unempfindlich gegenüber Pilzen erwiesen sich die Diasporen von *Scleranthus perennis*, die nach Versuchsabschluss noch weitestgehend lebensfähig waren.

Tab. 7 Vergleich der Lebensfähigkeit der Diasporen der acht untersuchten Arten nach der Ernte (vor Beginn der Keimversuche) und nach dem ersten und zweiten Keimungsversuch unter verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen. Die Lebensfähigkeit nach den beiden Keimversuchen bezieht sich auf die restlichen, nicht gekeimten Diasporen in den Petrischalen (* = stark verpilzt).

Table 7 Comparison of diaspore viability of the eight species after harvest (before experiment) and after the first and second germination experiment under different temperature and light regimes (* = strong growth of fungi).

	Lebens- fähigkeit 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>Dianthus carthusianorum</i>	100	1	1	13	35
<i>Gypsophila fastigiata</i>	98	88,8	16,3	2,5	37,5	8,8	26,9
<i>Lychnis viscaria</i>	100	98	5	7	47,5	0	2,5
<i>Petrorhagia prolifera</i>	97	46,7	0*	0*	38	0*	0*
<i>Scleranthus perennis</i>	98	79	47	69	15	38	37
<i>Silene nutans</i>	100	96	3	18	17	1	18
<i>Silene otites</i>	99	0*	0*	0*	3	0*	0*
<i>Silene vulgaris</i>	100	59	0	13	21,3	26,7	20

4.5 Zusammenhang zwischen Gewicht bzw. Größe der Diasporen und dem Keimungsverhalten

Der Zusammenhang zwischen dem Gewicht bzw. der Größe (Länge) der Diasporen und den höchsten Keimungsprozenten, die unter dem artspezifisch optimalen Temperatur-Licht-Regime in beiden Keimversuchen erzielt worden sind, wird in Abb. 4 dargestellt. Zwischen Gewicht der Diasporen und der prozentualen Keimung lag keine Korrelation vor (Korrelationskoeffizient nach Pearson = $-0,091$, $P = 0,415$). Die Korrelation zwischen Größe und prozentualer Keimung war leicht negativ (Korrelationskoeffizient = $-0,221$, $P = 0,299$). Beide Zusammenhänge waren jedoch nicht signifikant.

Für den Zusammenhang zwischen Timson-Index und Diasporengewicht (Pearson-Korrelationskoeffizient: $-0,161$, $P = 0,352$) sowie Diasporengröße (Pearson-Korrelationskoeffizient: $-0,292$, $P = 0,241$) ergaben sich leicht negative, aber nicht signifikante Zusammenhänge.

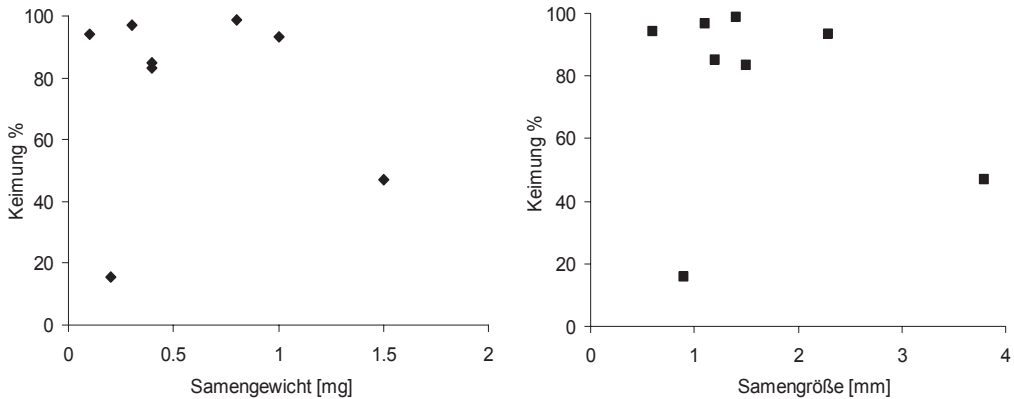


Abb. 4 Zusammenhang zwischen höchsten Keimungsprozenten und DiasporengroÙe (links) bzw. Diasporengewicht (rechts) der acht ausgewählten Arten.

Fig. 4 Correlation between the highest final germination and the seed size (left) and the seed mass (right) of the eight selected species.

