

Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten Ruderal- und Xerothermrassenarten - Teil 4: Fabaceae

Monika PARTZSCH

4 Abbildungen und 7 Tabellen

Abstract

PARTZSCH, M.: Germination biology of ten ruderal and xerothermic grassland species - Part 4: Fabaceae. - *Hercynia N. F.* 45 (2012): 125 – 144.

Germination is one of the most important processes in the life-cycle of a plant species. With the present study the series on investigation of germination biology of rare species from xerothermic grasslands and dry, ruderal influenced habitats should be proceeded. The following species of the family Fabaceae were investigated: *Anthyllis vulneraria*, *Genista tinctoria*, *Hippocrepis comosa*, *Lotus corniculatus*, *L. maritimus*, *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia*, *Vicia hirsuta*, *V. tenuifolia* and *V. tetrasperma*.

The germination experiments were carried out under three temperature-light regimes (8 / 4 °C, 20 / 10 °C, 32 / 20 °C; 12 h light : 12 h darkness; 45 days), simulating climate conditions in spring, summer and autumn. The collected seeds were divided in two parts. Germination experiment of the first part was carried out in the year of harvest. The second part of diaspores was 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.

The results show that, with exception of *Onobrychis arenaria*, all species had a strong dormancy, which was not or only marginally broken by natural stratification of hibernation. *Anthyllis vulneraria*, *Hippocrepis comosa*, *Securigera varia* and *Vicia tetrasperma* were nearly fully dormant, while *Genista tinctoria*, *Lotus corniculatus*, *L. maritimus*, *Vicia hirsuta* and *V. tenuifolia* had between ca. 70 and 90 % dormant seeds. The germination success was equally low in the year of harvest as after hibernation, only the commencement of germination was earlier after hibernation. The change of temperature had no or less significant effect on germination percentage and velocity; the species germinated on a broad range of temperature from cold to warm and hot conditions but with low germination rates. Significant interactions between temperature and hibernation were only found in *Genista tinctoria*, *Vicia hirsuta* and *V. tenuifolia*.

A correlation between germination behaviour and life-time of the species was not found, but there were significant positive interactions between germination percentage and velocity and the size and mass of the diaspores of the species of the family Fabaceae. However, without the data of *Onobrychis arenaria*, the correlations were not significant.

Germination behaviour and dormancy indicate a long-term persistent seed bank type of the investigated species. An exception is *Onobrychis arenaria*, which germinated in the year of harvest as well as after hibernation nearly completely under all three temperature-light-regimes. This species assigns to the transient seed bank type.

Results suggest that it needs long-term investigation for restoration of grasslands by seed addition and experiments with the functional group of legumes because of the low germination of most species of the family Fabaceae.

Key words: Germination, dormancy, natural stratification, seed size, seed bank type, viability

1 Einleitung

Die Keimung gehört zu den wichtigsten Prozessen im Lebenszyklus einer Pflanze. Sie entscheidet darüber, ob ein neues Individuum einer Art entsteht und nach Durchlaufen des ontogenetischen Zyklus zur

Reproduktion und damit zum generellen Erhalt einer Art beiträgt. Die Keimung wird von einer Vielzahl von Umweltfaktoren sowohl positiv als auch negativ beeinflusst (FENNER & THOMPSON 2005). Die wichtigsten Faktoren sind Temperatur, Licht und Wasser, deren Wirkungsweise bereits vielfach dokumentiert worden ist (BASKIN & BASKIN 2001). Häufig ist die Keimung auf die klimatischen Bedingungen speziell abgestimmt und wird bei temporär ungünstigen Bedingungen durch Dormanz verhindert (FENNER & THOMPSON 2005). Für FINCH-SAVAGE & LEUBNER-METZGER (2006) ist die Dormanz eine immanente Sameneigenschaft, die durch die Umweltbedingungen definiert wird, unter welchen die Diasporen zur Keimung gelangen. Neben einem starken Umwelteinfluss wird sie vor allem genetisch gesteuert, besonders durch die Pflanzenhormone Abscissinsäure und Gibbereline. Nach BASKIN & BASKIN (2004) sowie FENNER & THOMPSON (2005) werden drei Formen der Dormanz unterschieden: bei einer physiologischen Dormanz keimen die Diasporen erst nach Abbau der im Samen akkumulierten, keimungshemmenden Substanzen, während die Diasporen mit morphologischer Dormanz beim Ausstreuen noch unreif sind und entsprechend Zeit für Wachstum und Entwicklung des Embryos benötigen, bevor sie keimbereit sind. Bei einer physikalischen Dormanz sind die Diasporen von einer nicht permeablen Testa oder einem Perikarp umhüllt, welche den Wassereintritt und somit die Quellung des Embryos verhindern. Letztere Form der Dormanz ist vor allem in der Familie der Fabaceae weit verbreitet (FENNER & THOMPSON 2005). Nach BASKIN & BASKIN (2001) wird für einige Gattungen (*Anthyllis*, *Astragalus*, *Hedysarum*, *Lathyrus*, *Lotus*, *Medicago*, *Onobrychis*, *Oxytropis*, *Trifolium* und *Vicia*) eine physikalische Dormanz vermutet. Bisher ist aber wenig über die Möglichkeiten der Dormanzbrechung bei diesen Vertretern bekannt und so wäre es wünschenswert, den Einfluss von Wintertemperaturen zu untersuchen.

Generell gibt es verschiedene Verfahren, um die Dormanz zu brechen. So können die Diasporen durch Einwirkung von Kälte oder Wärme stratifiziert werden, wobei entweder Winterkälte oder Dürreperioden bis hin zum Einfluss von Feuer simuliert werden. Durch eine mechanische oder chemische Skarifikation wird die Testa verletzt, um physikalische Dormanz zu brechen und eine Behandlung mit Phytohormonen (z.B. Gibberellinsäure) wird angewendet, um physiologische bzw. morphologische Dormanz zu überwinden (BASKIN & BASKIN 2004, FENNER & THOMPSON 2005).

Neben den obengenannten abiotischen Faktoren gibt es enge Beziehungen zwischen Keimverhalten und verschiedenen Pflanzenmerkmalen wie Lebensdauer, Lebensform, Größe und Gewicht der Diasporen sowie dem Diasporenbanktyp. So stellte SILVERTOWN (1981) fest, dass annuelle Therophyten signifikant leichtere Diasporen als langlebige, krautige Arten bilden und eine positive Korrelation zwischen der Samengröße und dem Keimverhalten besteht. Außerdem wird der Diasporengröße Bedeutung bei der Ausbildung einer Diasporenbank beigemessen, wonach kleinere Samen den Boden besser durchdringen als größere (THOMPSON et al. 2001, BEKKER et al. 1998). In Studien aus Australien wurde jedoch Gegenseitiges dazu berichtet (LEISHMAN & WESTOBY 1998). Nach MOLES et al. (2000) und FENNER & THOMPSON (2005) besteht ein Zusammenhang zwischen der Größe der Diasporen und dem Diasporenbanktyp, wobei kleine Diasporen vorwiegend eine langlebige Diasporenbank und große eine kurzlebige aufbauen. Auch OTTE et al. (2006) zogen Rückschlüsse aus dem Keimverhalten und der Dormanz der Diasporen auf den Diasporenbanktyp. Nach theoretischen (REES 1994) und empirischen (THOMPSON et al. 1993) Studien bestehen negative Korrelationen zwischen der Lebensdauer der Pflanzenarten und dem Aufbau einer langlebigen Diasporenbank. So sollen annuelle Arten mehr Diasporen im Boden akkumulieren als ausdauernde und somit eine persistente Diasporenbank aufbauen. Nach THOMPSON et al. (2003) bedingt die Dormanz der Diasporen eine höhere Persistenz im Boden. HONDA (2008) konnte in einer statistischen Analyse von insgesamt 18 Pflanzenmerkmalen ermitteln, dass nur die Lebensgeschichte und die Samengröße einen engen Bezug zu Aufbau und Ausdauer einer Diasporenbank haben. Die Bedeutung der Dormanz ist eher gering und unterscheidet sich leicht bezüglich der verschiedenen Dormanztypen.

Die meisten der in dieser Studie vorgestellten Arten siedeln schwerpunktmäßig in Trocken- und Halbtrockenrasen sowie in angrenzenden trockenen, mehr oder weniger ruderal beeinflussten Habitaten. Zwei Arten siedeln vorrangig auf Segetalstandorten, greifen aber auch auf die trockeneren Habitate über. Im Gegensatz zu den Segetal- und Ruderalarten (OTTE et al. 2006, PARTZSCH et al. 2006) sind diese Arten hinsichtlich ihrer Keimungsbiologie noch wenig untersucht. In experimentellen Ansätzen zur Renaturie-

rung von verarmten Grasländern (HANSSON & FOLGEFORS 2000) sowie in künstlich geschaffenen Pflanzengesellschaften spielen die Leguminosen als eigenständige funktionelle Gruppe jedoch eine wichtige Rolle (MARQUARD et al. 2009). Zur Bewertung einer erfolgreichen Etablierung ist es von essentieller Bedeutung, Kenntnis über ihr Keimverhalten zu erlangen (WAGNER et al. 2011). Mit dieser Studie sollen deshalb die Beiträge zur Keimungsbiologie von selteneren Arten fortgesetzt werden. Dazu werden zehn verschiedene Vertreter aus der Familie der Fabaceae (*Anthyllis vulneraria*, *Genista tinctoria*, *Hippocrepis comosa*, *Lotus corniculatus*, *L. maritimus*, *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia*, *Vicia hirsuta*, *V. tenuifolia*, *V. tetrasperma*) untersucht. Folgende Fragen sollen in dieser Studie beantwortet werden:

1. Sind diese Arten dormant?
2. In welchem Temperaturbereich erfolgt eine optimale Keimung?
3. Welchen Effekt übt die natürliche Kältestratifikation auf das Keimverhalten der Arten aus?
4. Welchem Diasporenbanktyp lassen sich die Arten aufgrund ihres Keimverhaltens zuordnen?
5. Bestehen Unterschiede hinsichtlich der Lebensdauer bzw. Lebensform der Arten bezüglich des Keimverhaltens?
6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Diasporengröße bzw. -masse und der Keimung?

