

Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrassenarten – Teil 1 –

Monika PARTZSCH

3 Abbildungen und 6 Tabellen

Abstract

PARTZSCH, M.: Germination biology of eight selected xerothermic grassland species – Part 1. – *Hercynia N.F. 42* (2009): 239–254.

The species-rich dry grassland communities of the porphyry landscape near Halle/Saale host a number of rare dicotyledonous hemicryptophytes. In open fields the species usually flower abundantly and produce many fruits and seeds during the summer. The purpose of this study was to determine whether such germination behaviour represents a cause for some of the species' apparent rarity. Seed of eight distinct dry grassland species (*Astragalus danicus* RETZ., *Carlina vulgaris* L., *Erysimum crepidifolium* RCHB., *Hypochaeris radicata* L., *Leontodon hispidus* L., *Prunella grandiflora* (L.) SCHOLLER, *Pulsatilla vulgaris* MILL., *Stachys recta* L.) were collected and their germination behaviour following harvesting and hibernation under field conditions was monitored in order to determine their optimal germination conditions and seed bank type. Seeds were collected from semi-dry grassland near Halle/Saale.

The conditions in the climate chamber were as follows: 8/4 °C at 12 hours light / 12 hours dark; 20/10 °C at 12 hours light / 12 hours dark; 32/20 °C at 12 hours light / 12 hours dark. Thirty batches of seeds (n = 4) were put on filter paper in Petri dishes and were kept permanently moist with de-ionized water. All germinated seeds (radicula being visible) were counted every two to three days and the duration of the experiment was 45 days. The same procedure was repeated in spring of the following year after seed hibernation in the field. For data analyses were calculated the percentage of final germination and germination velocity using the modified Timson's Index. Multiple comparisons were performed using a parametric one-way ANOVA along with Tukey's post hoc test (p<0.05) and a two way ANOVA. Percentages were arcsin-transformed prior to analysis.

The results showed that germination of *Astragalus danicus* after harvest was generally low, but was highest under hot conditions. Following hibernation, germination was similarly low under all three temperature/light conditions. *Carlina vulgaris* seed germination after harvest was highest under warm and hot conditions; after hibernation all seeds germinated completely under all temperature conditions. Seeds of *Erysimum crepidifolium* all germinated under warm conditions after harvest while after hibernation germination was greatly reduced. *Hypochaeris radicata* germinated highest under warm conditions after harvest and after hibernation the seeds germinated to a greater extent, but also highest under 20/10 °C. The germination of *Leontodon hispidus* seeds increased with increasing temperature after harvest, after hibernation germination was a little higher. *Prunella grandiflora* seeds germinated highest under warm and hot conditions after harvest while after hibernation germination was greatly reduced. *Pulsatilla vulgaris* seeds germinated highest under warm and hot conditions after harvest, but after hibernation germination was reduced. Very few of the *Stachys recta* seeds germinated after harvest as well as after hibernation.

The germination biology of the perennial hemicryptophytes of dry grassland communities is very different. I conclude that six species build up a transient (*Carlina vulgaris*, *Erysimum crepidifolium*) or short-term persistent (*Hypochaeris radicata*, *Leontodon hispidus*, *Prunella grandiflora*, *Pulsatilla vulgaris*) seed bank, whereas two species (*Astragalus danicus*, *Stachys recta*) belong to the long-term persistent seed bank type. This implies that a lot of dry grassland species are endangered to isolation in space and time as well as changing environmental conditions.

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

1 Einleitung

Die Xerothermrassen der Porphyrkuppenlandschaft nordwestlich von Halle (zu Klima vgl. PARTZSCH 2005) sind sehr interessante Vegetationseinheiten, da sie sich zum einen durch eine hohe Biodiversität auszeichnen, zum anderen viele Arten beherbergen, die relativ selten und deshalb meist gefährdet sind. Durch Untersuchungen zur Zusammensetzung der Diasporenbanken von Xerothermrassen konnte PARTZSCH (2005) nachweisen, dass diese vor allem unter historisch alten Rasen ausgesprochen arm an Diasporen sind und dass die meisten dieser Xerothermrassenarten vermutlich nur über eine transiente oder kurzlebige Diasporenbank verfügen. Dabei ist das Keimverhalten von Pflanzenarten sehr wichtig, da es Auskunft über deren Reproduktionsvermögen gibt (BASKIN & BASKIN 2001). Nach JORRITSMAN-WIENK et al. (2006) und JONGEJANS et al. (2006) stellt die Etablierungsphase den entscheidenden „bottleneck“ im Lebenszyklus der Pflanzen dar, welcher zum einen durch die Keimung, zum anderen durch das Überleben der Pflanzen gekennzeichnet ist. Die Umweltfaktoren, die dabei die Keimung sowohl positiv als auch negativ beeinflussen können, sind vielfältig, wobei Temperatur, Licht und Wasser die wichtigsten Faktoren sind (FENNER & THOMPSON 2005).

Es ergibt sich die Frage, ob die Seltenheit der Arten mit ungünstigen Keimungseigenschaften einhergeht. Aus diesem Grund wählten wir acht Zielarten aus, von denen *Astragalus danicus*, *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* nach der Roten Liste von Sachsen-Anhalt (FRANK et al. 2004) gefährdet bzw. stark gefährdet sind. *Carlina vulgaris*, *Erysimum crepidifolium*, *Hypochaeris radicata*, *Leontodon hispidus* und *Stachys recta* gehören zwar keiner Gefährdungskategorie an, sind aber relativ selten. Im ersten Keimversuch nach der Ernte sollten für die Arten zunächst die optimale Keimtemperatur unter Lichtwechselbedingungen sowie Zeitpunkt des Keimbegins, Keimrate und Keimgeschwindigkeit bestimmt werden. Nachdem ein Teil der Diasporen im Boden überwintert und damit einer natürlichen Stratifikation ausgesetzt worden war, konnten Fragen zur Überlebensfähigkeit, Dormanz und nach dem Diasporenbanktyp der Arten beantwortet werden.

2 Charakterisierung der Arten

Bei den acht ausgewählten Arten handelt es sich vorwiegend um langlebige Sippen, die in der Porphyrkuppenlandschaft, vornehmlich in dem dicht schließenden Filipendulo-Helictotrichetum bzw. Festuco-Brachypodietum auf Ranker bzw. Rendzina vorkommen. Die biologischen Eigenschaften der Arten (vgl. JÄGER & WERNER 2005) werden im Folgenden kurz beschrieben. Die ausbreitungsbiologischen Einheiten sowie deren Größe und Gewicht sind sehr unterschiedlich (Tab. 1).

Astragalus danicus RETZ. (Dänischer Tragant; Fabaceae): ist ein rosettenloser, ausdauernder Hemikryptophyt, der zwischen 8 und 25 cm hoch wird und zwischen Mai und Juni blüht. Er besiedelt bevorzugt kontinentale Halbtrocken- und gelegentlich Trockenrasen, vor allem auf Löss. Die kleinen schwarzen rundlichen Samen werden in rundlich-eiförmigen, aufgeblasenen Hülsen gebildet.

Carlina vulgaris L. (Gewöhnliche Golddistel; Asteraceae) ist ein mehrjähriger hapaxanther, halbrosettiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 10 und 30 cm (maximal 60 cm), der relativ spät zwischen Juli und September blüht. Die Art ist basenhold und besiedelt Halbtrockenrasen, Silikatmagerrasen, trockene bis mäßig trockene Ruderalstellen, lichte Wälder und Waldränder. Die bräunlichen Achänen sind Lichtkeimer.