5 Diskussion

Die Untersuchungen zur Keimungsbiologie von acht Arten aus der Familie der Caryophyllaceae haben gezeigt, dass sie sehr unterschiedlich keimen, obwohl alle schwerpunktmäßig trocken-heiÙe Habitate besiedeln. So zeichnete sich *Dianthus carthusianorum* durch ein relativ breites Temperaturfenster aus, das im Erntejahr zu hohen Keimprozenten sowohl unter kalten als auch warmen Bedingungen führte. Demgegenüber zeigten *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria* und *Petrorhagia prolifera* hohe Keimraten unter warmen und heißen Bedingungen, während eine Temperaturverringderung einen signifikanten Abfall der Keimung bewirkte. (*Silene otites* wies generell nur geringe Keimraten auf.) Ein Keimoptimum von 32 / 20 °C konnten WESCHE et al. (2006) für viele Arten der zentralasiatischen Trockensteppe nachweisen, was vermuten lässt, dass solche Arten an höhere Temperaturen angepasst sind. Für *Scleranthus perennis*, *Silene nutans* und *Silene vulgaris* lag das Keimoptimum im Temperaturbereich von 20 / 10 °C. Das Keimverhalten der drei letztgenannten korrespondiert mit den Ergebnissen von MORGAN (1998), der in seiner Studie zum Keimverhalten von 28 Graslandarten der temperaten Zone nachwies, dass die bevorzugte Keimtemperatur bei 20 / 10 °C liegt. Für eine Reihe weiterer dikotyler Xerothermrasenarten sowie xerothermen Gräsern bestätigte PARTZSCH (2008, 2009a, b, 2010) das Keimoptimum im mittleren Temperaturbereich (20 / 10 °C).

Für alle acht Arten gibt es sowohl in BASKIN & BASKIN (2001) als auch in GRIME et al. (2007) keine Angaben zum Keimverhalten. THOMPSON (1970a) untersuchte das Keimverhalten von einer Reihe von Caryophyllaceen in Bezug zu ihrer geografischen Verbreitung. In der Studie waren auch die beiden hier untersuchten Arten *Lychnis viscaria* und *Petrorhagia prolifera* enthalten, die er den Vertretern der Steppen und Grasländer zuordnete und für die er einen breiten Temperaturbereich von 6 bis 30 °C für die Keimung angab, wobei das Optimum, ähnlich der hier vorgestellten Ergebnisse, zwischen 15 und 20 °C lag. Ähnliches galt auch für *Silene nutans* und *S. vulgaris*, die THOMPSON (1970b) in einer weiteren Studie untersuchte. THOMPSON (1970a) stellte fest, dass völlig ausgereifte Samen der Familie der Caryophyllaceae unter optimalen Bedingungen sehr schnell zu 90% und mehr auskeimen. Dies konnte in den vorliegenden Untersuchungen mit Ausnahme von *Scleranthus perennis* und *Silene otites* bestätigt werden. THOMPSON (1970a) wertete dieses Keimverhalten der Caryophyllaceen als starke Adaption an die natürlichen Bedingungen, um die Keimung in der Phase mit den günstigen Witterungsbedingungen zu sichern.

In der vorliegenden Studie konnte festgestellt werden, dass mit Ausnahme von *Scleranthus perennis* und *Silene otites*, bei den anderen sechs Arten keine Dormanz vorlag, da die Samen unter für sie günstigen Bedingungen nahezu vollständig im Erntejahr keimten und die Kältestratifikation durch Überwinterung

nicht zu einem signifikant höheren Keimerfolg führte. Das trifft aber nicht für alle Arten der Caryophyllaceae zu. So konnte PARTZSCH (2009a) für *Cerastium semidecandrum*, *Gypsophila muralis* und *Spergularia morisonii* nachweisen, dass diese Arten erst nach Überwinterung verstärkt und schneller auskeimten, was im Zusammenhang mit ihrer sommerannuellen bzw. einjährig überwinternden Lebensdauer zu sehen ist. Obwohl *Petrorhagia prolifera* ebenso einjährig-überwinternd bzw. sommerannuell auftreten kann, keimt sie im Erntejahr deutlich besser als nach Überwinterung.

Das Keimverhalten von *Scleranthus perennis* und *Silene otites* lässt auf eine „asynchrone Keimung“ schließen, die nach GASQUE & GARCIA-FAYOS (2003) gewährleistet, dass selbst unter gut geeigneten Keimbedingungen nur ein Teil der gesamten Samenpopulation einer speziellen Art bereit ist, zu einer bestimmten Zeit zu keimen (GUTTERMANN 1992). Diese Form der Keimung kommt vor allem in der Familie der Poaceae vor (FENNER 1985, PARTZSCH 2010). Trotz Kältestratifikation durch Überwinterung, die häufig zum Brechen der physiologischen Dormanz führt (BASKIN & BASKIN 2001, 2004), sind die Keimerfolge von beiden Arten ähnlich denen im Erntejahr. Bei *Scleranthus perennis* spricht die hohe Lebensfähigkeit nach Versuchsende ebenso für eine asynchrone Keimung. Bei *Silene otites* waren die Samen jedoch in Folge starken Pilzbefalls letal geschädigt.