2 Charakterisierung der Arten

Bei den zehn ausgewählten Arten handelt es sich um Vertreter aus der Familie der Fabaceae, die sich in Lebensdauer und Lebensformen unterscheiden. Sie besiedeln hauptsächlich xerothermes Grasland bzw. angrenzende ruderal Habitate oder auch Segetalstandorte. Die Beschreibung der biologischen Eigenschaften der Arten folgt JÄGER (2011). In Tab. 1 sind die Angaben zu Größe und Gewicht der Diasporen zusammengestellt. Folgende Arten wurden untersucht:

Anthyllis vulneraria L. (Gewöhnlicher Wundklee) ist ein immergrüner, halbrosettiger, kurzlebiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 5 und 60 cm. Die Art ist kalkhold und blüht zwischen Juni und Juli. Sie siedelt in Trocken- und Halbtrockenrasen, trockenen Wiesen, Küstendünen, trockenen Kiefernwäldern, subalpinen bis alpinen Rasen sowie auf Ruderalstandorten wie Steinbrüchen, Sandgruben und Bahnanlagen.

Genista tinctoria L. (Färber-Ginster) ist ein sommergrüner Zwergstrauch bzw. Strauch mit einer Wuchshöhe zwischen 10 bis 60 (200) cm. Die Art ist kalkmeidend und blüht zwischen Mai und August. Sie siedelt in Halbtrockenrasen, an Felsbändern, in wechselfeuchten Moorwiesen, Säumen, lichten Eichenwäldern sowie in ruderal beeinflussten Kiesgruben und auf Bahndämmen.

Hippocrepis comosa L. (Hufeisenklee) ist ein immergrüner, halbrosettiger, ausdauernder Chamaephyt mit einer Wuchshöhe zwischen 8 und 25 cm. Die Art ist kalkhold und blüht zwischen Mai und Juli. Sie besiedelt submediterrane (selten kontinentale) Trocken- und Halbtrockenrasen, kolline bis subalpine Felsfluren, lichte Kiefern-Trockenwälder, Steinbrüche und Wegböschungen.

Lotus corniculatus L. (Gewöhnlicher Hornklee) ist ein sommergrüner, rosettenloser, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 20 bis 30 (50) cm. Die Art ist basenhold und blüht von Juni bis August. Sie besiedelt frische Wiesen und Weiden, Halbtrockenrasen, Trockengebüschsäume sowie ruderal Standorte wie Kiesgruben und Steinbrüche.

Lotus maritimus L. (*Tetragonolobus maritimus* (L.) ROTH) (Gelbe Spargelerbse) ist ein immergrüner, rosettenloser, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 10 bis 30 cm. Die Art ist basenhold, blüht zwischen Mai und Juni und besiedelt wechselfeuchte bis -trockene Niedermoorwiesen und -quellige Hänge, Salzwiesen sowie ruderal Standorte wie Wegränder, Kiesgruben und Tagebaue.

Onobrychis arenaria (KIT.) DC. (Sand-Esparsette) ist ein sommergrüner, rosettenloser, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 10 und 30 cm. Die kalkstete Art blüht zwischen Juni

und Juli und siedelt gehäuft in kontinentalen Halbtrockenrasen, seltener in Trockenrasen, aber auch in trockenen Kiefernwäldern.

Securigera varia (L.)LASSEN (*Coronilla varia* L.) (Beilwicke) ist ein 30 bis 60 cm hoher, rosettenloser, ausdauernder Hemikryptophyt. Die Blütezeit erstreckt sich von Juni bis August. Die basenholde Art siedelt in mäßig trockenen bis frischen Gebüsch- und Trockenwaldsäumen sowie in ruderal beeinflussten Trocken- und Halbtrockenrasen, an Bahndämmen, in Steinbrüchen und Böschungsansaaten.

Vicia hirsuta (L.) GRAY (Behaarte Wicke, Zitterlinse) ist ein rosettenloser, sommerannueller Therophyt bzw. einjährig-überwinternder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 15 und 60 cm. Die Art blüht zwischen Juni und Juli und besiedelt sandige bis lehmige Äcker, mäßig trockene bis frische Ruderalstellen wie Wegränder, Schutt oder gestörte Sandtrockenrasen und Gebüschsäume.

Vicia tenuifolia ROTH s. str. (Feinblättrige Wicke) ist ein sommergrüner, rosettenloser, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 30 und 150 cm. Die Art ist kalkhold und blüht zwischen Juni und Juli. Sie besiedelt trockene Gebüschsäume, lichte Laubwälder und Ruderalstellen wie Weg- und Straßenränder.

Vicia tetrasperma (L.) SCHREB. (Viersamige Wicke) ist ein rosettenloser, sommerannueller Therophyt bzw. ein einjährig-überwinternder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 15 bis 60 cm. Die Art ist kalkmeidend und blüht von Juni bis Juli. Sie besiedelt sandige bis lehmige Äcker, mäßig trockene bis frische Ruderalstellen, Wegränder, Brachen, Silikatrasen und wechselfeuchte Wiesen.

Tab. 1 Diasporenmerkmale der zehn untersuchten Fabaceen-Arten. Daten zu Gewicht und Größe aus Biolflor (OTTO 2002) oder *)PARTZSCH et al. (2006).

Table 1 Traits of diaspores of the ten species of Fabaceae. Data of weight and size follow Biolflor (OTTO 2002) or *)PARTZSCH et al. (2006).

Zielarten	Masse [mg]	Länge [mm]	Breite [mm]
<i>Anthyllis vulneraria</i>	2,4	2,3	1,5
<i>Genista tinctoria</i>	3,9	2,5	2,1
<i>Hippocrepis comosa</i>	4,2	2,4	1,6
<i>Lotus corniculatus</i>	1,2	1,5	1,2
<i>Lotus maritimus</i>	2,1	2,0	2,0
<i>Onobrychis arenaria</i>	30,2	5,2	5,2
<i>Securigera varia</i>	3,5	3,7	1,4
<i>Vicia hirsuta</i> *)	7,0	2,5	2,3
<i>Vicia tenuifolia</i>	20,5	3,4	2,7
<i>Vicia tetrasperma</i> *)	3,8	1,9	1,9

3 Material und Methoden

3.1 Sammlung und Versuchsansätze

Die Diasporen der zehn ausgewählten Arten wurden im reifen Zustand an der Mutterpflanze geerntet. Je nach Art und Samenreife variierten die Sammeltermine zwischen Juni und September der jeweiligen Erntejahre (Tab. 2). Die Orte der Aufsammlungen waren Trockenbiotope bzw. ruderal beeinflusste Habitate im Saalekreis, in Halle und im Unstruttal bei Freyburg. Die Diasporenproben (Mischproben von

mindestens 30 Individuen) wurden geteilt, wobei ein Teil für den ersten Keimversuch genutzt wurde, der im Herbst des Erntejahres stattfand. Bis dahin wurden die Diasporen zur Nachreife bei Zimmertemperatur trocken gelagert. Im Herbst wurde der restliche Teil der Diasporen in luftdurchlässige Säckchen verpackt, im Boden vergraben (ca. 5 cm tief) und den Witterungsbedingungen im Freiland zwischen Anfang November und Anfang 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-Seebe, die von J. 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.

Zielarten	Sammelort	Sammeldatum	Ansatz nach Ernte	Ansatz nach Überwinterung
<i>Anthyllis vulneraria</i>	Mücheln bei Wettin	20.07.2010	13.09.2010	16.03.2011
<i>Genista tinctoria</i>	Brachwitz/Küsterberg	24.08.2004	30.08.2004	09.05.2005
<i>Hippocrepis comosa</i>	Lieskau	19.07.2004	30.08.2004	09.05.2005
<i>Lotus corniculatus</i>	Halle/Brandberge	19.06.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Lotus maritimus</i>	Peißen bei Halle	11.07.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Onobrychis arenaria</i>	Landsberg	10.09.2006	17.10.2006	07.03.2007
<i>Securigera varia</i>	Freyburg/Nüßenberg	03.08.2004	30.08.2004	09.05.2005
<i>Vicia hirsuta</i>	Halle/Brandberge	19.06.2009	03.08.2009	09.03.2010
<i>Vicia tenuifolia</i>	Krawinkel	03.08.2004	30.08.2004	09.05.2005
<i>Vicia tetrasperma</i>	Brachwitz/Lerchenhügel	19.07.2004	30.08.2004	09.05.2005

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

Tab. 3 Zusammenstellung der minimalen und maximalen Temperaturen in einer Bodentiefe von 5 cm in den Jahren der Überwinterung vom 1. November bis 15. März der jeweiligen Jahre.

Table 3 Minimal and maximal temperatures in a soil depth of 5 cm in the years of hibernation from 1st November till 15th March of the years.