Erysimum crepidifolium RCHB. (Bleicher Schöterich; Brassicaceae): ist ein hapaxanther, kurzlebiger, halbrosettiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 15 bis 80 cm, der zwischen April und Juni blüht. Er besiedelt kontinentale Silikat- und Kalkfelsfluren und -trockenrasen sowie trockene Ruderalstellen (Steinbrüche, Bahnschotter). Die länglich-eiförmigen Samen werden in Schoten gebildet.

Hypochaeris radicata L. (Gewöhnliches Ferkelkraut; Asteraceae): ist ein kurzlebiger, Ganzrosetten-Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 15 bis 60 cm, der zwischen Juni und September blüht. Die Art

besiedelt vorwiegend Felsfluren, Sandtrockenrasen, frische bis mäßig trockene Silikatmagerrasen, Parkrasen und Heiden. Sie ist kalkmeidend. Es treten unterschiedliche Fruchtformen auf, die aus Scheiben- bzw. Randblüten hervorgegangen sind.

Leontodon hispidus L. (Steifhaariger Löwenzahn; Asteraceae): ist ein ausdauernder, Ganzrosetten-Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 10 und 60 cm, der zwischen Juni und Oktober blüht. Er besiedelt bevorzugt Halbtrockenrasen aber auch frische bis feuchte Wiesen und Weiden sowie Ruderalstellen. Die Diasporen sind wahrscheinlich langlebig.

Prunella grandiflora (L.) SCHOLLER (Großblütige Braunelle; Lamiaceae): ist ein ausdauernder, rosettenloser bis halbrosettiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 10 und 30 cm, dessen Blütezeit zwischen Juni und August liegt. Er siedelt vorwiegend in Halbtrockenrasen, Trockenwaldsäumen und ist kalkhold. Die Diasporen gelten als Kältekeimer.

Pulsatilla vulgaris MILL. (Gewöhnliche Küchenschelle; Ranunculaceae): ist ein ausdauernder halbrosettiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 5 bis 50 cm, der relativ früh, zwischen April und Mai blüht. Er kommt in Kalk-, Sand- und Silikatxerothermrasen sowie in trockenen Heiden und Kiefernwäldern vor. Auch bei dieser Art sollen die Diasporen Kältekeimer sein.

Stachys recta L. (Aufrechter Ziest; Lamiaceae): ist ein ausdauernder, rosettenloser Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 20 und 60 cm, der zwischen Juni und Oktober blüht. Er siedelt in Felsfluren, Trocken- und Halbtrockenrasen, lichten Eichen- und Kiefernwäldern und an deren Rändern. Die Art ist basenhold.

Tab. 1 Diasporenmerkmale der acht Zielarten. Daten zu Gewicht und Größe aus Biolfior (OTTO 2002).

Table 1 Traits of diaspores of the eight target species. Data of weight and size follow Biolfior (OTTO 2002).

Zielart	Diasporentyp	Gewicht [TKM in g]	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]
<i>Astragalus danicus</i>	Same	1,0	1,6	1,9	0,8
<i>Carlina vulgaris</i>	Achäne (Frucht)	1,1	3,2	1,0	0,8
<i>Erysimum crepidifolium</i>	Same	0,4	1,4	0,7	0,5
<i>Hypochaeris radicata</i>	Achäne (Frucht)	1,1	6,0	0,8	0,4
<i>Leontodon hispidus</i>	Achäne (Frucht)	1,2	6,2	0,7	0,4
<i>Prunella grandiflora</i>	Klause (Frucht)	0,8	1,8	1,3	0,9
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	Nüsschen (Frucht)	2,2	4,6	0,9	0,9
<i>Stachys recta</i>	Klause (Frucht)	1,7	2,0	1,6	1,0

3 Material und Methoden

3.1 Sammlung und Versuchsansätze

Die Diasporen der acht Zielarten wurden im reifen Zustand an der Mutterpflanze geerntet. Je nach Art und Samenreife variierten die Sammeltermine zwischen Mai und Oktober der jeweiligen Erntejahre (Tab. 2). Die Orte der Aufsammlungen waren auf die Porphyrkuppenlandschaft bei Halle (Region um Brachwitz und Gimritz) begrenzt. Die Diasporenproben wurden geteilt, wobei ein Teil für den ersten Keimtest genutzt wurde, der ca. ein bis vier Wochen nach der Ernte stattfand. Bis dahin wurden die Diasporen zur Nachreife bei Zimmertemperatur trocken gelagert. Im Herbst wurde der restliche Teil der Diasporen in luftdurchlässige Säckchen verpackt, im Boden vergraben (ca. 5 cm tief) und den Witterungsbedingungen im Freiland zwischen Anfang November und Ende März ausgesetzt. So wurden die Diasporen von acht Zielarten (Tab. 2) einer natürlichen Stratifikation unterzogen.

Die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe schwankten im Winter von 2001/2002 zwischen minimal (nachts) von -5,2 bis 7,2 °C und maximal (tags) von -3,4 bis 15,3 °C, im Winter von 2004/2005 zwischen minimal

(nachts) von $-1,5$ bis $10,3^{\circ}\text{C}$ und maximal (tags) von $-0,5$ bis $13,3^{\circ}\text{C}$, im Winter von 2005/2006 zwischen minimal (nachts) von $-9,4$ bis $9,1^{\circ}\text{C}$ und maximal (tags) von $-4,5$ bis $19,4^{\circ}\text{C}$ und im Winter von 2007/2008 zwischen minimal (nachts) von $-4,5$ bis $8,6^{\circ}\text{C}$ und maximal (tags) von $-1,7$ bis $15,9^{\circ}\text{C}$

Die Klimadaten stammen von der Klimastation Halle-Seeben (schrift. Mitt. Dr. Döring; DÖRING & BORG 2008). Ende März wurden diese Diasporen ausgegraben und einem Keimversuch unterzogen.

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

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

	Sammelort	Sammeltermin	1. Ansatz	2. Ansatz
<i>Astragalus danicus</i>	Lerchenhügel	13.7.2004	30.7.2004	22.3.2005
<i>Carlina vulgaris</i>	bei Hohenthurm	3.10.2007	16.10.2007	17.3.2008
<i>Erysimum crepidifolium</i>	bei Mücheln	03.08.2001	23.8.2001	5.4.2002
<i>Hypochaeris radicata</i>	bei Gimritz	26.8.2004	30.8.2004	9.5.2005
<i>Leontodon hispidus</i>	bei Mücheln	3.9.2001	5.10.2001	26.4.2002
<i>Prunella grandiflora</i>	bei Mücheln	3.9.2001	5.10.2001	26.4.2002
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	Küsterberg	25.5.2005	30.6.2005	15.4.2006
<i>Stachys recta</i>	Küsterberg	13.7.2004	30.7.2004	9.5.2005

3.2 Untersuchungen zum Keimtemperaturoptimum

Die Untersuchungen zur Keimungsbiologie der Arten erfolgten in speziellen Keimschränken (Firma Rumat, Memmert), wobei der 1. Ansatz ca. 1 bis 4 Wochen nach der Ernte und der 2. Keimansatz nach Überwinterung im nächsten Frühjahr lag (Tab. 2). Dabei wurde jeweils ein Lichtregime von 12 Stunden Helligkeit und 12 Stunden Dunkelheit beibehalten; die Temperaturen in den verschiedenen Phasen variierten jedoch. Folgende Varianten wurden getestet: 1. 8°C bei Licht und 4°C im Dunkeln, 2. 20°C bei Licht und 10°C in der Dunkelphase sowie 3. 32°C bei Licht und 20°C in der Dunkelphase. Je Pflanzenart wurden vier Parallelproben zu jeweils 25–30 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, damit der darauf liegende Rundfilter mit den Diasporen nicht direkt in der Flüssigkeit schwimmt, sondern gleichmäßig feucht gehalten wird.

