

Zur Keimungsbiologie von zwölf ausgewählten Ruderal-, Wiesen- und Xerothermrassenarten - Teil 5: Apiaceae

Monika PARTZSCH

4 Abbildungen und 7 Tabellen

Abstract

PARTZSCH, M.: Germination biology of twelve ruderal, meadow and xerothermic grassland species - Part 5: Apiaceae. - *Hercynia N. F.* 45 (2012): 173 – 192.

With the present study the series on investigation of germination biology of species from xerothermic and mesothermic grasslands and ruderal influenced habitats should be proceeding because germination is very important for establishment of species and the knowledge of this process is necessary to evaluate the success of restoration of species rich grasslands especially after disturbance. The following twelve species of the family Apiaceae were investigated: *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa*, *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum*, *Torilis japonica*.

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 diaspores 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. Diaspore viability was tested before and after the experiments.

The results show, that *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium* and *Pastinaca sativa* germinated not or very low, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum* and *S. hippomarathrum* germinated between 30 and 50% and *Daucus carota*, *Peucedanum oreoselinum* and *Torilis japonica* germinated with ca. 70% in the year of harvest. *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum* and *S. hippomarathrum* showed optimal germination under warm conditions, and *Daucus carota* and *Torilis japonica* under hot conditions. Germination strongly increased in *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* and *Torilis japonica* in a broad temperature range after hibernation, especially under cold conditions. This suggests a morphological or morpho-physiological dormancy. It seems that the other species have a much deeper dormancy because the germination was not promoted after hibernation. In general, the natural cold-stratification accelerated germination.

Concerning the seed bank type, *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* and *Torilis japonica* belong to the short-term persistent type and the other species to the long-term persistent type. Clear relations between life history and habitat preference and the germination behaviour of the species were not found.

Results suggest that it needs long-term investigation for evaluation of restoration success on grasslands by the use of species of the family Apiaceae.

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

1 Einleitung

Ein wichtiges Ziel für Landschaftsökologen ist gegenwärtig, dem Verlust von Biodiversität entgegenzuwirken bzw. ihn zu stoppen. In vielen ehemals artenreichen Landschaftenerfolgendeshalb verschiedene experimentelle Ansätze, wie Diasporenaddition (TURNBULL et al. 2000, MÜNZBERGOVÁ 2004, ZEITER et

al. 2006, WAHL & PARTZSCH 2008) bzw. Übertragung von Mähgut, das aus noch artenreichen Beständen stammt, um verarmte Flächen zu renaturieren (HANSSON & FOLGEFORS 2000, MANN & TISCHEW 2010). Andererseits werden für die Untersuchung von ökosystemaren Prozessen künstliche Pflanzengesellschaften angesät (STEIN et al. 2008, MARQUARD et al. 2009). Bei diesen experimentellen Ansätzen ist es wichtig, die erfolgreiche Etablierung der Arten zu bewerten, wofür die Kenntnis des Keimverhaltens der Pflanzenarten von essentieller Bedeutung ist (WAGNER et al. 2011).

Generell gehört die Keimung zu den wichtigsten Prozessen im Lebenszyklus einer Pflanze und ist Voraussetzung für das Überleben einer Art. Sie wird von einer Vielzahl von Umweltfaktoren sowohl positiv als auch negativ beeinflusst (FENNER & THOMPSON 2005). Die wichtigsten Faktoren sind Temperatur, Licht und Wasser (BASKIN & BASKIN 2001). Häufig ist die Keimung speziell auf die klimatischen Bedingungen abgestimmt und wird bei temporär ungünstigen Bedingungen durch Dormanz verhindert (FENNER & THOMPSON 2005). Die Dormanz ist eine immanente Sameneigenschaft, die durch die Umweltbedingungen definiert wird, unter welchen die Diasporen zur Keimung gelangen (FINCH-SAVAGE & LEUBNER-METZGER 2006). Neben einem starken Umwelteinfluss wird sie vor allem auch genetisch gesteuert, besonders durch die Pflanzenhormone Abscissinsäure und Gibbereline. Nach BASKIN & BASKIN (2004) sowie FENNER & THOMPSON (2005) werden verschiedene Formen der Dormanz unterschieden. Bei einer physiologischen Dormanz sind in den Diasporen keimungshemmende Substanzen akkumuliert, die erst über eine bestimmte Zeit abgebaut werden müssen. Bei der morphologischen Dormanz sind die Diasporen beim Ausstreuen noch unreif, da der Embryo noch nicht vollständig entwickelt ist. Es wird entsprechende Zeit für Wachstum und Entwicklung des Embryos benötigt, bevor er keimbereit ist. Eine Kombination von beiden Typen stellt die morpho-physiologische Dormanz dar. 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. 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).