Jahre	maximale Temperaturen (tagesüber)		minimale Temperaturen (nachtsüber)	
	von	bis	von	bis
2004/2005	-0,5	13,3	-1,5	10,3
2006/2007	-6,2	7,9	-1,6	10,1
2009/2010	-1,1	11,2	-2,8	7,2
2010/2011	-2,1	11,2	-3,9	9,8

3.2 Untersuchungen zum Keimtemperaturoptimum

Die Untersuchungen zur Keimungsbiologie der Arten erfolgten in speziellen Keimschränken (Firma Rumet, Memmert), wobei der erste Ansatz nach der Ernte und der zweite Keimansatz nach der Überwinterung im nächsten Frühjahr starteten (Tab. 2). Dabei wurde jeweils ein Lichtregime von 12 Stunden Helligkeit und 12 Stunden Dunkelheit beibehalten; die Temperaturen in den verschiedenen Lichtphasen variierten jedoch. Folgende Varianten wurden getestet: a) 8 °C bei Licht und 4 °C im Dunkeln; b) 20 °C bei Licht und 10 °C im Dunkeln; c) 32 °C bei Licht und 20 °C im Dunkeln. Dies sollte kalte, warme und heiße Klimabedingungen simulieren. Je Pflanzenart wurden vier Parallelproben zu jeweils 25 oder 40 Diasporen in einer Petrischale (Befeuchtung mit Aqua dest.; pH 7,05) ausgelegt. Auf dem Grund der Petrischalen wurde ein Abstandshalter positioniert, um den Rundfilter gleichmäßig feucht zu halten, auf dem die Diasporen gelagert wurden.

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

3.3 Test auf Lebensfähigkeit

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

3.4 Berechnungsverfahren

Die Berechnungen der Keimergebnisse beziehen 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 Unendliche steigen kann, wurde sensu KHAN & UNGAR (1996, 1997) ein modifizierter Timson-Index verwendet, bei dem die täglichen prozentualen Keimwerte addiert und durch die Anzahl der Versuchstage dividiert werden (PÉREZ-FERNÁNDEZ et al. 2006). Der modifizierte Timson-Index berücksichtigt neben der prozentualen Endkeimung auch die Keimgeschwindigkeit einer Art und kann maximal den Wert 100 erreichen.

Für die statistische Auswertung wurden die Prozentwerte und der Timson-Index arcsinus-wurzel-transformiert und mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die Homogenität der Varianzen wurde mittels Bartlett-Test geprüft, um damit die Voraussetzung für eine ANOVA zu testen. Zum Vergleich der Mittelwerte in Abhängigkeit von den verschiedenen Temperaturregimen wurde eine einfaktorische ANOVA und der Post-Hoc-Tukey-Test 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 (2011) durchgeführt.

Die Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA wurden durch Interaktionsplots dargestellt. Sie sollen das Zusammenspiel von zwei Umweltfaktoren auf die Entwicklung der pflanzlichen Parameter aufzeigen. In diesen Untersuchungen sind es das variable Temperatur-Licht-Regime und die natürliche Kältestratifika-

tion, die das Keimverhalten der Arten unterschiedlich beeinflussen können. Dabei kann einer der beiden Umweltfaktoren die Sensitivität der Arten gegenüber dem anderen verändern, was durch signifikante Interaktionen verdeutlicht wird. Verlaufen die Linien in den Interaktionsplots nahezu parallel, so liegen keine signifikanten Interaktionen vor.

Für die Feststellung eines Zusammenhangs zwischen den Diasporenmerkmalen Größe und Gewicht mit dem Keimverhalten der Arten wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient berechnet und auf Signifikanz geprüft. Hierbei wurden die höchsten Keimprozentage bzw. –geschwindigkeiten verrechnet, die im Jahr der Ernte unter dem optimalen Temperatur-Licht-Regime erzielt wurden. Neben den untersuchten zehn Fabaceae-Arten wurden auch *Astragalus danicus*, *Medicago lupulina* und *Trifolium arvense* in die Analyse einbezogen, die bereits in vorhergehenden Studien untersucht worden sind (PARTZSCH 2009, 2010a).

4 Ergebnisse

4.1 Keimung nach Ernte

Anthyllis vulneraria begann unter kalten und warmen Bedingungen am siebten Tag und unter heißen Bedingungen am vierten Tag zu keimen. Generell war die prozentuale Keimung unter allen drei Temperaturen sehr gering (Abb. 1, Tab. 4). Demgegenüber war der Keimstart von *Genista tinctoria* deutlich später: unter 8 / 4°C am 40. Tag, unter 20 / 10°C am 10. Tag und unter 32 / 20°C am fünften Tag. Die prozentuale Keimung stieg mit Temperaturerhöhung signifikant bis auf 28 % unter heißen Bedingungen an. *Hippocrepis comosa* (ohne Diagramm) keimte nach der Ernte unter allen Temperaturbedingungen überhaupt nicht. *Lotus corniculatus* begann am vierten Tag unter allen drei Temperaturbedingungen zu keimen. Die prozentuale Keimung stieg auf maximal 25 %, unterschied sich aber nicht signifikant zwischen den Temperaturstufen. Demgegenüber zeigte *Lotus maritimus* temperaturabhängige Unterschiede im Keimstart (unter 8 / 4°C am vierten Tag, unter 20 / 10°C am siebenten Tag und unter 32 / 20°C am zweiten Tag) sowie in der prozentualen Keimung. Diese war unter den heißen Bedingungen signifikant höher (20 %) als unter den beiden anderen Temperaturstufen. *Onobrychis arenaria* zeigte im Vergleich zu allen anderen Fabaceen die höchsten Keimprozentage mit über 90 % unter allen drei Temperaturstufen und keimte bereits am ersten Tag nach Versuchsansatz (Abb. 2, Tab. 4). Demgegenüber keimten nur wenige Samen von *Securigera varia* relativ spät unter kalten (44. Tag) und warmen Bedingungen (22. Tag), aber keine unter heißen Bedingungen. *Vicia hirsuta* keimte zuerst unter warmen (am vierten Tag) und unter kalten Bedingungen (am siebenten Tag); unter heißen Bedingungen war die Keimung stark verzögert (17. Tag). Die höchsten Keimprozentage von nur 12 % wurden unter 20 / 10°C erreicht. *Vicia tenuifolia* begann unter kalten Bedingungen am 12. Tag und unter warmen und heißen Bedingungen am achten Tag zu keimen. Auch bei dieser Art lag die maximale Keimung unter warmen Bedingungen bei nur 10 %. Von *Vicia tetrasperma* (ohne Diagramm) keimten nur wenige Samen, wobei die Temperatur keinen signifikanten Einfluss zeigte.

Die Keimgeschwindigkeiten von *Anthyllis vulneraria*, *Lotus corniculatus*, *Onobrychis arenaria*, *Vicia tenuifolia* und *V. tetrasperma* unterschieden sich nicht signifikant hinsichtlich des Temperatureinflusses (Tab. 4). Demgegenüber war der Timson-Index von *Genista tinctoria* und *L. maritimus* unter heißen Bedingungen am höchsten. Die Diasporen von *Securigera varia* und *Vicia hirsuta* keimten ähnlich langsam unter kalten und warmen Bedingungen, wohingegen eine Temperaturerhöhung die Keimung noch verzögerte.

4.2 Keimung nach Überwinterung

Nach Überwinterung begann die Keimung von *Anthyllis vulneraria* etwas früher als im Jahr der Ernte (8 / 4°C: fünfter Tag; 20 / 10°C: vierter Tag; 32 / 20°C: zweiten Tag), war aber generell noch niedriger als im Erntejahr (Abb.1, Tab. 5). Ebenso führte die Kältestratifikation auch bei *Genista tinctoria* nicht zu einer Steigerung der prozentualen Keimung. Nur unter heißen Bedingungen begannen einige Samen am fünften

Tab. 4 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der zehn 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 the Timson's index of the ten 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 / 4 °C	20 / 10 °C	32 / 20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Anthyllis vulneraria</i>					
Endkeimung	1,88	3,13	4,38	2,875	n. s.
Timson-Index	1,57	2,61	2,72	1,911	n. s.
<i>Genista tinctoria</i>					
Endkeimung	1,00 a	13,00 b	28,00 c	47,829	< 0,0001
Timson-Index	0,13 a	6,20 b	18,89 c	89,639	< 0,0001
<i>Hippocrepis comosa</i>					
Endkeimung	0	0	0	-	-
Timson-Index	0	0	0	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>					
Endkeimung	17,50	21,67	25,00	0,702	n. s.
Timson-Index	9,94	17,54	18,48	2,686	n. s.
<i>Lotus maritimus</i>					
Endkeimung	11,00 a	8,00 a	20,00 b	10,325	0,05
Timson-Index	7,53 ab	6,49 a	14,20 b	5,261	0,05
<i>Onobrychis arenaria</i>					
Endkeimung	96,25	93,75	93,13	0,363	n. s.
Timson-Index	90,81	91,94	90,99	0,070	n. s.
<i>Securigera varia</i>					
Endkeimung	2,00 a	7,00 b	0,00 a	14,045	0,05
Timson-Index	0,07 a	1,62 a	0,00 b	6,447	0,05
<i>Vicia hirsuta</i>					
Endkeimung	9,00 a	12,00 a	1,00 b	17,280	0,001
Timson-Index	7,00 a	9,64 a	0,64 b	17,576	0,001
<i>Vicia tenuifolia</i>					
Endkeimung	6,67 ab	10,67 b	4,00 a	9,742	0,05
Timson-Index	4,56	6,49	3,20	1,898	n. s.
<i>Vicia tetrasperma</i>					
Endkeimung	2,00	3,00	1,00	0,900	n. s.
Timson-Index	1,16	2,40	0,78	1,063	n. s.