Der Verlauf der Keimung (deutlich hervortretende Radikula) wurde im zwei- bis dreitägigen Abstand kontrolliert und die gekeimten Diasporen aus der Petrischale entfernt. Die Versuche wurden über einen Zeitraum von 45 Tagen durchgeführt.

3.3 Test auf Lebensfähigkeit

Sowohl vor Beginn als auch nach Beendigung der Keimversuche 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⁺ (Nicotinamidadeninindinukleotid) abhängige Dehydrogenase reduziert. Die H⁺-Ionen werden dabei von den Zellen der Diaspore geliefert. Es entsteht das wasserunlösliche Formazan, welches zur Rotfärbung der Embryos beiträgt, die noch lebensfähig sind.

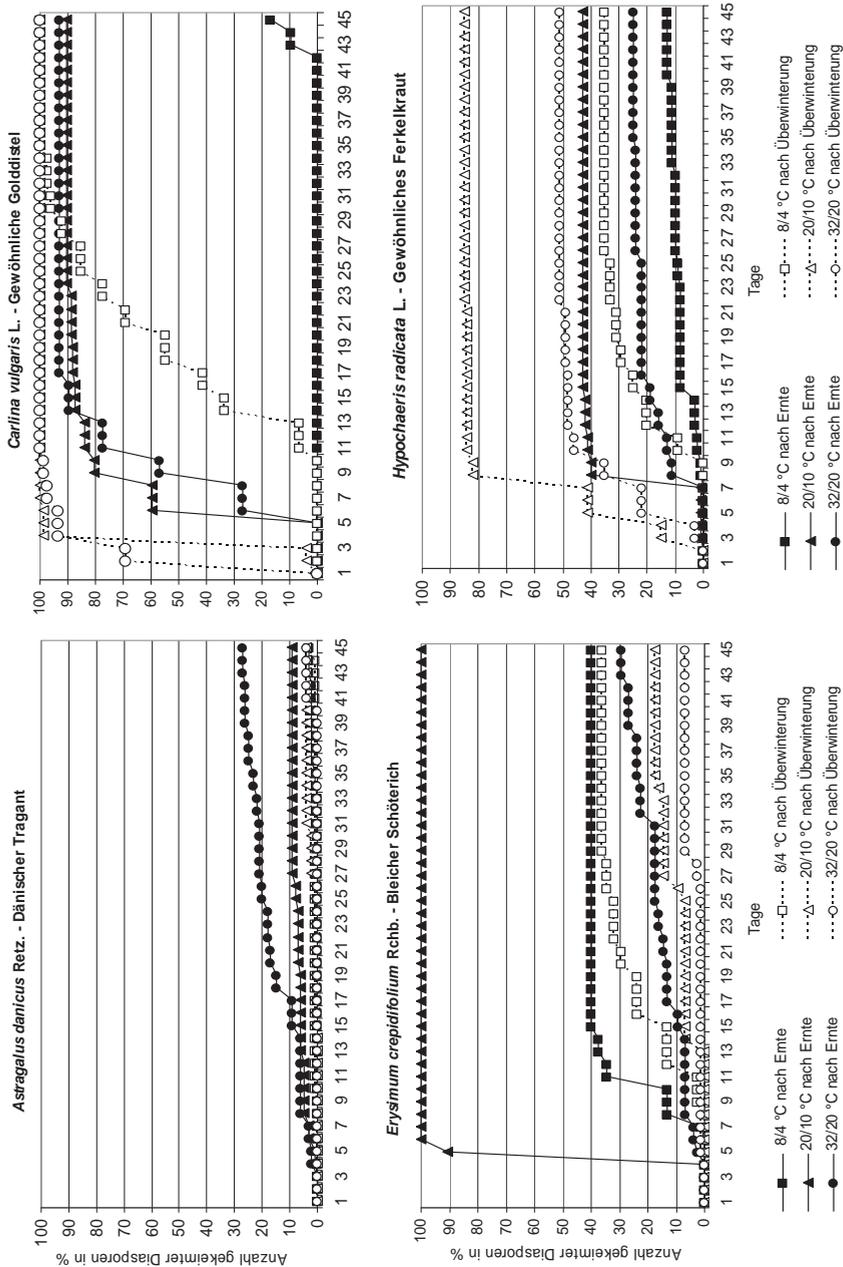


Abb. 1 Kumulativer Keimverlauf von *Astragalus danicus*, *Carlina vulgaris*, *Erysimum crepidifolium* und *Hypochaeris radicata* unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 1 Cumulative germination of *Astragalus danicus*, *Carlina vulgaris*, *Erysimum crepidifolium* and *Hypochaeris radicata* under three temperature- and light-dark-regimes after harvest and after hibernation (duration of experiment: 45 days).