Nach THOMPSON et al. (2003) bedingt die Dormanz der Diasporen eine höhere Persistenz im Boden und bestimmt somit den Diasporenbanktyp der Arten. Dieser richtet sich nach der Lebensdauer der Diasporen im Boden und kann transient, kurzzeit-persistent, langzeit-persistent oder indifferent sein (THOMPSON et al. 1997). In einer statistischen Analyse von insgesamt 18 Pflanzenmerkmalen konnte HONDA (2008) jedoch ermitteln, dass nur die Lebensgeschichte und die Samengröße einen engen Bezug zu Aufbau und Ausdauer einer Diasporenbank haben, wonach kurzlebige bzw. kleinsamige Arten meist eine langzeit-persistente Diasporenbank aufbauen (SILVERTOWN 1981, BEKKER et al. 1998). Weiterführende theoretische und empirische Studien ergaben eine negative Korrelation zwischen der Lebensdauer der Pflanzenarten und dem Aufbau einer langlebigen Diasporenbank. Danach keimen kurzlebige Arten langsamer und bauen eine langzeit-persistente Diasporenbank auf, andererseits sind Arten mit langer Lebensdauer eher „Schnellkeimer“ und verharren nur kurzfristig im Boden (THOMPSON et al. 1993, REES 1994, MOLES et al. 2000, FENNER & THOMPSON 2005). Die Bedeutung der Dormanz für den Diasporenbanktyp ist eher gering und unterscheidet sich nur leicht bezüglich der verschiedenen Dormanztypen (HONDA 2008). Andererseits fanden VANDELOOK et al. (2008) und AL-HAWIJA et al. (2012) einen Zusammenhang zwischen der Dormanz bzw. dem Keimverhalten und der Habitatpräferenz von Pflanzenarten.

Mit dieser Studie sollen die Beiträge zur Keimungsbiologie von selteneren Arten im Vergleich zu häufig vorkommenden Vertretern fortgesetzt werden. Dazu werden zwölf verschiedene Vertreter aus der Familie der Apiaceae (*Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa*, *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum*, *Torilis japonica*) untersucht, die hauptsächlich in Trocken- und Halbtrockenrasen bzw. auf Wiesen oder auf trockeneren bis frischen Ruderal- oder Segetalstandorten siedeln. Folgenden Fragen soll in dieser Studie nachgegangen werden:

1. Sind die 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 Diasporenbanktyplassen sich die Arten aufgrund ihres Keimverhaltens zuordnen?
5. Bestehen Unterschiede hinsichtlich der Lebensdauer bzw. der Lebensform und der Habitatpräferenz der Arten bezüglich des Keimverhaltens?

2 Charakterisierung der Arten

Bei den zwölf ausgewählten Arten handelt es sich um Vertreter aus der Familie der Apiaceae, die sich in Lebensdauer, Lebensformen und Habitatpräferenz unterscheiden. Die Beschreibung der biologischen Eigenschaften der Arten folgt JÄGER (2011). In Tab. 1 sind die Diasporeneigenschaften wie Größe und Gewicht zusammengestellt (OTTO 2002). Folgende Arten wurden untersucht:

Bupleurum falcatum L. (Sichel-Hasenohr) ist ein sommergrüner, halbrosettiger, langlebiger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 20 und 100 cm. Die Art ist kalkstet und blüht zwischen Juli und September. Sie besiedelt Trocken- und Halbtrockenrasen, Gebüsch- und Waldsäume sowie Trockenwälder.