Tag zu keimen. Die Samen von *Hippocrepis comosa* keimten auch nach Überwinterung überhaupt nicht. Bei *Lotus corniculatus* bewirkte die Überwinterung einen früheren Keimstart; unter kalten Bedingungen am sechsten und unter warmen und heißen Bedingungen jeweils am zweiten Tag. Unter allen drei Temperaturstufen keimte die Art ähnlich wie im Erntejahr und zeigte keine signifikanten temperaturbedingten Unterschiede. Im Gegensatz dazu bewirkte die Kältestratifikation bei *Lotus maritimus* eine Verzögerung

der Keimung: unter kalten Bedingungen auf den 35. Tag, unter warmen Bedingungen auf den 18. Tag und unter heißen Bedingungen auf den 12. Tag. Die prozentuale Keimung lag unter der des Vorjahres. Eine Ausnahme stellte wieder *Onobrychis arenaria* dar, die auch nach Überwinterungen unter allen drei Temperaturstufen nahezu vollständig auskeimte (Abb. 2, Tab. 5). Demgegenüber lag die Keimung von *Securigera varia* unter warmen Bedingungen nur bei 5%; nach Temperaturerhöhungen bzw. –erniedrigung war sie noch niedriger. Bei *Vicia hirsuta* bewirkte die Stratifikation eine Erhöhung der prozentualen Keimung auf 20 bis 28%, wobei die verschiedenen Temperaturstufen keinen signifikanten Einfluss hatten. Ebenso startete die Keimung früher; unter kalten Bedingungen am sechsten Tag und unter warmen und heißen Bedingungen bereits am ersten Tag nach Versuchsansatz. Ähnlich reagierte auch *Vicia tenuifolia* nach Überwinterung und erreichte unter heißen Bedingungen die höchste Keimung von ca. 42%; unter kalten und warmen Bedingungen waren es nur ca. 20%. Bei 8 / 4 °C begann die Keimung bereits am fünften und unter warmen und heißen Bedingungen am dritten Tag. Demgegenüber keimte *Vicia tetrasperma* nach Überwinterung überhaupt nicht.

Hinsichtlich der Keimgeschwindigkeit zeigten sich geringe, aber signifikante, temperaturabhängige Effekte nur bei *Genista tinctoria*, *Lotus maritimus*, *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia* und *Vicia tenuifolia*. Mit Ausnahme von *Lotus maritimus* trat bei den Arten ein früherer Keimstart ein.

4.3 Vergleich der Keimung nach Ernte und nach Überwinterung

Die Interaktionsplots sollen zeigen, ob es nach Überwinterung zu einer veränderten Keimung in Abhängigkeit von dem jeweiligen Temperatur-Licht-Regime kam. Für die Arten *Anthyllis vulneraria*, *Hippocrepis comosa*, *Lotus corniculatus*, *L. maritimus*, *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia* und *Vicia tetrasperma* traten jedoch keine signifikanten Interaktionen bezüglich der prozentualen Keimung und der Keimgeschwindigkeit auf (Abb. 3, Tab. 6). Die Kurven der prozentualen Keimung unter den drei verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen im Erntejahr als auch nach Überwinterung laufen nicht nur parallel, sondern sind nahezu identisch. Bei *Vicia hirsuta* und *V. tenuifolia* bewirkt die Kältestratifikation eine veränderte Temperaturempfindlichkeit sowie eine leichte Steigerung der prozentualen Keimung und der Keimgeschwindigkeit. Im Gegensatz dazu, zeigte *Genista tinctoria* signifikante Interaktionen, wobei die höheren Keimwerte allerdings im Jahr der Ernte auftraten.

4.4 Lebensfähigkeit der Diasporen

Die Lebensfähigkeit der Diasporen aller zehn Fabaceae-Arten war nach der Ernte sehr hoch und lag zwischen 93 und 100% (Tab. 7). Die meisten der Diasporen, die nach Versuchsabschluss noch in den Petrischalen verblieben, zeigten eine gute Lebensfähigkeit, allerdings waren in einigen Petrischalen die Diasporen nach den 45 Versuchstagen stark verpilzt.

4.5 Zusammenhang zwischen Gewicht und Größe der Diasporen und dem Keimungsverhalten

Der Zusammenhang zwischen dem Gewicht bzw. der Größe (Länge) der Diasporen und den höchsten Keimungsprozenten im Erntejahr, die unter dem artspezifisch optimalen Temperatur-Licht-Regime erzielt worden sind, war signifikant positiv (Abb. 5). Unter Einbeziehung aller 13 Fabaceen-Arten betrug der Korrelationskoeffizient nach Pearson 0,874 ($P < 0,0001$) für das Diasporengewicht und 0,621 ($P = 0,012$) für die Diasporengröße. Für den Zusammenhang zwischen Timson-Index und Gewicht (Pearson-Korrelationskoeffizient: 0,913, $P < 0,0001$) sowie Größe (Pearson-Korrelationskoeffizient: 0,651, $P = 0,008$) ergaben sich ebenso positive signifikante Zusammenhänge.

Wird *Onobrychis arenaria* nicht in die Analyse einbezogen, war die Korrelation negativ, aber nicht signifikant. Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson betragen für das Diasporengewicht -0,213 ($P = 0,255$) und -0,278 ($P = 0,121$) für die Diasporengröße. Für den Zusammenhang zwischen Timson-Index und Gewicht (Pearson-Korrelationskoeffizient: -0,206, $P = 0,26$) sowie Größe (Pearson-Korrelationskoeffizient: -0,344, $P = 0,197$) ergaben sich ebenso positive signifikante Zusammenhänge.

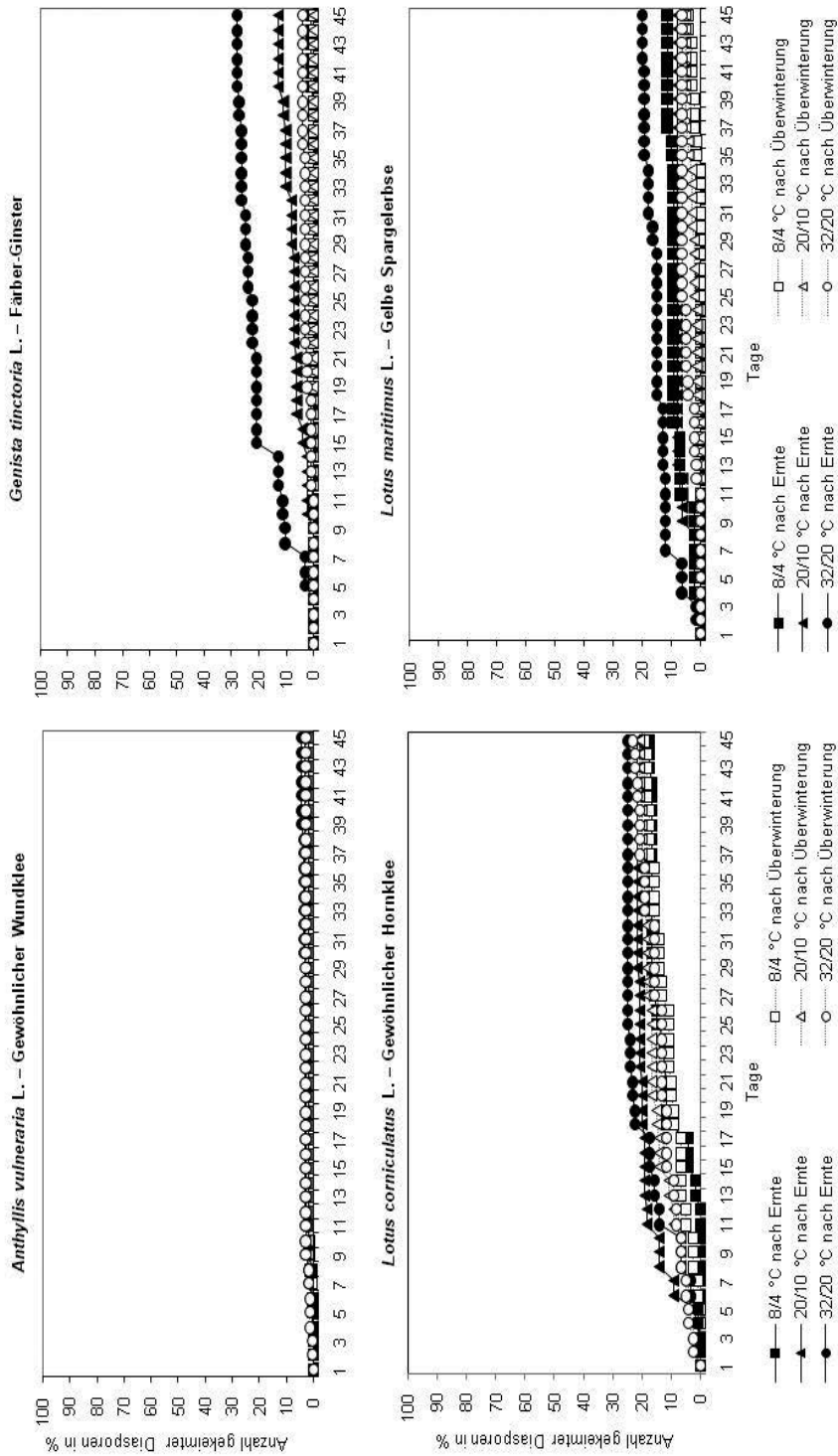


Abb. 1 Kumulativer Keimverlauf von *Anthyllis vulneraria*, *Genista tinctoria*, *Lotus corniculatus* und *L. maritimus* unter den verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 1 Cumulative germination of *Anthyllis vulneraria*, *Genista tinctoria*, *Lotus corniculatus* and *L. maritimus* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