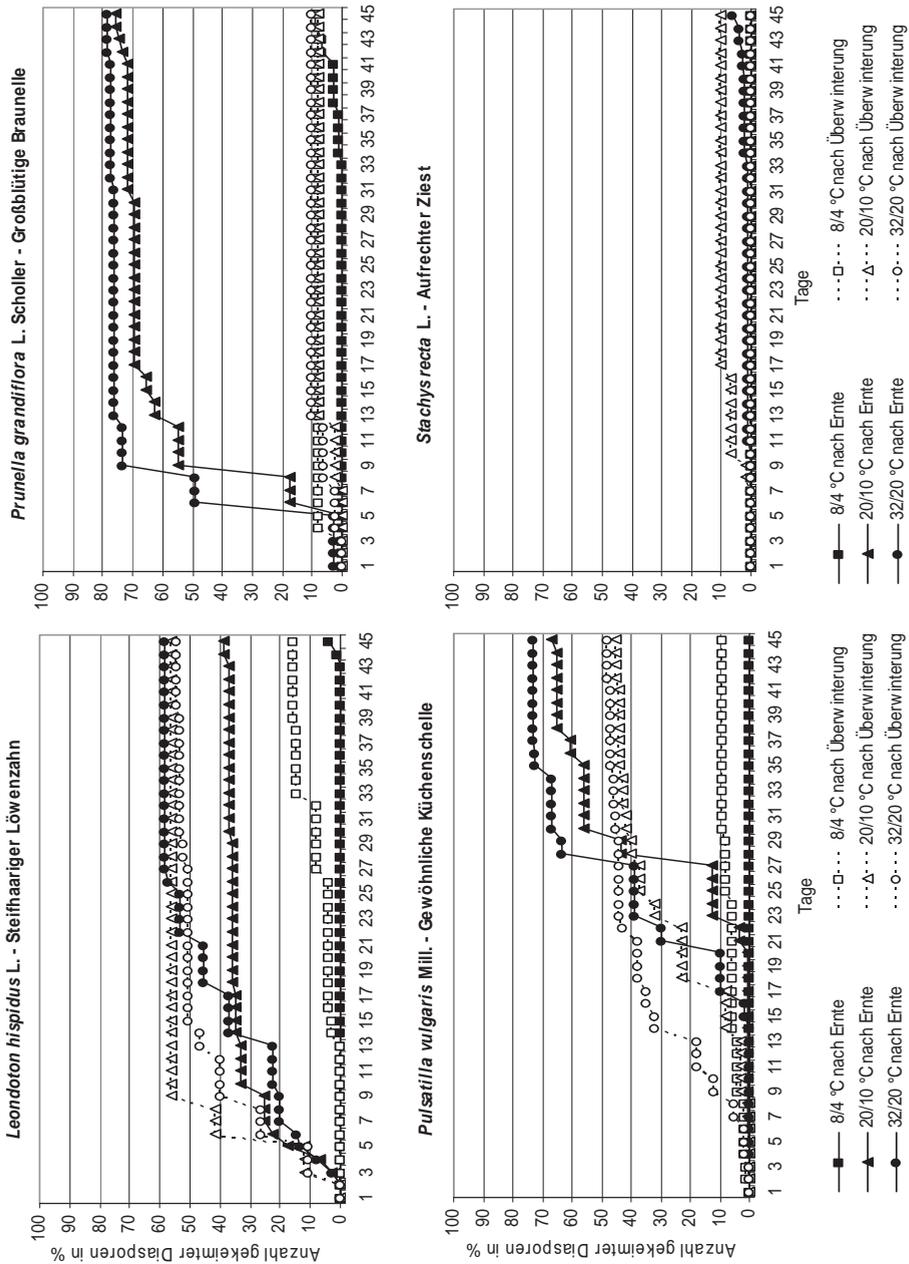


Abb. 2 Kumulativer Keimverlauf von *Leontodon hispidus*, *Prunella grandiflora*, *Pulsatilla vulgaris* und *Stachys recta* unter drei verschiedenen Temperatur- und Licht-Dunkelregimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 2 Cumulative germination of *Leontodon hispidus*, *Prunella grandiflora*, *Pulsatilla vulgaris* and *Stachys recta* under three temperature- and light-dark-regimes after harvest and after hibernation (duration of experiment: 45 days).

3.4 Berechnungsverfahren

Nach meinen Erfahrungen ist die Bewertung der Lebensfähigkeit über den TTC-Test nicht ganz zuverlässig. Aus diesem Grund wurden die Keimergebnisse immer bezogen auf die Anzahl der in den Petrischalen ausgelegten Diasporen berechnet.

Um das Keimverhalten der Arten bei den unterschiedlichen Versuchsansätzen zu vergleichen, wurde der Timson-Index, ein Wert zur Berechnung der Keimgeschwindigkeit, herangezogen (TIMSON 1965). Hierbei wurde die Anzahl der täglich gekeimten Diasporen summiert (BASKIN & BASKIN 2001). Da dieser Wert von der Versuchsdauer abhängig ist und gegebenenfalls ins Unermessliche steigen kann, folgte ich dem Vorschlag von KHAN & UNGAR (1996, 1997), einen modifizierten Timson-Index zu verwenden, bei dem die täglichen prozentualen Keimwerte addiert und durch die Anzahl der Versuchstage dividiert werden (PÉREZ-FERNÁNDEZ et al. 2006). Der modifizierte Timson-Index berücksichtigt neben der prozentualen Endkeimung auch die Keimgeschwindigkeit einer Art und kann maximal den Wert 100 erreichen.

Für die statistische Auswertung wurden die Prozentwerte und der Timson-Index arcsinus-wurzel-transformiert und mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die Homogenität der Varianzen wurde mittels Bartlett-Test geprüft, um damit die Voraussetzung für eine ANOVA zu testen. Zum Vergleich der Mittelwerte in Abhängigkeit von den verschiedenen Temperaturregimen wurde eine einfaktorielle ANOVA und der Post hoc Tukey-Test mit dem Programm WINSTAT 2003 auf dem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ durchgeführt. Um die Interaktionen zwischen den unterschiedlichen Zeiten der beiden Versuchsansätze (nach Ernte und nach Überwinterung) und den Temperaturregimen auf Signifikanz zu prüfen, wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit dem Programm SPSS 2008 durchgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Keimung nach Ernte

Astragalus danicus begann bei 32/20 °C bereits am 4. Tag mit der Keimung (Abb. 1), erreichte aber während der gesamten Versuchszeit nur eine prozentuale Endkeimung von 27 %. Diese war signifikant verschieden zu den noch geringeren Keimprozenten unter 8/4 °C und 20/10 °C (Tab. 3). Auch die entsprechenden Keimgeschwindigkeiten sind sehr niedrig und verhalten sich ähnlich. *Carlina vulgaris* keimt nach der Ernte bei höheren Temperaturen vergleichsweise gut und schnell. Die höchsten Keimprozentage von ca. 90 % erreichte die Art jeweils unter 20/10 °C und 32/20 °C. Die Keimung begann bereits am 5. Tag. Unter 8/4 °C keimten die ersten Diasporen am 11. Tag; insgesamt keimten nur ca. 18 % unter kalten Bedingungen. *Erysimum crepidifolium* war unter 20/10 °C bereits am 5. Tag zu 91 % und am 6. Tag vollständig gekeimt. Unter 8/4 °C und 32/20 °C war die Keimung signifikant niedriger und langsamer; der Keimstart war am 7. bzw. am 5. Tag. *Hypochaeris radicata* begann mit der Keimung am 3. Tag unter mittleren Bedingungen, unter kalten und heißen Bedingungen jeweils erst am 8. Tag. Unter 20/10 °C keimten bis zum Ende des Versuches 43 % und bei 32/20 °C nur 25 % der Diasporen. Der Keimstart von *Leontodon hispidus* lag bei 20/10 °C und 32/20 °C am 3. Tag, unter 8/4 °C erst am 12. Tag (Abb. 2). Zwischen den warmen und heißen Bedingungen gab es keinen signifikanten Unterschied; die prozentuale Keimung lag zwischen 39 und 60 %. Bei 8/4 °C keimten nur 4 %. Bei *Prunella grandiflora* keimten die ersten Diasporen unter 32/20 °C bereits am 1. Tag und unter 20/10 °C am 6. Tag; unter 8/4 °C verzögerte sich der Keimstart auf den 34. Tag. Unter den warmen und heißen Bedingungen waren zu Versuchsende jeweils 76 % gekeimt, unter 8/4 °C weniger als 10 %. Während *Pulsatilla vulgaris* unter kalten Bedingungen gar nicht keimte, keimte die Art unter warmen und heißen Bedingungen nahezu gleich zu 68 bzw. 73 %, wobei die Keimung unter den höheren Temperaturen schneller verlief. *Stachys recta* keimte von allen Arten am schlechtesten, d. h. unter 8/4 °C und 20/10 °C gar nicht, unter 32/20 °C nur zu 4 %.

4.2 Keimung nach Überwinterung

Nach Überwinterung wies *Astragalus danicus* geringere Keimprozentage auf, wobei die verschiedenen Temperatur- und Lichtverhältnisse keinen signifikanten Unterschied ergaben (Tab. 4). Die Keimung begann

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

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

Nach Ernte	8 °C/4 °C	20 °C/10 °C	32 °C/20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Astragalus danicus</i>					
Endkeimung	3,00 a	9,00 ab	27,00 b	5,209	0,031
Timson-Index	0,56 a	6,60 ab	15,38 b	6,732	0,016
<i>Carlina vulgaris</i>					
Endkeimung	16,88 a	90,63 b	93,13 b	24,540	0,0002
Timson-Index	0,79 a	77,03 b	75,46 b	214,855	< 0,0001
<i>Erysimum crepidifolium</i>					
Endkeimung	40,00 a	100,00 b	29,33 a	46,889	0,0002
Timson-Index	31,67 a	90,90 b	14,90 a	42,193	0,0003
<i>Hypochaeris radicata</i>					
Endkeimung	13,00 a	43,00 b	25,00 a	13,535	0,0020
Timson-Index	7,33 a	36,13 c	18,42 b	19,924	0,0005
<i>Leontodon hispidus</i>					
Endkeimung	4,00 a	38,67 b	58,67 b	17,843	0,0030
Timson-Index	0,00 a	31,76 b	42,34 b	18,990	0,0025
<i>Prunella grandiflora</i>					
Endkeimung	9,33 a	76,00 b	76,00 b	63,875	< 0,0001
Timson-Index	1,07 a	57,54 b	63,70 b	344,313	< 0,0001
<i>Pulsatilla vulgaris</i>					
Endkeimung	0,00 a	67,50 b	73,33 b	19,717	0,0005
Timson-Index	0,00 a	25,50 b	34,76 b	133,901	< 0,0001
<i>Stachys recta</i>					
Endkeimung	0,00 a	0,00 a	4,00 b	8,016	0,0100
Timson-Index	0,00	0,00	1,22	3,396	n.s.