Cervaria rivini GAERTN. (*Peucedanum cervaria* (L.) LAPEYR., Echte Hirschwurz) ist ein 50 bis 100 cm hoher, sommergrüner, halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt. Die Blütezeit erstreckt sich von Juli bis September. Die kalkholde Art besiedelt Halbtrockenrasen, Trockengebüsche, Trockenwälder und ihre Säume.

Conium maculatum L. (Gefleckter Schierling) ist ein sommergrüner, halbrosettiger Hemikryptophyt, der einjährig-überwinternd oder zweijährig sein kann. Die Wuchshöhe beträgt zwischen 80 bis 180 cm. Die Art blüht zwischen Juni und September. Sie besiedelt Ruderalstellen wie Wegränder, Schutt und Bahnanlagen sowie Hecken und Gebüsch bzw. frische bis (wechsel)feuchte Staudenfluren an Bächen, Flüssen und Küstenspülsäumen.

Daucus carota L. (Gewöhnliche Möhre) ist ein immergrüner, halbrosettiger hapaxanther Hemikryptophyt, der zwei- oder mehrjährig sein kann. Die Wuchshöhe beträgt zwischen 30 und 100 cm. Die Art blüht zwischen Juni und September. Sie besiedelt ruderal Frischwiesen und Magerrasen, mäßig trockene bis frische Ruderalstellen wie Wegränder, Steinbrüche und Dämme. Nach JÄGER (2011) sind die Diasporen langlebig.

Falcaria vulgaris FABR. (Gewöhnliche Sichelmöhre) ist ein sommergrüner, halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 30 bis 80 cm. Die Art blüht von Juli bis September. Sie besiedelt ruderal Trocken- und Halbtrockenrasen, trockene bis mäßig trockene ruderal Wegränder, Bahnanlagen, Brachen, extensiv genutzte Äcker und Trockengebüschsäume. Nach JÄGER (2011) sind die Diasporen kurzlebig.

Heracleum sphondylium L. (Gewöhnlicher Bärenklau) ist ein sommergrüner, halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 50 bis 150 (200) cm. Die Art blüht zwischen Juni und September und besiedelt frische bis sickerfeuchte Wiesen, Uferstaudenfluren, Gräben, Auenwälder und ihre Säume, Schlagfluren und montane Hochstaudenfluren.

Pastinaca sativa L. (Gewöhnlicher Pastinak) ist ein sommergrüner, halbrosettiger, zweijähriger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 30 und 190 (300) cm. Die Art blüht zwischen Juli und September und besiedelt frische Wiesen, frische bis mäßig trockene Ruderalstellen wie Weg- und Straßenränder, Bahnanlagen, Steinbrüche und Ackerränder sowie Äcker.

Peucedanum oreoselinum (L.) MOENCH (*Oreoselinum nigrum* DELABRE, Berg-Haarstrang) ist ein sommergrüner, halbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 30 und 100 cm. Die Art blüht zwischen Juli und August und besiedelt Silikat- und Sandtrockenrasen, Ruderalstellen wie

Wegränder und Dämme sowie trockene Eichen- und Kiefernwälder und ihre Säume. Nach JÄGER (2011) gilt die Art als Kältekeimer.

Pimpinella saxifraga L. (Kleine Pimpinelle) ist ein sommergrüner, halbbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe zwischen 5 und 60 cm. Die Art blüht zwischen Juli und September. Sie besiedelt Halbtrockenrasen, Silikatmagerrasen, trockene Heiden, Trockenwälder und -gebüsch.