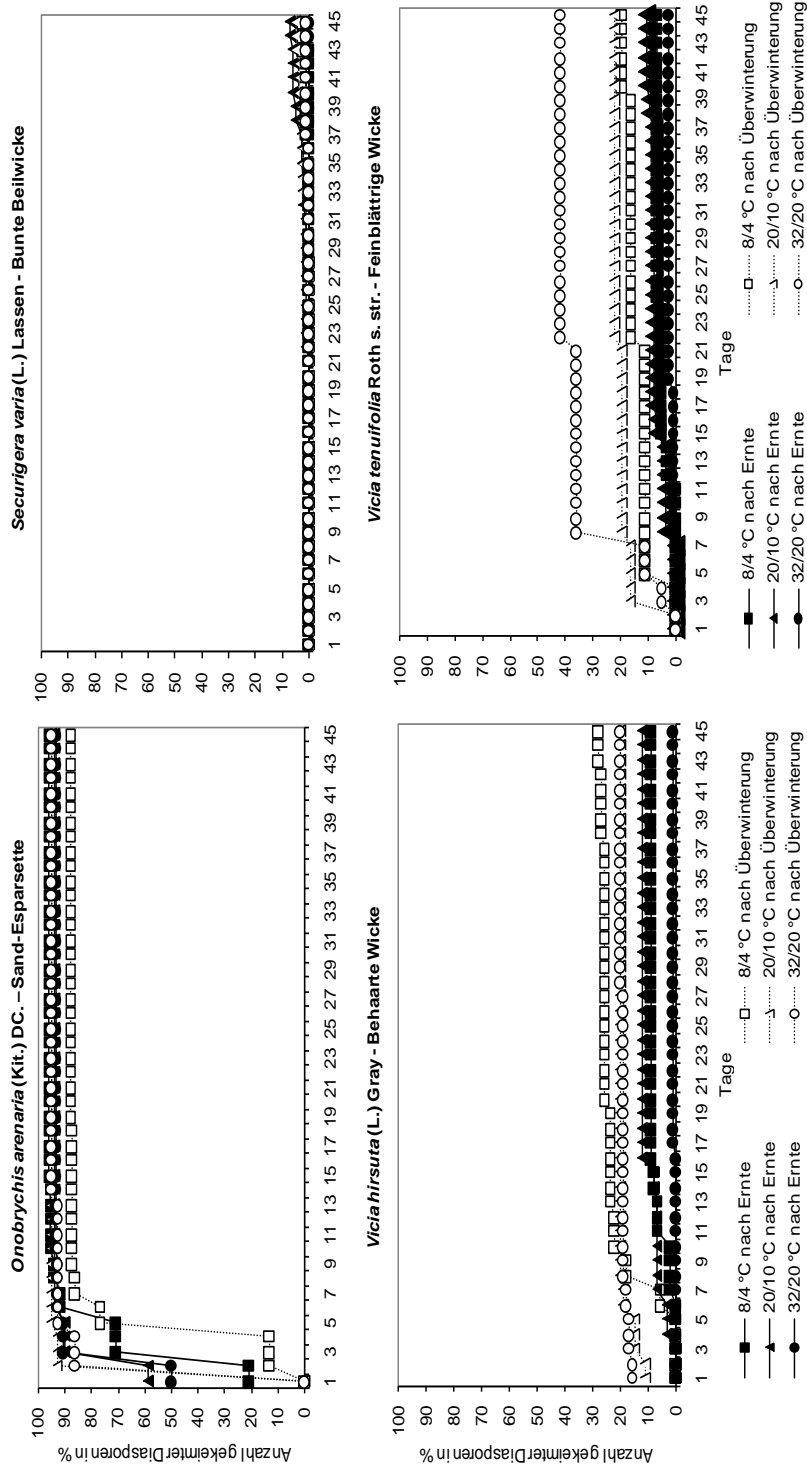


Abb. 2 Kumulativer Keimverlauf von *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia*, *Vicia hirsuta* und *V. tenuifolia* unter verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 2 Cumulative germination of *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia*, *Vicia hirsuta* and *V. tenuifolia* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

Tab. 5 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der zehn 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 ten 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 / 4 °C	20 / 10 °C	32 / 20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Anthyllis vulneraria</i>					
Endkeimung	1,88	2,50	2,50	0,308	n. s.
Timson-Index	1,58	2,15	2,25	0,392	n. s.
<i>Genista tinctoria</i>					
Endkeimung	0,00 a	0,00 a	4,00 b	8,016	0,010
Timson-Index	0,00 a	0,00 a	2,11 b	6,502	0,018
<i>Hippocrepis comosa</i>					
Endkeimung	0	0	0	-	-
Timson-Index	0	0	0	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>					
Endkeimung	19,17	20,83	23,33	0,721	n. s.
Timson-Index	10,13	14,18	13,26	3,860	n. s.
<i>Lotus maritimus</i>					
Endkeimung	4,00	5,00	6,00	0,852	n. s.
Timson-Index	0,62 a	1,89 ab	3,76 b	9,392	0,05
<i>Onobrychis arenaria</i>					
Endkeimung	88,00	95,00	95,00	2,111	n. s.
Timson-Index	80,24 a	92,76 b	91,89 b	6,336	0,05
<i>Securigera varia</i>					
Endkeimung	2,00 a	5,00 b	1,00 a	8,016	0,05
Timson-Index	0,27 a	1,07 b	0,20 a	6,502	0,05
<i>Vicia hirsuta</i>					
Endkeimung	28,00	20,00	20,00	1,894	n. s.
Timson-Index	21,53	19,22	19,09	0,280	n. s.
<i>Vicia tenuifolia</i>					
Endkeimung	19,44 a	22,22 a	41,67 b	11,166	0,05
Timson-Index	13,46 a	19,75 ab	34,44 b	7,319	0,05
<i>Vicia tetrasperma</i>					
Endkeimung	0	0	0	-	-
Timson-Index	0	0	0	-	-

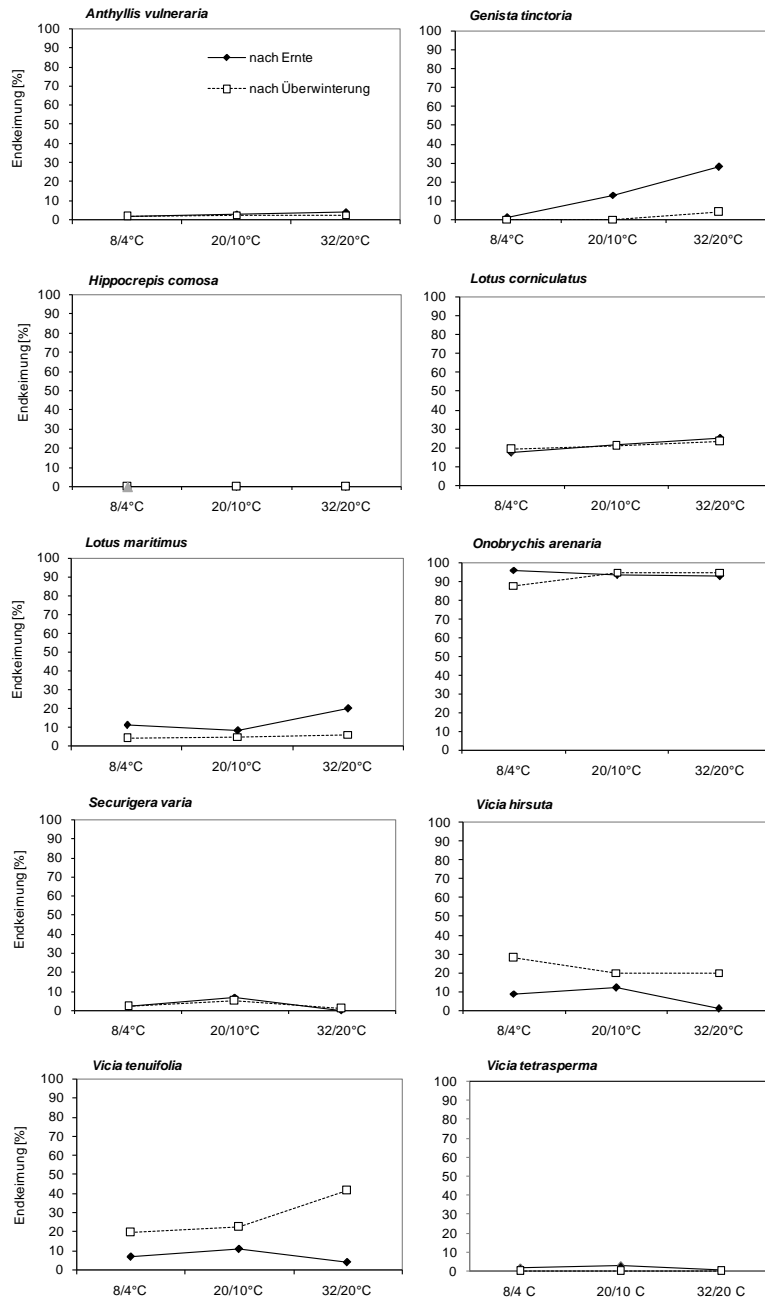


Abb. 3 Interaktionsplots der Endkeimung der zehn untersuchten Arten zur Darstellung der Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Keimansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen.