zuerst am 5. Tag bei 8/4 °C, am 10. Tag bei 20/10 °C und am 41. Tag bei 32/20 °C (Abb. 2). Demgegenüber begann *Carlina vulgaris* mit der Keimung nach Überwinterung deutlich früher als nach der Ernte; unter 32/20 °C bereits am 1., unter 20/10 °C am 2. und unter 8/4 °C am 11. Tag. Die Art keimte vollständig, allerdings mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, unter allen Versuchsbedingungen innerhalb von 35 Tagen aus. Bei *Erysimum crepidifolium* war die Keimung verzögert. Sie setzte unter 32/20 °C am 5., unter 8/4 °C am 9. und unter 20/10 °C am 14. Tag ein. Nur unter kalten Bedingungen erreichte die Art ähnliche Keimprozentage (36 %) wie nach der Ernte; unter warmen und heißen Bedingungen keimte sie deutlich schlechter. Nach Überwinterung begann *Hypochaeris radicata* früher mit der Keimung; unter 20/10 °C und 32/20 °C am 3. Tag und unter 8/4 °C am 10. Tag und erreichte unter allen Temperaturbedingungen vergleichsweise höhere Keimprozentage als nach der Ernte; unter 20/10 °C sogar 85 %. Bei *Leontodon hispidus* gab es keine Unterschiede beim Keimstart nach Ernte bzw. nach Überwinterung (Abb. 2). Die prozentuale Endkeimung lag unter 20/10 °C und 32/20 °C nahezu genauso hoch wie bei 32/20 °C nach der Ernte. Generell war die

Keimgeschwindigkeit höher, auch unter 8/4 °C. Auch *Prunella grandiflora* begann mit der Keimung bereits am 3. Tag wie nach der Ernte. Die prozentuale Keimung war jedoch stark reduziert und lag bei ca. 10%. Bei *Pulsatilla vulgaris* führte jedoch die natürliche Stratifikation dazu, dass die ersten Diasporen unter 8/4 °C schon am 2. und unter 32/20 °C am 4. Tag keimten. Trotz früh einsetzender Keimung wurden deutlich niedere Keimprozente am Versuchsende erreicht. Nur unter 8/4 °C, wobei die Keimung erst am 9. Tag einsetzte, lag die Endkeimung etwas höher (8%) als nach der Ernte. Bei *Stachys recta* führte die Überwinterung nur unter 20/10 °C zu einer geringfügigen Erhöhung der Keimung auf 10%.

4.3 Vergleich der Keimung nach Ernte und nach Überwinterung

Mit Hilfe der Interaktionsplots (Abb. 3) lassen sich die Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Keimansatzes (nach Ernte bzw. nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen ver-

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

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

Nach Überwinterung	8 °C/4 °C	20 °C/10 °C	32 °C/20 °C	ANOVA	
				F-Wert	P-Wert
<i>Astragalus danicus</i>					
Endkeimung	3,00	4,00	2,00	0,329	n.s.
Timson-Index	0,84	1,78	1,00	0,556	n.s.
<i>Carlina vulgaris</i>					
Endkeimung	100,00	100,00	100,00	0	n.s.
Timson-Index	58,90 a	93,42 b	95,79 b	466,838	<0,0001
<i>Erysimum crepidifolium</i>					
Endkeimung	36,00 a	17,33 ab	6,67 b	9,284	0,015
Timson-Index	23,56 a	8,86 ab	3,29 b	10,770	0,010
<i>Hypochaeris radicata</i>					
Endkeimung	35,00 a	85,00 b	51,00 ab	8084,000	0,010
Timson-Index	24,69 a	74,78 b	43,18 ab	10260,000	0,005
<i>Leontodon hispidus</i>					
Endkeimung	16,00 a	56,00 b	54,67 b	10,708	0,011
Timson-Index	6,25 a	49,60 b	44,21 b	189,904	0,003
<i>Prunella grandiflora</i>					
Endkeimung	6,67	8,00	10,67	1,295	n.s.
Timson-Index	6,10	6,16	8,74	1,142	n.s.
<i>Pulsatilla vulgaris</i>					
Endkeimung	8,00 a	45,00 b	48,00 b	19,718	<0,0001
Timson-Index	5,29 a	24,84 b	32,89 b	19,878	0,0005
<i>Stachys recta</i>					
Endkeimung	0,00 a	10,00 b	0,00 a	63,296	<0,0001
Timson-Index	0,00 a	7,56 b	0,00 a	43,297	0,0003

deutlichen. Wenn es keine signifikanten Interaktionen gibt, verlaufen die Linien im Plot parallel. Dies ist bei *Leontodon hispidus* der Fall, bei der die zweifaktorielle ANOVA (Tab. 5) keine signifikanten Unterschiede ergab, d. h. dass bei dieser Art die Keimung nach der Ernte und nach Überwinterung nahezu gleichartig verlief. Ähnliches zeigt sich bei *Hypochaeris radicata*, die keine signifikanten Interaktionen beim Timson-Index (nicht als Interaktionsplots dargestellt) aufwies. Bei der Endkeimung ergab sich jedoch eine signifikant höhere Keimung nach Überwinterung (Tab. 5). Ähnliches ergab sich auch für *Stachys recta*, obwohl die Keimung bei dieser Art generell sehr niedrig war. Bei allen anderen Arten ergaben sich signifikante Interaktionen sowohl für die Endkeimung als auch für die Keimgeschwindigkeit, die zum einen bei *Carlina vulgaris* zu einer Förderung der Keimung unter allen Temperatur-Licht-Bedingungen nach Überwinterung, zum anderen bei *Astragalus danicus*, *Erysimum crepidifolium*, *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* zu einer Verringerung der Keimung führte.

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

Table 5 Interaction between the time of experiments (after harvest and after hibernation) and the different temperatur-light-regimes on the percentage of final germination and the Timson-Index. The arcsinus square root transformed data were calculated by two factorial ANOVA (n.s. = not significant).

	df	mittlere Quadratsumme	F-Wert	P-Wert
<i>Astragalus danicus</i>				
Endkeimung	2	0,1039	4,1749	0,0324
Timson-Index	2	0,0556	4,6371	0,0238
<i>Carlina vulgaris</i>				
Endkeimung	2	0,5381	17,5283	<0,001
Timson-Index	2	0,1622	42,1365	<0,0001
<i>Erysimum crepidifolium</i>				
Endkeimung	2	0,4928	31,4414	<0,0001
Timson-Index	2	0,3371	30,2086	<0,0001
<i>Hypochaeris radicata</i>				
Endkeimung	2	0,1028	4,4495	0,0269
Timson-Index	2	0,0162	0,8924	n.s.
<i>Leontodon hispidus</i>				
Endkeimung	2	0,0335	1,6863	n.s.
Timson-Index	2	0,0217	1,6678	n.s.
<i>Prunella grandiflora</i>				
Endkeimung	2	0,2563	41,5047	<0,0001
Timson-Index	2	0,2985	136,9164	<0,0001
<i>Pulsatilla vulgaris</i>				
Endkeimung	2	0,1639	14,2727	<0,001
Timson-Index	2	0,0295	4,5676	0,025
<i>Stachys recta</i>				
Endkeimung	2	0,0974	27,5956	<0,0001
Timson-Index	2	0,0543	25,0339	<0,0001