Seseli annuum L. (Steppen-Sesel) ist ein sommergrüner, halbbrosettiger, einjährig-überwinternder, zweijähriger oder ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 10 bis 90 cm. Die kalkstete Art blüht von Juli bis September und besiedelt Xerothermrasen und Trockengebüsch.

Seseli hippomarathrum JACQ. (Pferde-Sesel) ist ein sommergrüner, halbbrosettiger, ausdauernder Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 15 bis 50 cm. Die kalkholde Art blüht von Juli bis September und besiedelt kontinentale Felsfluren und Trockenrasen.

Torilis japonica (HOUTT.) DC. (Gewöhnlicher Klettenkerbel) ist ein immergrüner, halbbrosettiger, einjährig-überwinternder bzw. zweijähriger Hemikryptophyt mit einer Wuchshöhe von 30 bis 120 cm. Die basenholde Art blüht von Juni bis August und besiedelt mäßig trockene bis mäßig frische Wald- und Heckenränder und Waldschläge.

Tab. 1 Diasporenmerkmale der zwölf untersuchten Apiaceen-Arten. Daten zu Gewicht und Größe aus Bioflor (OTTO 2002).

Tab. 1 Traits of diaspores of the twelve species of the family Apiaceae. Data of weight and size follow Bioflor (OTTO 2002).

Zielarten	Gewicht [mg]	Länge [mm]	Breite [mm]
<i>Bupleurum falcatum</i>	1,8	2,9	0,8
<i>Cervaria rivini</i>	5,3	5,0	3,6
<i>Conium maculatum</i>	2,2	3,1	1,7
<i>Daucus carota</i>	1,1	3,7	3,2
<i>Falcaria vulgaris</i>	0,9	3,4	0,8
<i>Heracleum sphondylium</i>	5,9	8,2	6,4
<i>Pastinaca sativa</i>	3,0	6,1	4,3
<i>Peucedanum oreoselinum</i>	3,4	5,9	4,7
<i>Pimpinella saxifraga</i>	1,0	2,2	1,2
<i>Seseli annuum</i>	0,6	2,2	1,2
<i>Seseli hippomarathrum</i>	1,5	4,5	1,6
<i>Torilis japonica</i>	1,7	2,7	1,4

3 Material und Methoden

3.1 Sammlung und Versuchsansätze

Die Diasporen (Doppel-Achänen) der 12 ausgewählten Arten wurden im reifen Zustand an der Mutterpflanze geerntet. Je nach Art und Reife lagen die Sammeltermine zwischen August und September der jeweiligen Erntejahre (Tab. 2). Die Orte der Aufsammlungen waren Trockenbiotope bzw. ruderal beeinflusste Habitats im Saalekreis (Brachwitz, Wettin, Mücheln, Gimritz), in Halle und im Unstruttal bei Freyburg (Freyburg, Krawinkel). 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-Seeben, die von Jürgen Döring zur Verfügung gestellt worden sind (DÖRING & BORG 2008).

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

Tab. 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>Bupleurum falcatum</i>	Krawinkel	05.09.2011	16.09.2011	29.02.2012
<i>Cervaria rivini</i>	Brachwitz/Küsterberg	04.09.2011	16.09.2011	29.02.2012
<i>Conium maculatum</i>	Brachwitz	03.09.2004	18.10.2004	22.03.2005
<i>Daucus carota</i>	Halle/Brandberge	19.08.2004	04.09.2004	09.04.2005
<i>Falcaria vulgaris</i>	Brachwitz	02.09.2004	09.09.2004	09.04.2005
<i>Heracleum sphondylium</i>	Brachwitz	02.09.2004	09.09.2004	09.04.2005
<i>Pastinaca sativa</i>	Halle/Brandberge	19.08.2004	04.09.2004	22.03.2005
<i>Peucedanum oreoselinum</i>	Brachwitz/Küsterberg	30.08.2007	15.10.2007	17.03.2008
<i>Pimpinella saxifraga</i>	Brachwitz/Küsterberg	30.08.2007	15.10.2007	17.03.2008
<i>Seseli annuum</i>	Freyburg/Neue Göhle	05.09.2011	16.09.2011	29.02.2012
<i>Seseli hippomarathrum</i>	Wettin/Mücheln	24.08.2001	16.10.2001	17.03.2002
<i>Torilis japonica</i>	Gimritz	30.08.2007	16.10.2007	17.03.2008

Zwischen Ende Februar und 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 1. März der jeweiligen Jahre.