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

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).

	d.f.	mittlere Quadratsumme	F-Wert	P-Wert
<i>Anthyllis vulneraria</i>				
Endkeimung	2	0,001	0,349	n. s.
Timson-Index	2	0,001	0,187	n. s.
<i>Genista tinctoria</i>				
Endkeimung	2	0,071	13,597	< 0,0001
Timson-Index	2	0,051	20,378	< 0,0001
<i>Hippocrepis comosa</i>				
Endkeimung	2	-	-	-
Timson-Index	2	-	-	-
<i>Lotus corniculatus</i>				
Endkeimung	2	0,001	0,139	n. s.
Timson-Index	2	0,003	0,698	n. s.
<i>Lotus maritimus</i>				
Endkeimung	2	0,013	2,679	n. s.
Timson-Index	2	0,005	1,754	n. s.
<i>Onobrychis arenaria</i>				
Endkeimung	2	0,038	1,857	n. s.
Timson-Index	2	0,019	2,090	n. s.
<i>Securigera varia</i>				
Endkeimung	2	0,004	0,638	n. s.
Timson-Index	2	0,001	0,756	n. s.
<i>Vicia hirsuta</i>				
Endkeimung	2	0,046	7,252	< 0,05
Timson-Index	2	0,039	7,948	< 0,05
<i>Vicia tenuifolia</i>				
Endkeimung	2	0,052	17,281	< 0,001
Timson-Index	2	0,035	8,005	< 0,05
<i>Vicia tetrasperma</i>				
Endkeimung	2	0,005	0,899	n. s.
Timson-Index	2	0,004	1,063	n. s.

5 Diskussion

Die Vertreter der in dieser Studie untersuchten Fabaceen zeigten im Vergleich zu den Asteraceen bzw. Caryophyllaceen (PARTZSCH 2011a, b) eine relativ geringe prozentuale Keimung und eine sehr niedrige Keimgeschwindigkeit. Eine Ausnahme bildet *Onobrychis arenaria*, die unter allen drei Temperatur-Licht-

Tab. 7 Vergleich der Lebensfähigkeit der Diasporen der zehn 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.

Table 7 Comparison of diaspore viability of the ten species after harvest (before experiment) and after the first and second germination experiment under different temperature and light regimes.

	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>Anthyllis vulneraria</i>	98	96	96	92	17
<i>Genista tinctoria</i>	96	94	67	43	2	29	16
<i>Hippocrepis comosa</i>	95	75	81	75	79	74	61
<i>Onobrychis arenaria</i>	98	0	0	0	1	0	0
<i>Lotus corniculatus</i>	100	40	64	23	21	15	11
<i>Lotus maritimus</i>	100	88	89	79	66	69	66
<i>Securigera varia</i>	93	71	70	76	62	55	51
<i>Vicia hirsuta</i>	100	89	88	99	71	77	78
<i>Vicia tenuifolia</i>	100	81	64	71	53	61	36
<i>Vicia tetrasperma</i>	100	75	71	56	70	63	55

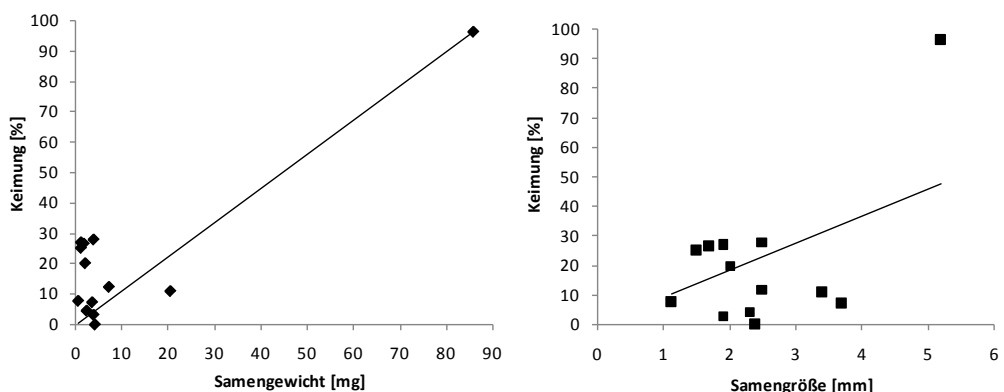


Abb. 4 Zusammenhang zwischen den höchsten Keimungsprozenten und der Diasporengröße bzw. dem Diasporengewicht der 13 untersuchten Fabaceae-Arten.

Fig. 4 Correlation between the highest final germination percentage and the seed size and the seed mass of the 13 investigated species of Fabaceae.

Regimen sowohl im Erntejahr als auch nach Überwinterung nahezu vollständig auskeimte. Die übrigen Arten zeigten Dormanz, die bei *Anthyllis vulneraria*, *Hippocrepis comosa*, *Securigera varia* und *Vicia tetrasperma* nahezu vollständig ausgebildet war. Bei *Genista tinctoria*, *Lotus corniculatus* und *L. maritimus* waren zwischen 72 und 80 % und bei *Vicia hirsuta* und *V. tenuifolia* ca. 90 % der Diasporen dormant. Auch die Arten *Astragalus danicus*, *Medicago lupulina* und *Trifolium arvense*, die in früheren Studien untersucht worden sind (PARTZSCH 2009, 2010a), wiesen zu ca. 70 und 95 % dormante Samen auf.

BASKIN & BASKIN (2001) führten bereits aus, dass die physikalische Dormanz vor allem in der Familie der Fabaceae auftritt, dies allerdings noch nicht für die hier untersuchten Vertreter geklärt ist. Aufgrund der Ausbildung einer sehr harten, nicht permeablen Testa wird der Wassereintritt in den Samen und somit die Quellung des Embryos verhindert (FENNER & THOMPSON 2005). Die relativ stark ausgeprägte Dormanz der untersuchten Arten ließ sich nicht durch natürliche Kältestratifikation brechen, allerdings begannen die wenigen keimenden Diasporen nach Überwinterung einige Tage früher mit der Keimung (Ausnahme: *Lotus maritimus*) und wiesen damit zum Teil höhere Keimgeschwindigkeiten auf. Nur *Vicia hirsuta* und *V. tenuifolia* zeigten eine geringe Steigerung der prozentualen Keimung nach Überwinterung, während *Genista tinctoria* nach natürlicher Kältestratifikation signifikant schlechter keimte als im Erntejahr.

Nach KARLSSON et al. (2006) ist das Wissen um Arten mit starker Dormanz relativ gering, da Ergebnisse von Versuchen, in denen keine oder nur eine geringe Keimung stattgefunden hat, selten veröffentlicht werden. Meist wird von der Annahme ausgegangen, dass die Diasporen in geeigneter Umgebung immer zum Keimen gebracht werden können. Auch die in dieser Studie präsentierten Arten waren bereits mehrmals in Keimtests (mit ähnlich schlechten Keimergebnissen), um sicher zu gehen, dass die schlechte Keimung nicht das Ergebnis von nicht ausreichend entwickelten Diasporen aufgrund von ungünstigen Witterungs- und Standortbedingungen waren.

Bei vielen Arten wird die Keimung signifikant durch die Temperatur beeinflusst. So konnte vor allem für die Vertreter der Caryophyllaceae und Asteraceae sowohl ein starker Anstieg der Keimung mit Temperaturerhöhung als auch eine optimale Keimung unter warmen bis heißen Bedingungen (PARTZSCH 2011a, b) gefunden werden. Bereits MORGAN (1998) stellte in seiner Studie zum Keimverhalten von 28 Graslandarten der temperaten Zone fest, dass die optimale Keimtemperatur bei 20 / 10 °C liegt. Die in dieser Studie untersuchten Arten, einschließlich *Astragalus danicus*, *Medicago lupulina* und *Trifolium arvense* (PARTZSCH 2009, 2010a), zeigten keinen oder nur einen geringen signifikanten Einfluss der Temperatur auf die Steigerung der prozentualen Keimung bzw. Keimgeschwindigkeit (bei generell sehr geringen Keimwerten). Meist keimten sie in einem breiten Temperaturbereich, wie in GRIME et al. (2007) für *Lotus corniculatus* angegeben ist. Danach besitzt die Art eine „hard-coat dormancy“ und keimt zwischen 5 und 34 °C. Hinsichtlich der optimalen Keimtemperatur geben BASKIN & BASKIN (2001) nur für *Anthyllis vulneraria* und *Vicia hirsuta* einen Bereich von 20 / 10 °C unter Licht-Dunkel-Wechsel (12h : 12h) an. Bei *Anthyllis vulneraria* ist vermerkt, dass die physikalische Dormanz der Art durch eine 10-minütige Wärmebehandlung gebrochen werden kann und danach ca. 90 % der Diasporen keimen. Ebenso soll eine 2-minütige Wärmebehandlung bei 100 °C die Keimung von *Genista anglica* auf 96 % steigern. Ähnliches lässt sich auch für die getestete *G. tinctoria* vermuten. Dies könnte auf den positiven Effekt von Feuer auf sogenannte Pyrophyten hinweisen, deren Keimfähigkeit durch Brände gefördert wird (AULD & O'CONNELL 1991).