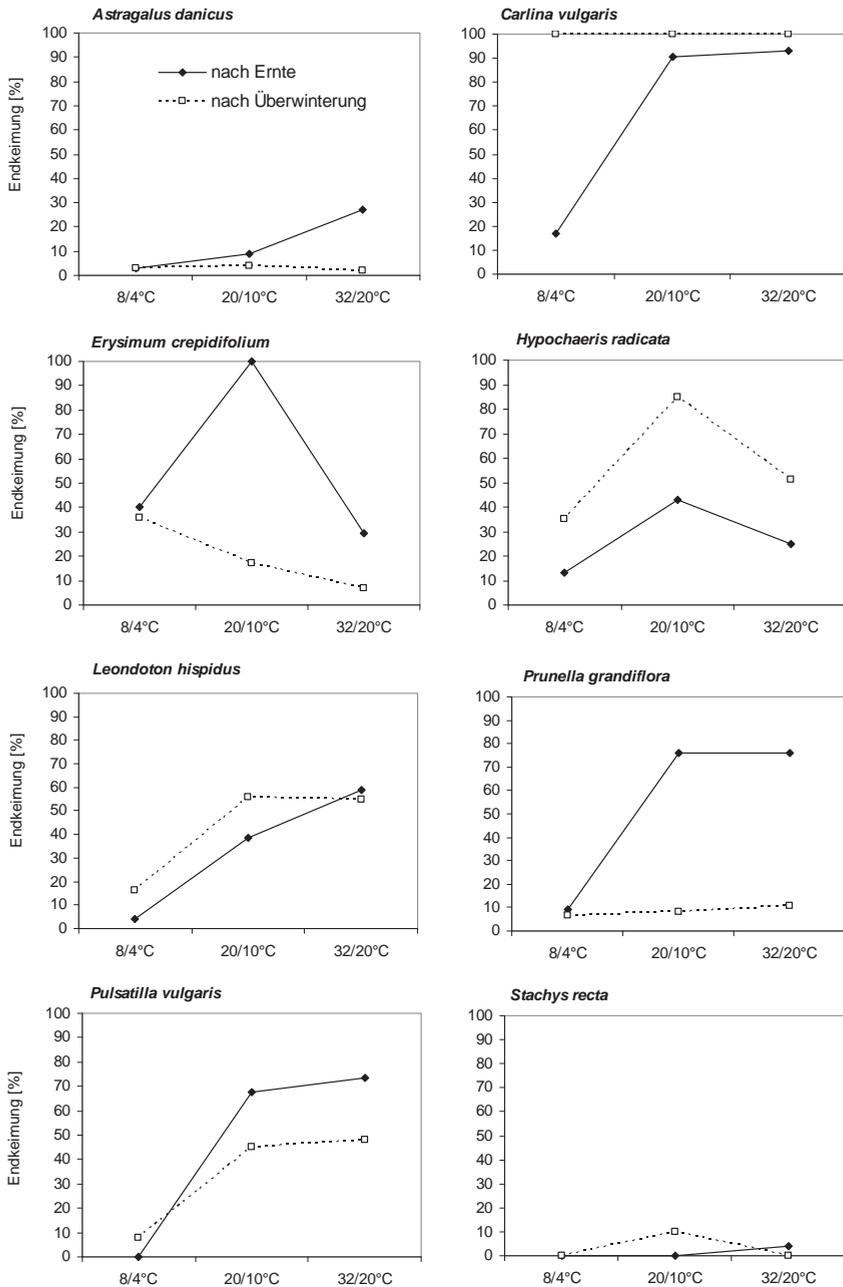


Abb. 3 Interaktionsplots der Endkeimung der acht Zielarten zur Darstellung der Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Keimansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den drei verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen.

Fig. 3 Interactionplots of the final germination of the eight target species to show the interactions between the time of the experiment (after harvest and after hibernation) and den three different temperature-light-regime.

4.4 Lebensfähigkeit

Die Lebensfähigkeit der Diasporen war bei den meisten hier untersuchten Arten sehr hoch und lag nach der Ernte zwischen 91 und 100 %, nur bei *Hypochaeris radicata* und *Prunella grandiflora* lag sie zwischen 76 und 79 %. Bei *Astragalus danicus* und *Carlina vulgaris* waren nach beiden Keimversuchen nahezu alle nicht gekeimten Diasporen noch keimfähig. Dies galt auch für *Pulsatilla vulgaris* bei niederen und mittleren Temperaturbedingungen, bei hohen verpilzten die verbleibenden Diasporen jedoch stark. Bei *Erysimum crepidifolium* nahm die Lebensfähigkeit der nicht gekeimten Diasporen nach Überwinterung stark ab. Dies galt auch für *Hypochaeris radicata*, *Leontodon hispidus*, *Prunella grandiflora* und *Stachys recta*. Die Arten verpilzten während der Versuchsdauer von 45 Tagen stark. Außerdem war zu beobachten, dass der Grad der Verpilzung mit der Temperatur zunahm.

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

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

	Lebensfähigkeit nach Ernte	Lebensfähigkeit nach 1. Keimversuch			Lebensfähigkeit nach 2. Keimversuch		
		8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C	8/4 °C	20/10 °C	32/20 °C
<i>Astragalus danicus</i>	99	78	83	69	93	95	96
<i>Carlina vulgaris</i>	100	71	-	-	-	-	-
<i>Erysimum crepidifolium</i>	100	57	-	37,3	0	2,7	5,3
<i>Hypochaeris radicata</i>	76	60	10	7	13	2	1
<i>Leontodon hispidus</i>	94	34	0	0	0	0	0
<i>Prunella grandiflora</i>	79	71	2	3	4	2	0
<i>Pulsatilla vulgaris</i>	100	100	28	5	66	20	1
<i>Stachys recta</i>	91	81	70	64	87	78	65

5 Diskussion

Untersuchungen, die unter standardisierten Bedingungen gemacht worden sind, weisen immer das Problem auf, dass die Ergebnisse nicht die komplexen Verhältnisse im Freiland widerspiegeln und deshalb weniger aussagekräftig sind. GRIME et al. (1981) führten jedoch nach vergleichenden Untersuchungen zum Keimverhalten an 403 Pflanzenarten aus, dass die im Labor gewonnenen Ergebnisse durchaus geeignet waren, Schlussfolgerungen auf die generativen Mechanismen der Pflanzenarten im Freiland zu ziehen.

Die acht untersuchten ausdauernden Xerothermrasenarten reagierten auf die verschiedenen Temperatur- und Lichtwechsel-Bedingungen sowohl im Jahr der Ernte als auch nach Überwinterung sehr unterschiedlich. Da die meisten Arten wenige Tage nach dem Versuchsansatz mit der Keimung begannen, lag keine vollständige Dormanz (selbst bei den schlecht keimenden Arten keimte ein bestimmter Anteil von Diasporen nach 4 bis 8 Tagen) nach der Ernte vor, obwohl nach BASKIN & BASKIN (2001) die physiologische Dormanz bei Arten von Trockenstandorten verbreitet sein soll. Allerdings weisen beide Autoren explizit darauf hin, dass *Carlina vulgaris*, wie auch in dieser Arbeit gezeigt, keine Dormanz besitzt. Für die anderen untersuchten Arten gibt es allerdings keine Angaben.