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

Jahre	maximale Temperaturen (tagesüber)		minimale Temperaturen (nachtsüber)	
	von	bis	von	bis
2001/2002	-3,4	15,3	-5,2	7,2
2004/2005	-0,5	13,3	-1,5	10,3
2007/2008	-1,7	15,9	-4,5	8,6
2011/2012	-1,3	11,6	-1,9	7,1

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, wie sie in verschiedenen Phasen der Vegetationsperiode auftreten. 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 Samennere 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 Diasporen 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 einfaktorielle 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 darstellen. In

diesen Untersuchungen sind es das variable Temperatur-Licht-Regime und die natürliche Kältestratifikation, 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.

4 Ergebnisse

4.1 Keimung nach Ernte

Bupleurum falcatum, *Conium maculatum* und *Heracleum sphondylium* keimten nach der Ernte unter allen drei Temperatur-Licht-Regimen überhaupt nicht und von *Cervaria rivini* keimte nur eine Diaspore bei 20/10 °C, allerdings bereits am vierten Tag (Tab. 4, Abb. 1, 2, 3). Ebenso keimten nur wenige Diasporen von *Falcaria vulgaris* und *Pastinaca sativa*, jedoch unter allen drei Temperaturstufen ähnlich. Demgegenüber wiesen alle übrigen Arten eine stark temperaturabhängige Keimung im Jahr der Ernte auf: *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum* und *S. hippomarathrum* keimten unter kalten Bedingungen überhaupt nicht sowie *Peucedanum oreoselinum* nur geringfügig (1 Diaspore). Diese Arten zeigten aber die höchsten Keimwerte (zwischen 28 und 78 %) unter warmen Bedingungen mit einem Keimstart am siebenten Tag (*Seseli hippomarathrum*), am achten Tag (*Seseli annuum*) bzw. am 10. Tag (*Pimpinella saxifraga*, *Peucedanum oreoselinum*). Eine weitere Temperaturerhöhung führte zu einer deutlich geringeren Keimung, wobei der Keimstart vorverlegt war. Bei *Daucus carota* nahm die Keimung mit Temperaturerhöhung signifikant zu und die Diasporen keimten am besten unter heißen Bedingungen. Unter kalten Bedingungen begann die Keimung erst am 43. Tag, unter warmen Bedingungen am 12. Tag und unter heißen Bedingungen am achten Tag. Ebenso keimte *Torilis japonica* am besten unter heißen Bedingungen, allerdings gab es keine signifikanten Unterschiede in der Keimung zwischen kalten und warmen Bedingungen. Nur der Keimstart war unter kalten Bedingungen stark verzögert (27. Tag); unter warmen und heißen Bedingungen begann die Art bereits am 13. Tag zu keimen. Insgesamt waren *Daucus carota*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica* am erfolgreichsten mit höchsten Keimraten über 70 %.

Die Keimgeschwindigkeiten der Arten waren jeweils am höchsten unter den optimalen Temperatur-Licht-Regimen.