Im Gegensatz dazu soll die Keimruhe von *Lotus corniculatus* und *Securigera varia* durch eine Kältebehandlung von -184 bzw. -196 °C gebrochen werden, Temperaturen die allerdings im natürlichen Habitat nie anzu-treffen sind. OLLERTON & LACK (1996) konnten jedoch nachweisen, dass die Keimung von *Lotus corniculatus* durch Skarifizierung gebrochen werden kann, indem ein Befall durch Rüsselkäfer die Testa schädigt und somit Wasser einbringen kann. So konnten trotz Fraßschäden von ca. einem Drittel des Kotyledonengewebes noch ca. 50 % der Samen keimen und sogar 50 bis 70 % der Keimlinge überleben. Demgegenüber wiesen BRANT et al. (1971) nach, dass Samen von *Securigera varia* nach Einweichen in Aceton oder Petroleum die Keimung geringfügig, aber signifikant förderte, wobei auch diese Substanzen in der natürlichen Umwelt nicht vorhanden sind. Auch für die Behandlung von *Vicia hirsuta*-Samen schlagen BASKIN & BASKIN (2001) Skarifizierung vor.

Es wird häufig vermutet, dass das Aufbrechen der Samenschale und damit ein erhöhter Keimerfolg infolge einer Darmpassage bei Tieren stattfinden. Fütterungsversuche von 19 temperaten Graslandarten an

verschiedenen Tiergruppen (Kaninchen, Schafe, Esel, Pferde, Rinder) haben jedoch gezeigt, dass die Diasporen, die eine Darmpassage durchliefen, einen deutlich geringeren Keimerfolg aufwiesen als die, die nicht verfüttert worden waren (COSYNS et al. 2005). Ähnliche Ergebnisse konnten FORD et al. (2003) für *Trifolium stoloniferum* zeigen. Demgegenüber fanden CALVINO-CANCELA & RUBIDO-BARÁ (2012), dass die Keimung von *Cytisus striatus*, *Lotus corniculatus* und *Ulex europaeus*, ebenso Fabaceae-Arten, nach der Passage des Darmes von Nacktschnecken in ihrer Keimung positiv beeinflusst worden ist.

Bei den untersuchten Arten ließ sich kein Zusammenhang zwischen dem Keimverhalten und der Lebensdauer der Arten nachweisen. So keimten die sommerannuellen bzw. einjährig-überwinternden Vertreter der Fabaceae *Vicia hirsuta*, *V. tetrasperma* und *Trifolium arvense* (PARTZSCH 2010a) sowohl im Erntejahr als auch nach Überwinterung ähnlich schlecht wie die ausdauernden Hemikryptophyten, Chamaephyten und Nanophanerophyten. Die Annahme von REES (1994), dass kurzlebige Arten besser keimen als langlebige, konnte für die untersuchten Fabaceae-Arten nicht bestätigt werden.

Der Zusammenhang zwischen Größe bzw. Gewicht der Diasporen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Nach WEIS (1982) und VERA (1997) steigt die prozentuale Keimung mit der Größe der Diasporen an, nach COUNTS & LEE (1991) fällt sie ab. Für 47 Grasarten konnten WU & DU (2007) feststellen, dass die größeren und schweren Samen signifikant schneller und besser keimten. Demgegenüber fand PARTZSCH (2010b) für zehn xerotherme Grasarten einen negativen, nicht signifikanten Zusammenhang. Für die 13 untersuchten Vertreter der Fabaceae ergaben sich jedoch positive, signifikante Korrelationen zwischen der prozentualen Keimung bzw. dem Timson-Index und den Diasporenmerkmalen Größe und Gewicht. Wenn jedoch die großsamige und schnell keimende Art *Onobrychis arenaria* nicht mit in die Analyse einbezogen wurde, ergaben sich negative, nicht signifikante Korrelationen. Dies spricht dafür, dass in solchen Analysen, die einen Zusammenhang zwischen Keimverhalten und Diasporenmerkmalen aufdecken sollen, eine größere Anzahl von untersuchten Arten einbezogen werden muss.

Nach OTTE et al. (2006) lassen sich Rückschlüsse vom Keimverhalten auf den Diasporenbanktyp der Arten ziehen. In der Datenbank von THOMPSON et al. (1997), einer bibliografischen Übersicht, die Angaben über den Diasporenbanktyp (1= transient, 2= short-term persistent, 3= long-term persistent, 4= unklarer Diasporenbanktyp) bzw. das vermutliche Alter der Diasporen im Boden enthält, lassen sich dazu Angaben finden. Je nach Erwähnung der Arten in der Literatur seit ca. 1930 gibt es unterschiedlich viele Vermerke. Für Arten mit häufigem Auftreten gibt es Vielfachnennungen, während seltene Arten nur wenig oder gar keine Angaben aufweisen. Für *Anthyllis vulneraria* ist in der Datenbank fünfmal Typ 1 und einmal Typ 2 sowie ein Überlebensfähigkeit der Diasporen im Boden von mehr als drei Jahren angegeben. Für *Genista tinctoria* ist nur zweimal Typ 1 und für *Hippocrepis comosa* viermal Typ 1 und einmal Typ 2 vermerkt. Für *Lotus corniculatus* gibt es sehr viele Angaben: 19 mal Typ 1, sechsmal Typ 2, neunmal Typ 3, achtmal Typ 4 sowie ein mögliches Alter von zwischen mehr als fünf bis mehr als 20 sowie von mehr als 100 Jahren. Für *Securigera varia* wird zweimal Typ 1, für *Vicia hirsuta* achtmal Typ 1, dreimal Typ 2, neunmal Typ 3 und fünfmal Typ 4 sowie eine Lebensfähigkeit der Samen im Boden von mehr als 5 (7 Nennungen) bis mehr als 25 Jahre und für *V. tetrasperma* viermal Typ 1, dreimal Typ 2 und einmal Typ 4 angegeben. Für *Lotus maritimus*, *Onobrychis arenaria* und *Vicia tenuifolia* gibt es keine Angaben in dieser Datenbank. Demgegenüber geben PETER (1893) für *Vicia tenuifolia* eine Lebensfähigkeit der Samen im Boden von 45 Jahren und WALDHARDT et al. (2001) für *V. tetrasperma* von mehr als 44 Jahren an. Aus den in dieser Studie vorgestellten Ergebnissen zum Keimverhalten der Arten lässt sich ableiten (mit Ausnahme von *Onobrychis arenaria*), dass aufgrund der geringen Keimraten und der anhaltenden Dormanz trotz natürlicher Kältestratifikation für alle Arten der langzeit-persistente Diasporenbanktyp zutrifft. Dies geht einher mit der obengenannten Lebensdauer der Diasporen für einige Arten. Eine Ausnahme bildet *Onobrychis arenaria*; das Keimverhalten weist auf den transienten Diasporenbanktyp hin.

In dieser Studien zum Keimverhalten von Fabaceae-Arten konnte festgestellt werden, dass wie bereits von BASKIN & BASKIN (2001) vermutet, die Vertreter von *Anthyllis*, *Astragalus*, *Lotus*, *Medicago*, *Trifolium* und *Vicia*, einschließlich *Genista* und *Hippocrepis*, eine ausgeprägte physikalische Dormanz besitzen, die auch nicht durch Überwinterung gebrochen werden kann. Eine Ausnahme bildet jedoch *Onobrychis arenaria*. Renaturierungsverfahren durch Samenaddition bzw. experimentelle Ansätze mit der funktionellen

Gruppe der Leguminosen sollten deshalb über längere Zeiträume verfolgt werden, da sich ein Keim- und Etablierungserfolg der meisten Arten erst nach mehreren Jahren einstellen wird.

6 Zusammenfassung

PARTZSCH, M.: Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten Ruderal- und Xerothermrasenarten - Teil 4: Fabaceae. - *Hercynia* N. F. 45 (2012): 125 – 144.

Die Keimung gehört zu den wichtigsten Prozessen im Lebenszyklus einer Pflanze, der über den Erhalt einer Art entscheidet. Deshalb soll mit der vorliegenden Studie die Reihe zur Keimungsbiologie von teils selteneren Arten der Xerothermrasen und der angrenzenden trockenen, ruderal(segetal) beeinflussten Habitats fortgesetzt werden. Die folgenden zehn Vertreter aus der Familie der Fabaceae waren Gegenstand der Untersuchungen: *Anthyllis vulneraria*, *Genista tinctoria*, *Hippocrepis comosa*, *Lotus corniculatus*, *L. maritimus*, *Onobrychis arenaria*, *Securigera varia*, *Vicia hirsuta*, *V. tenuifolia* und *V. tetrasperma*.