Die optimalen Keimungsbedingungen lagen im warmen Bereich bei 20/10°C, wobei für *Erysimum crepidifolium* und *Hypochaeris radicata* eine Erhöhung der Temperatur zu einer starken Reduzierung der Keimantwort führte. Demgegenüber führte eine Temperaturerhöhung auf 32/20°C bei *Carlina vulgaris*, *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* zu einer leicht erhöhten bzw. gleich bleibend hohen prozentualen Endkeimung. Nur *Astragalus danicus*, *Leontodon hispidus* und *Stachys recta* zeigten bei 32/20°C signifikant höchste Keimwerte. Die eigenen Ergebnisse sind vergleichbar mit denen von MORGAN (1998), der in einer ähnlichen Studie zum Keimverhalten von 28 Graslandarten der temperaten Zone feststellte, dass die bevorzugte Keimtemperatur bei 20/10°C lag. Die meisten Arten begannen auch hier nach wenigen Tagen zu keimen und wiesen eine moderate Keimgeschwindigkeit auf. Nach GRIME et al. (2007) keimten von *Carlina vulgaris* und *Hypochaeris radicata* 50% der Diasporen schon innerhalb der ersten drei Tage; der Temperaturbereich lag zwischen 8 und 30°C bzw. zwischen 11 und 30°C. *Leontodon hispidus* keimte zur Hälfte innerhalb von vier Tagen, die Keimung fand im Temperaturbereich zwischen 12 und 32°C statt. Auch BASKIN & BASKIN (2001) gaben für *Carlina vulgaris* optimale Keimbedingungen von 22/12°C sowie für *Hypochaeris radicata* von 20/15°C an, die den hier getesteten Bedingungen sehr ähnlich waren. Ähnliche Keimoptima konnte PARTZSCH (2008) für *Calluna vulgaris*, *Filipendula vulgaris*, *Jurinea cyanoides* und *Seseli hippomarathrum*, die ebenfalls in der Xerothermrassenvegetation der Porphyrkuppenlandschaft nahe Halle vorkommen, nachweisen. Das Verhalten von *Astragalus danicus*, *Leontodon hispidus* und *Stachys recta* zeigte eher Ähnlichkeit mit den Arten der Trockensteppe Zentralasiens, die am besten unter heißen Bedingungen (32/20°C) keimten (WESCHE et al. 2006). Meist keimten die Arten der Trockensteppen aber nahezu vollständig in kurzer Zeit aus. Dies trifft aber nicht für *Astragalus danicus* und *Stachys recta* zu, die eher eine Langzeitstrategie bei der Keimung verfolgten.

PONS (1991) stellte fest, dass verschiedene Graslandarten (*Arenaria serpyllifolia*, *Linum catharticum*, *Daucus carota*, *Scabiosa columbaria*, *Plantago lanceolata*, *P. media*, *Rhinanthus minor*, *R. alectorolophus*) einen saisonalen Wechsel in der Dormanz mit höchsten Keimraten im Frühling und niedrigsten im Herbst aufwiesen. In den hier vorgestellten Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass nur *Carlina vulgaris* und *Hypochaeris radicata* nach Überwinterung im nächsten Frühjahr deutlich besser keimten, wobei *Carlina vulgaris* sogar dann unter 8/4°C vollständig auskeimte. Dies galt auch für *Stachys recta*, obwohl bei dieser Art generell sehr wenige Diasporen unter allen Bedingungen keimten. Eine solche Strategie, bei der die Arten höhere Keimerfolge im nachfolgenden Frühjahr erzielten, konnte PARTZSCH (2009) für eine Reihe von ephemeren Xerothermrassenarten mit sowohl sommerannueller als auch einjährig überwinternder bzw. ausschließlich sommerannueller Lebensdauer nachweisen.

Demgegenüber fiel die Keimantwort von *Astragalus danicus*, *Erysimum crepidifolium*, *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* nach Überwinterung deutlich niedriger aus. Der Test auf Lebensfähigkeit nach Ende des Keimversuches im Frühjahr ließ jedoch vermuten, dass die nicht gekeimten Diasporen nicht einer Dormanz unterlagen, sondern diese nicht mehr lebensfähig waren. Eine Ausnahme bildeten jedoch *Astragalus danicus* und *Stachys recta*, deren Samen trotz geringer Keimung noch zu großen Teilen lebensfähig waren. Allerdings zeigte sich bei *Stachys recta*, dass die Klausen im feuchten Milieu bei höheren Temperaturen stärker verpilzten, was auch im Freiland zu einem Verlust an Diasporen führen kann.

Aus dem Keimverhalten sowie der Lebensfähigkeit können Rückschlüsse auf den Diasporenbanktyp der Arten gezogen werden. THOMPSON et al. (1997) geben dafür vier verschiedene Typen an. Bei einer transienten Diasporenbank sind die Diasporen weniger als ein Jahr im Boden lebensfähig, bei einem short-term persistenten Typ überdauern die Diasporen mehr als ein und weniger als fünf Jahre und bei einem long-term persistenten Typ mehr als fünf Jahre im Boden. Daneben gibt es noch Angaben, wenn die Zuordnung zu einem Typ unklar ist.

Obwohl für *Astragalus danicus* keine Angaben in der Datenbank von THOMPSON et al. (1997) zu finden waren, würde ich diese Art dem long-term persistenten Diasporenbanktyp zuweisen. Ebenso gab es keine Angaben für *Erysimum crepidifolium*, die aber schon nach der Ernte unter optimalen Bedingungen vollständig auskeimte und somit eher dem transienten Diasporenbanktyp entspricht. Für die übrigen Arten gab die Datenbank von THOMPSON et al. (1997) sogar Mehrfachnennungen an. So wurden für den Diasporenbanktyp von *Carlina vulgaris* 6 x transient, 1 x short-term persistent und 1 x unklar angegeben. Die

hier vorgestellten Ergebnisse sprechen für einen transienten Diasporenbanktyp. Für *Hypochaeris radicata* waren folgende Angaben im THOMPSON et al. (1997) zu finden: 13 x transient, 5 x short-term persistent, 1 x long-term persistent, 4 x unklar und für *Leontodon hispidus*: 11 x transient, 6 x short-term persistent, 1 x long-term persistent, 7 x unklar. Beide Arten bewerte ich als short-term persistent. Für *Prunella grandiflora* (THOMPSON et al. 1997: 2 x transient, 1 x short-term persistent, 1 x unklar) und *Pulsatilla vulgaris* (THOMPSON et al. 1997: 2 x transient) war die Zuordnung nicht ganz eindeutig; hier könnte sowohl ein transients als auch ein short-term persistenter Diasporenbanktyp vorliegen. WELLS & BARLING (1971) führten aus, dass die Nüsschen von *Pulsatilla vulgaris* nicht länger als 2 ½ Jahre im Boden lebensfähig bleiben. Bei *Stachys recta* (THOMPSON et al. 1997: 2 x transient) vermute ich eher einen long-term persistenten Diasporenbanktyp.

Die Angaben, dass *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* Kältekeimer sind (JÄGER & WERNER 2005), konnte ich mit meinen Untersuchungen nicht bestätigen.

Nach POSCHLOD (1993) und PARTZSCH (2005) ist die Kenntnis des Diasporenbanktyps vor allem im Bezug auf den Erhalt bzw. die Renaturierung von wertvollen und artenreichen Xerothermrassen sehr wichtig. So sind Arten, die eine langlebige Diasporenbank (z. B. *Astragalus danicus*, *Stachys recta*) aufbauen weniger empfindlich gegenüber räumlicher und zeitlicher Isolation als Arten mit einer kurzlebigen Diasporenbank (*Carlina vulgaris*, *Erysimum crepidifolium*, *Hypochaeris radicata*, *Leontodon hispidus*, *Prunella grandiflora*, *Pulsatilla vulgaris*). Dies könnte durchaus ein Grund für die Seltenheit dieser Arten sein.