In verschiedenen Studien wurden Zusammenhänge zwischen den Samenmerkmalen Größe und Gewicht und dem Keimverhalten der Arten nachgewiesen, die jedoch zu gegensätzlichen Ergebnissen geführt haben. Während WEIS (1982), VERA (1997) und WU & DU (2007) herausfanden, dass der Keimerfolg mit zunehmender Größe und Gewicht der Diasporen ansteigt, stellten COUNTS & LEE (1991) eine abnehmende Keimung fest. Andererseits konnte ERIKSSON (1999) keinen Zusammenhang zwischen prozentualer Keimung und Diasporengewicht finden. Für die hier untersuchten Caryophyllaceen-Arten wurde kein signifikanter Zusammenhang festgestellt. Es war nur ein leichter Trend erkennbar, dass die kleineren und leichteren Diasporen schneller und besser 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. THOMPSON et al. (1997) unterscheiden vier Diasporenbanktypen: 1 = transient, 2 = short-term persistent, 3 = long-term persistent, 4 = unklarer Diasporenbanktyp. In der vorliegenden Studie wurde versucht, aufgrund der unter optimalen Bedingungen erzielten Keimraten sowohl im Jahr der Ernte als auch nach Überwinterung und der Lebensfähigkeit der nicht gekeimten Diasporen nach Ende der Versuche Rückschlüsse auf den Diasporenbanktyp zu ziehen. Für *Dianthus carthusianorum* werden in der Datenbank von THOMPSON et al. (1997) zweimal der transiente Diasporenbanktyp und für *Silene nutans* einmal ein transienter und zweimal ein short-term persistenter Diasporenbanktyp angegeben. Für beide Arten lässt sich aus den vorgestellten Ergebnissen der transiente Typ ableiten. Für *Lychnis viscaria* und *Silene otites* wird jeweils ein indifferentere Diasporenbanktyp angegeben, wobei die Ergebnisse dieser Studie für die erste Art auf einen transienten hinweisen. Bei *Silene otites* deutet sich eher ein long-term persistenter Diasporenbanktyp an, doch aufgrund der geringen Überlebensraten nach den Keimversuchen ist die Bewertung nicht eindeutig. Für *Silene vulgaris* finden sich die Angaben einmal transient, zweimal short-term persistent und siebenmal long-term persistent für den Diasporenbanktyp sowie Angaben zur Überdauerung im Boden von mehr als vier bis sechs Jahren. Die hier vorgestellten Ergebnisse sprechen aber für einen transienten Diasporenbanktyp. Demgegenüber gibt es in THOMPSON et al. (1997) für *Gypsophila fastigiata*, *Petrorhagia prolifera* und *Scleranthus perennis* keine Angaben. Die beiden erstgenannten Arten entsprechen dem transienten Typ, demgegenüber weisen das Keimverhalten und die Lebensfähigkeit von *Scleranthus perennis* auf den Aufbau einer long-term persistenten Diasporenbank hin.

Abschließend muss vermerkt werden, dass sich die hier vorgestellten Ergebnisse zum Keimverhalten der Arten auf die jeweils gesammelten Samenproben beziehen. So können durchaus Diasporen von Populationen unterschiedlicher Wuchsorte oder auch Diasporen, die unter verschiedenen Witterungsbedingungen gereift sind, gewisse Schwankungen in ihrem Keimverhalten aufweisen. TER BORG (2005) stellte jedoch fest, dass bestimmte Keimungsmuster genetisch festgelegt und artspezifisch sind. Dies kann ich anhand einer Reihe, allerdings noch unveröffentlichter Daten, bestätigen.

6 Zusammenfassung

PARTZSCH, M.: Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrasenarten - Teil 2: Caryophyllaceae. - *Hercynia* N. F. 44 (2011): 127 – 144.

Im Fokus der Vegetationsökologie stehen heute u.a. experimentelle Ansätze zur Renaturierung von Grasländern, in denen die Kenntnis zur Keimungsbiologie der eingebrachten Arten eine Voraussetzung für die Bewertung des Etablierungserfolges ist. Die in dieser Zeitschrift vorgestellte Reihe zur Keimungsbiologie von verschiedenen Arten soll sowohl Lücken im bisherigen Kenntnisstand schließen als auch Hilfe sowohl bei der Bewertung als auch der Auswahl der Arten leisten.