Unter drei verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen (8 / 4°C, 20 / 10°C, 32 / 20°C; 12 h Licht; 12 h Dunkelheit; 45 Tage), die die klimatischen Verhältnisse im Frühjahr, Sommer und Herbst in unserer Region simulieren, 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 zeigten, dass mit Ausnahme von *Onobrychis arenaria*, bei allen Arten eine ausgeprägte Dormanz vorlag, die auch durch natürliche Kältestratifikation nicht oder nur geringfügig gebrochen werden konnte. *Anthyllis vulneraria*, *Hippocrepis comosa*, *Securigera varia* und *Vicia tetrasperma* wiesen eine nahezu vollständige Dormanz auf, während bei *Genista tinctoria*, *Lotus corniculatus*, *L. maritimus*, *Vicia hirsuta* und *V. tenuifolia* zwischen ca. 70 und 90 % der Samen dormant waren. Die Keimerfolge waren deshalb sowohl im Erntejahr als auch nach Überwinterung gering, wobei der Keimbeginn nach Überwinterung einige Tage früher einsetzte (Ausnahme: *Lotus maritimus*). Temperaturveränderung hatte nahezu keinen oder nur einen geringfügigen Effekt auf die prozentuale Keimung bzw. Keimgeschwindigkeit; die Arten keimten in einem sehr breiten Temperaturbereich von kalten über warme zu heißen Bedingungen, allerdings mit geringen Keimwerten. Signifikante Interaktionen hinsichtlich Temperatureinfluss nach Überwinterung traten nur bei *Genista tinctoria*, *Vicia hirsuta* und *V. tenuifolia* auf.

Ein Zusammenhang zwischen dem Keimverhalten und der Lebensdauer der Arten konnte nicht festgestellt werden. Demgegenüber ergaben sich signifikant positive Korrelationen zwischen der prozentualen Keimung bzw. der Keimgeschwindigkeit und der Größe sowie dem Gewicht der Diasporen innerhalb der untersuchten Vertreter der Fabaceae. Wenn *Onobrychis arenaria* allerdings nicht in die Analyse mit einbezogen wurde (Ausreißer), ergab sich keine signifikante Korrelation.

Aufgrund des Keimverhaltens und der Dormanz der Arten konnten alle untersuchten Vertreter dem langzeit-persistenten Diasporenbanktyp zugeordnet werden. Eine Ausnahme bildete jedoch *Onobrychis arenaria*, die sowohl im Jahr der Ernte als nach Überwinterung unter allen drei Temperatur-Licht-Regimen nahezu vollständig keimte. Diese Art wird dem transienten Diasporenbanktyp zugeordnet.

Bei Renaturierungsversuchen von Grasländern durch Samenaddition oder experimentellen Ansätzen mit der funktionellen Gruppe der Leguminosen sollte das Keimverhalten der Fabaceae berücksichtigt werden und entsprechend längere Zeiträume für die Untersuchungen angesetzt werden.

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.

8 Literatur

- AULD, T. D., O'CONNELL, M. A. (1991): Predicting patterns of post-fire germination in 35 eastern Australian Fabaceae. - Austr. J. Ecol. 16: 53 – 70.
- BASKIN C. C., BASKIN, J. M. (2001): Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. - Academic Press, Chapman & Hall, London.
- BASKIN C. C., BASKIN, J. M. (2004): A classification system for seed dormancy. - Seed Sci. Res. 14: 1 – 16.
- BEKKER, R.M., BAKKER, J.P., GRANDIN, U., KALAMEES, R., MILBERG, P., POSCHLOD, P., THOMPSON, K., WILLEMS, J.H. (1998): Seed size, shape and vertical distribution in the soil: indicators of seed longevity. - Funct. Ecol. 12: 834–842.
- BRANT, R. E., MCKEE, G. W., CLEVELAND R. W. (1971): Effect of chemical and physical treatment on hard seed of penngift crownvetch. - Crop Sci. 11: 1 – 6.
- CALVINO-CANCELA, M. & RUBIDO-BARÁ, M. (2012): Effects of seed passage through slugs on germination. - Plant Ecol. 213: 663 – 673.
- COCHRANE, A., BROWN, K., MEESON, N., HARDING, C. (1999): The germination requirements of *Hermigenia exilis* (Laminaceae) - 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.
- COSYNS, E., DELPARTE, A., LENS, L., HOFFMANN, M. (2005): Germination success of temperate grassland species after passage through ungulate and rabbit guts. - J. Ecol. 93: 353 – 361.
- 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.
- 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.
- FORD, W. M., MADARISH, D., SCHULER, T. M., CASTLEBERRY, S. B. (2003): Influence of white-tailed deer digestion on running buffalo clover (*Trifolium stoloniferum*: Fabaceae MUHL. ex A. EATON) germination. - Am. Midl. Nat. 149: 425 – 428.
- GRIME, J. P., HODGSON, J. G., HUNT, R. (2007): Comparative plant ecology. A functional approach to common British species. - Castlepoint Press, Colvend.
- HANSSON, M., FOGELFORS, H. (2000): Management of a semi-natural grassland; results from a 15-year-old experiment in southern Sweden. - J. Veg. Sc. 11: 31 – 38.
- HENDRY, G. A., GRIME, J. P. (1993): Methods in Comparative Plant Ecology. - Chapman & Hall, London.
- HONDA, Y. (2008): Ecological correlations between the persistence of the soil seed bank and several plant traits, including seed dormancy. - Plant Ecol. 196: 301 – 309.
- ISTA(2003): International rules for seed testing. - Zurich, Switzerland.
- JÄGER, E. J. (ed.) (2011): Exkursionsflora von Deutschland, begründet von ROTHMALER W., Gefäßpflanzen: Grundband. - Spektrum Akad. Verlag, Heidelberg.
- KARLSSON, L.M., ERIKSSON, J. A. L., MILBERG, P. (2006): Seed dormancy and germination in the summer annual *Galeopsis speciosa*. - Weed Research 46: 353 – 361.
- KHAN, M. A., UNGAR, I. A. (1996): Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon fercurum* 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.
- LEISHMAN, M. R., WESTOBY, M. (1998): Seed size and shape are not related to persistence in soil in Australia in the same way as in Britain. - Funct. Ecol. 12: 480 – 485.
- MARQUARD, E., WEIGELT, A., TEMPERTON, V. M., ROSCHER, C., SCHUMACHER, J., BUCHMANN, N., FISCHER, M., WEISSER, W. W., SCHMID, B. (2009): Plant species richness and functional composition drive overyielding in a six-year grassland experiment. - Ecol. 90: 3290 – 3302.
- 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.
- OLLERTON, J., LACK, A. (1996): Partial predispersal seed predation in *Lotus corniculatus* L. (Fabaceae). - Seed Sc. Res. 6: 65 – 69.
- 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 Veränderungsstendenzen in der Häufigkeit von Ackerwildkräutern in Deutschland? - J. Plant Diseases and Protection. Sonderh. XX: 507 – 516.
- PARTZSCH, M. (2009): Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrasenarten - Teil 1. - *Hercynia* N. F. 42: 239 – 254.
- PARTZSCH, M. (2010a): Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter kurzlebiger Ruderal- und Segetalarten. - *Hercynia* N. F. 43: 149-166.
- PARTZSCH, M. (2010b): Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten xerothermen Grasarten. - *Hercynia* N. F. 43: 299 - 317.
- PARTZSCH, M. (2011a): Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrasenarten - Teil 2: Caryophyllaceae. - *Hercynia* N. F. 44: 127 – 144.
- PARTZSCH, M. (2011b): Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrasenarten - Teil 3: Asteraceae. - *Hercynia* N. F. 44: 211 – 227.
- 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 response to chemicals: Effect of nitrogen and pH in the media. - *J. Environ. Biol.* 27 (1): 13 – 20.
- PETER, A. (1893): Culturversuche mit ruhenden Samen. - *Nachr. d. Königl. Ges. d. Wiss. zu Göttingen*: 17: 673 – 691.
- REES, M. (1994): Delayed germination of seeds: a look at the effects of adult longevity, the timing of reproduction, and population age/stage structure. - *Am. Nat.* 144: 43 – 64.
- SILVERTOWN, J.W. (1981): Seed size, life span, and germination date as coadapted features of plant life history. - *Am. Nat.* 118: 860 – 864.
- SPSS (2011) SPSS for Windows 19.0. - SPSS, Chicago.
- THOMPSON, K., BAND, S. R., HODGSON, J. G. (1993): Seed size and shape predict persistence in soil. - *Funct. Ecol.* 7: 236 – 241.
- 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, K., JALILI, A., HODGSON, J. G., HAMZEH`EE, B., ASRI, Y., SHAW, S., SHIRVANY, A., YAZDANI, S., KHOSHNEVIS, M., ZARRINKAMAR, F. M., GHAHRAMNI, M. A., SAFAVI, R. (2001): Seed size, shape and persistence in the soil in an Iranian flora. - *Seed Sci. Res.* 11: 345 – 355.
- THOMPSON, K., CERIANI, R. M., BAKKER, J. P., BEKKER, R.M. (2003): Are seed dormancy and persistence in soil related? - *Seed Sci. Res.* 13: 97 – 100.
- TIMSON, J. (1965): New method of recording germination data. - *Nature* 207: 216 – 217.
- VERA, M. L. (1997): Effects of altitude and seed mass on germination and seedling survival of heathland plants in north Spain. - *Plant Ecol.* 133: 101–106.
- WAGNER, M., PYWELL, R. F., KNOPP, T., BULLOCK, J. M., HEARD, M. S. (2011): The germination niches of grassland species targeted for restoration: effects of seed pre-treatments. - *Seed Sc. Res.* 21: 117 – 131.
- WALDHARDT, R., FUHR-BOSSDORF, K., OTTE, A. (2001): The significance of the seed bank as a potential for the reestablishment of arable-land vegetation in a marginal cultivated landscape. - *Web Ecol.* 2: 83 – 87.
- 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: 8. Mai 2012

Anschrift der Autorin:

Dr. rer. nat. Monika Partzsch

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

06108 Halle (Saale)

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