6 Zusammenfassung

PARTZSCH, M.: Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrassenarten - Teil 1. – Hercynia N.F. 42 (2009): 239–254.

Die Keimung gehört zu den sensibelsten Prozessen im Lebenszyklus der Pflanze. Mit den hier vorgestellten Untersuchungen sollte geprüft werden, unter welchen Temperatur- und Licht-Bedingungen eine optimale Keimung von typischen Xerothermrassenarten erfolgt, die unter den klimatischen Bedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes um Halle (Saale) siedeln. Dazu wurden die folgenden acht Zielarten ausgewählt: *Astragalus danicus*, *Carlina vulgaris*, *Erysimum crepidifolium*, *Hypochaeris radicata*, *Leontodon hispidus*, *Prunella grandiflora*, *Pulsatilla vulgaris* und *Stachys recta*.

Die Diasporen wurden im reifen Zustand geerntet, ein Teil wurde für den ersten Keimversuch im Erntejahr verwendet, der andere Teil wurde im Herbst im Boden vergraben und durch Überwinterung einer natürlichen Stratifikation unterzogen. Im Frühjahr des folgenden Jahres wurden die Diasporen erneut einem Keimversuch unterzogen. Die Keimversuche wurden bei kalten (8/4 °C), warmen (20/10 °C) und heißen (32/20 °C) Bedingungen unter Licht-Dunkel-Wechsel (12h : 12h) durchgeführt. Vor und jeweils nach den beiden Keimversuchen wurden die Diasporen auf Lebensfähigkeit getestet.

Zunächst konnte festgestellt werden, dass bei den Arten keine vollständige Dormanz vorlag, da alle Arten unter bestimmten Bedingungen bereits in der ersten Woche mit der Keimung begannen. Selbst bei *Stachys recta*, die sowohl im Ernte- als auch im darauf folgenden Jahr nur sehr gering keimte, lief die erste Diaspore am 8. Tag auf. Die optimalen Keimungsbedingungen lagen im warmen Bereich, wobei für *Erysimum crepidifolium* und *Hypochaeris radicata* eine Erhöhung der Temperatur zu einer starken Reduzierung der Keimantwort, bei *Carlina vulgaris*, *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* jedoch zu einer leicht erhöhten bzw. gleich bleibend hohen prozentualen Endkeimung führte. Nur *Astragalus danicus*, *Leontodon hispidus* und *Stachys recta* keimten bei 32/20 °C signifikant am besten.

Aus dem Keimverhalten und der Lebensfähigkeit wurde auf den Diasporenbanktyp der Arten geschlussfolgert. Danach werden *Carlina vulgaris* und *Erysimum crepidifolium* dem transienten, *Hypochaeris radicata* und *Leontodon hispidus* dem short-term persistenten sowie *Astragalus danicus* und *Stachys recta* dem long-term persistenten Diasporenbanktyp zugeordnet. Bei *Prunella grandiflora* und *Pulsatilla vulgaris* ist die Zuordnung nicht ganz eindeutig, es könnte sowohl der transiente als auch der short-term per-

sistente Typ sein. Die Kenntnis des Diasporenbanktyps ist wichtig für den Erhalt bzw. die Renaturierung von artenreichen Xerothermrassenstandorten.

7 Danksagung

Für die artenschutzrechtliche Genehmigung zur Ernte der Diasporen bedanke ich mich herzlich beim Referat für Naturschutz und Landschaftspflege des Landesverwaltungsamtes Sachsen-Anhalt in Halle, Herrn Dr. Jentzsch. Frau Christine Voigt sei herzlich für die Unterstützung bei der Durchführung der Keimversuche gedankt. Bei der Firma DOW Olefinverbund GmbH, möchte ich mich ganz herzlich für die finanzielle Unterstützung meiner naturschutzrelevanten Forschung in der Region um Halle bedanken. Frau Prof. Isabell Hensen und Herrn Dr. Anselm Krumbiegel sowie den beiden anonymen Gutachtern sei für die kritische Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

8 Literatur

- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. (2001): Seeds - Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. – Academic Press Chapman & Hall, London.
- 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.
- FRANK, D.; HERDAM, H.; JAGE, H.; JOHN, H.; KISON; H.-U.; KORSCH, H.; STOLLE, J. (2004): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen des Landes Sachsen-Anhalt. – Ber. Landesamtes f. Umweltschutz Sachsen-Anh. 39: 91–110.
- GRIME, J.P.; MASON, G.; CURTIS, A.V.; RODMAN, J.; BAND, S.R.; MOWFORTH, M.A.G.; NEAL, A.M.; SHAW, S. (1981): A comparative study of germination characteristics in a local flora. – *J. Ecol.* 69: 1017–1059.
- GRIME, J.P.; HODGSON, J.G.; HUNT, R. (2007): Comparative plant ecology. A functional approach to common British species. – Castlepoint Press, Colvend.
- HENDRY, G. A.; GRIME, J. P. (1993): Methods in Comparative Plant Ecology. – Chapman & Hall, London.
- JÄGER, E. J.; WERNER, K. (eds.) (2005): Exkursionsflora von Deutschland, begründet von W. ROTHMALER. Bd. 4. Gefäßpflanzen: Kritischer Band. – Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, München.
- JONGEJANS, E.; SOONS, M.B.; DE KROON, H. (2006): Bottlenecks and spatiotemporal variation in the sexual reproduction pathway of perennial meadow plants. – *Basic and Appl. Ecol.* 7: 71–81.
- JORRITSMA-WIENK, L. D.; AMELOOT, E.; LENSSEN, J.P.M.; DE KROON, H. (2006): Differential responses of germination and seedling establishment in populations of *Tragopogon pratensis* (Asteraceae). – *Plant Biol.* 9: 109–115.
- KHAN, M.A.; UNGAR, I.A. (1996): Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex Boiss. – *Annals of Botany* 78: 547–551.
- KHAN, M.A.; UNGAR, I.A. (1997): Alleviation of seed dormancy on the desert forb *Zygophyllum simplex* L. from Pakistan. – *Annals of Botany* 80: 395–400.
- 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. f. Veg.kde 38: 177–196.
- PARTZSCH, M. (2005): Das reproduktive Potential der Diasporenbanken unterschiedlicher Pflanzengesellschaften xerothermer Standorte. – *Tuexenia* 25: 341–355.
- 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. (2009): Zur Keimungsbiologie acht ausgewählter ephemerer Xerothermrassenarten. – *Hercynia N.F.* 42: 93–110.
- 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.
- PONS, T.L. (1991): Dormancy, germination and mortality of seeds in a chalk-grassland flora. – *J. Ecol.* 79: 765–780.
- POSCHLOD, P. (1993): Die Dauerhaftigkeit von generativen Diasporenbanken in Böden am Beispiel von Kalkmagerasennpflanzen und deren Bedeutung für den botanischen Arten- und Biotopschutz. – *Verh. Ges. Ökologie* 22: 229–240.

- THOMPSON, K.; BAKKER, J. P.; BEKKER, R. M. (1997): The soil seed banks of north west Europe: methodology, density and longevity. – University Press, Cambridge.
- TIMSON, J. (1965): New method of recording germination data. – *Nature* **207**: 216–217.
- WELLS, T.C.E.; BARLING, D.M. (1971): *Pulsatilla vulgaris* Mill. (*Anemone vulgaris* L.). – *J. Ecol.* **59**: 275–292.
- WESCHE, K.; PIETSCH, M.; RONNENBERG, K.; UNDRACH, R.; HENSEN, I. (2006): Germination of fresh and frost-treated seeds from dry Central Asian steppes. – *Seed Science Research* **16**: 123–136.

Manuskript angenommen: 8. Oktober 2009

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