4.2 Keimung nach Überwinterung

Nach Überwinterung (Tab. 5) keimte nur jeweils eine Diaspore von *Bupleurum falcatum* (am sechsten Tag), *Falcaria vulgaris* (am 10. Tag) und *Seseli annuum* (am 36. Tag) unter warmen bzw. heißen Bedingungen. Ebenso war die Keimung von *Pastinaca sativa* unter allen drei Temperatur-Licht-Regimen sehr gering (< 10 %) und begann zwischen dem vierten Tag unter warmen und heißen Bedingungen und dem 15. Tag unter kalten Bedingungen. Demgegenüber keimten die Diasporen von *Cervaria rivini* etwas besser unter kalten und warmen Bedingungen (Keimstart lag zwischen dem 12. und 23. Tag), wohingegen *Pimpinella saxifraga* signifikant besser unter warmen und heißen Bedingungen (Keimstart jeweils am 4. Tag) keimte. *Seseli hippomarathrum* keimte nach Überwinterung ähnlich wie im Erntejahr. Der Keimstart war unter warmen Bedingungen erst am 17. Tag und unter heißen schon am zweiten Tag.

Eine starke Förderung der Keimung nach natürlicher Kältestratifikation erfuhren *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica*, wobei die höchste Steigerung bei *Conium maculatum*, *Heracleum sphondylium* und *Torilis japonica* im kalten Bereich, bei *Peucedanum oreoselinum* im warmen und bei *Daucus carota* im heißen Bereich lag.

Auch der Keimstart der Arten war deutlich früher: bei *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica* begannen die Diasporen unter allen drei Temperaturstufen bereits am zweiten Tag zu keimen, bei *Conium*

Tab. 4 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der zwölf untersuchten Apiaceen-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).

Tab. 4 Percentage of final germination and the Timson's index of the twelve species of the family Apiaceae 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>Bupleurum falcatum</i>					
Endkeimung	0	0	0,21	-	-
Timson-Index	0	0	0,18	-	-
<i>Cervaria rivini</i>					
Endkeimung	0	0,25	0	-	-
Timson-Index	0	0,23	0	-	-
<i>Conium maculatum</i>					
Endkeimung	0	0	0	-	-
Timson-Index	0	0	0	-	-
<i>Daucus carota</i>					
Endkeimung	2,00 a	24,00 b	73,00 c	131,237	< 0,0001
Timson-Index	0,13 a	8,71 b	42,31 c	221,792	< 0,0001
<i>Falcaria vulgaris</i>					
Endkeimung	5,00	4,00	0,00	2,002	n. s.
Timson-Index	1,62	2,04	0,00	1,898	n. s.
<i>Heracleum sphondylium</i>					
Endkeimung	0	0	0	-	-
Timson-Index	0	0	0	-	-
<i>Pastinaca sativa</i>					
Endkeimung	1,25	0,63	1,25	0,273	n. s.
Timson-Index	0,08	0,35	0,44	0,306	n. s.
<i>Peucedanum oreoselinum</i>					
Endkeimung	1,25 a	78,13 c	30,63 b	104,121	< 0,0001
Timson-Index	0,08 a	50,28 c	8,93 b	336,205	< 0,0001
<i>Pimpinella saxifraga</i>					
Endkeimung	0 a	27,50 b	17,50 b	46,627	< 0,0001
Timson-Index	0 a	12,46 b	10,74 b	57,289	< 0,0001
<i>Seseli annuum</i>					
Endkeimung	0 a	39,17 b	0 a	34,117	< 0,0001
Timson-Index	0 a	26,59 b	0 a	58,584	< 0,0001
<i>Seseli hippomarathrum</i>					
Endkeimung	0 a	50,67 b	5,33 a	50,264	< 0,001
Timson-Index	0 a	41,07 b	4,86 a	35,845	< 0,001
<i>Torilis japonica</i>					
Endkeimung	18,33 a	13,33 a	65,00 b	37,714	< 0,0001
Timson-Index	4,68 a	7,20 a	38,94 b	59,189	< 0,0001