In der vorliegenden Studie wurden acht Arten aus der Familie der Caryophyllaceae (*Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria*, *Petrorhagia prolifera*, *Scleranthus perennis*, *Silene nutans*, *S. otites*, *S. vulgaris*) ausgewählt, die bevorzugt in xerothermen Vegetationseinheiten siedeln, und auf ihr Keimverhalten untersucht. 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 ausgesetzt und im darauf folgenden Frühjahr einem weiteren Keimtest unterzogen. Vor und nach den Keimtests wurden die Diasporen auf Lebensfähigkeit geprüft.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Samen von sechs der acht untersuchten Arten nicht dormant waren, während bei *Scleranthus perennis* und *Silene otites* eine partielle Dormanz vorlag. Die Arten keimen relativ gut sowohl im Erntejahr als auch nach Überwinterung in einem breiten Temperaturbereich: *Dianthus carthusianorum* im kalten und warmen und *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria* und *Petrorhagia prolifera* im warmen und heißen Temperaturbereich. *Silene otites* keimte generell schlecht. Demgegenüber wiesen *Scleranthus perennis*, *Silene nutans* und *S. vulgaris* eine optimale Keimungstemperatur von 20 / 10°C auf. Nach Überwinterung keimten die meisten Arten ähnlich wie im Erntejahr. Das Keimverhalten von *Scleranthus perennis* und *Silene otites* weisen auf eine asynchrone Keimung hin, wobei selbst unter gut geeigneten Keimbedingungen nur ein Teil der Diasporen einer Art bereit ist, zu einer bestimmten Zeit zu keimen. Zwischen den Diasporenmerkmalen Größe und Gewicht und der Keimung ergaben sich leicht negative, aber nicht signifikante Korrelationen. Das Keimverhalten sowie die Überlebensrate der Diasporen nach Beendigung der Versuche erlaubten Schlussfolgerungen auf den Diasporenbanktyp der Arten: bei *Dianthus carthusianorum*, *Gypsophila fastigiata*, *Lychnis viscaria*, *Petrorhagia prolifera*, *Silene nutans* und *Silene vulgaris* scheint ein transientser Diasporenbanktyp, bei *Scleranthus perennis* ein long-term persistenter Diasporenbanktyp vorzuliegen. Bei *Silene otites* ist der Diasporenbanktyp noch unklar.

7 Danksagung

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Keimversuche bedanke ich mich ganz herzlich bei Frau Christine Voigt. 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

- 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.
- 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 *Covallaria 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.
- GRIME, J. P., HODGSON, J. G., HUNT, R. (2007): *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. - Castlepoint Press, Colvend.
- GUTTERMANN, Y. (1992): Maternal effects on seed germinability: phenotypic maternal effects during seed maturation. - *Israel J. Bot.* 29: 105 – 117.
- HENDRY, G. A., GRIME, J. P. (1993): *Methods in Comparative Plant Ecology*. - Chapman & Hall, London.
- ISTA (2003): *International rules for seed testing*. - Zürich, Switzerland.
- JÄGER, E. J., WERNER, K. (Hrsg.) (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.
- JORRITSMAN-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 aegyptium* 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.
- MANN, S., TISCHEW, S. (2010): Die Entwicklung von ehemaligen Ackerflächen unter extensiver Beweidung (Wulfener Bruch). - *Hercynia N. F.* 43: 119 – 147.
- 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.kunde* 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. (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.
- SPSS (2008): *SPSS for Windows 16.0. SPSS*. - Chicago.
- TER BORG, S. J. (2005): Dormancy and germination of six *Rhinanthus* species in relation to climate. - *Folia Geobot.* 40: 243 – 260.
- THOMPSON, K., BAKKER, J. P., BEKKER, R. M. (1997): *The soil seed banks of north west Europe: methodology, density and longevity*. - University Press, Cambridge.
- THOMPSON, P. A. (1970a): Germination of species of Caryophyllaceae in relation to their geographical distribution in Europe. - *Ann. Bot.* 34 (2): 427 – 449.
- THOMPSON, P. A. (1970b): A comparison of the germination character of species of Caryophyllaceae collected in central Germany. - *J. Ecol.* 58 (3): 699 – 711.
- TILMAN, D. (1997): Community invisibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. - *Ecol.* 78: 81 – 92.
- TIMSON, J. (1965): New method of recording germination data. - *Nature* 207: 216 – 217.

- TISCHEW, S., KIRMER, A. (2003): Entwicklung der Biodiversität in Tagebaufolgelandschaften: Spontane und initiierte Besiedlungsprozesse. - *Nova Acta Leopoldina* N. F. 87, 328: 249 – 286.
- 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.
- WAHL, S., PARTZSCH, M. (2008): Untersuchungen zur Neuansiedlung von drei seltenen Xerothermrassenarten in artenarmen Dominanzbeständen von *Festuca rupicola* Heuff. - *Hercynia* N. F. 41: 99 – 119.
- WEIS, I. M. (1982): The effect of propagule size on germination and seedling growth in *Mirabilis hirsuta*. - *Can. J. Bot.* 60: 1868 – 1874.
- 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: 15. Februar 2011

Anschrift 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