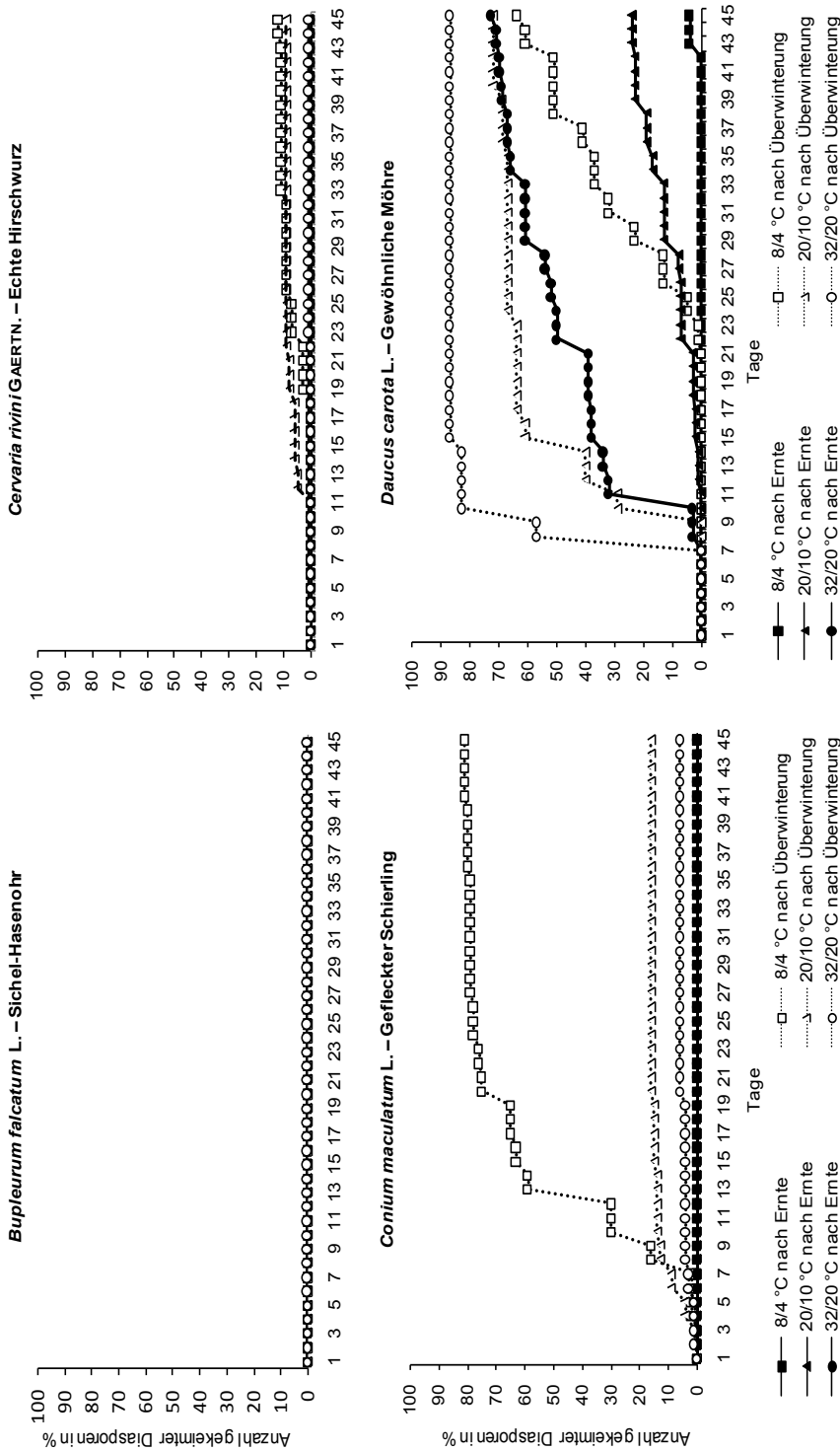


Abb. 1 Kumulativer Keimverlauf von *Bupleurum falcatum*, *Conium maculatum* und *Daucus carota* unter den verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 1 Cumulative germination of *Bupleurum falcatum*, *Conium maculatum* and *Daucus carota* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

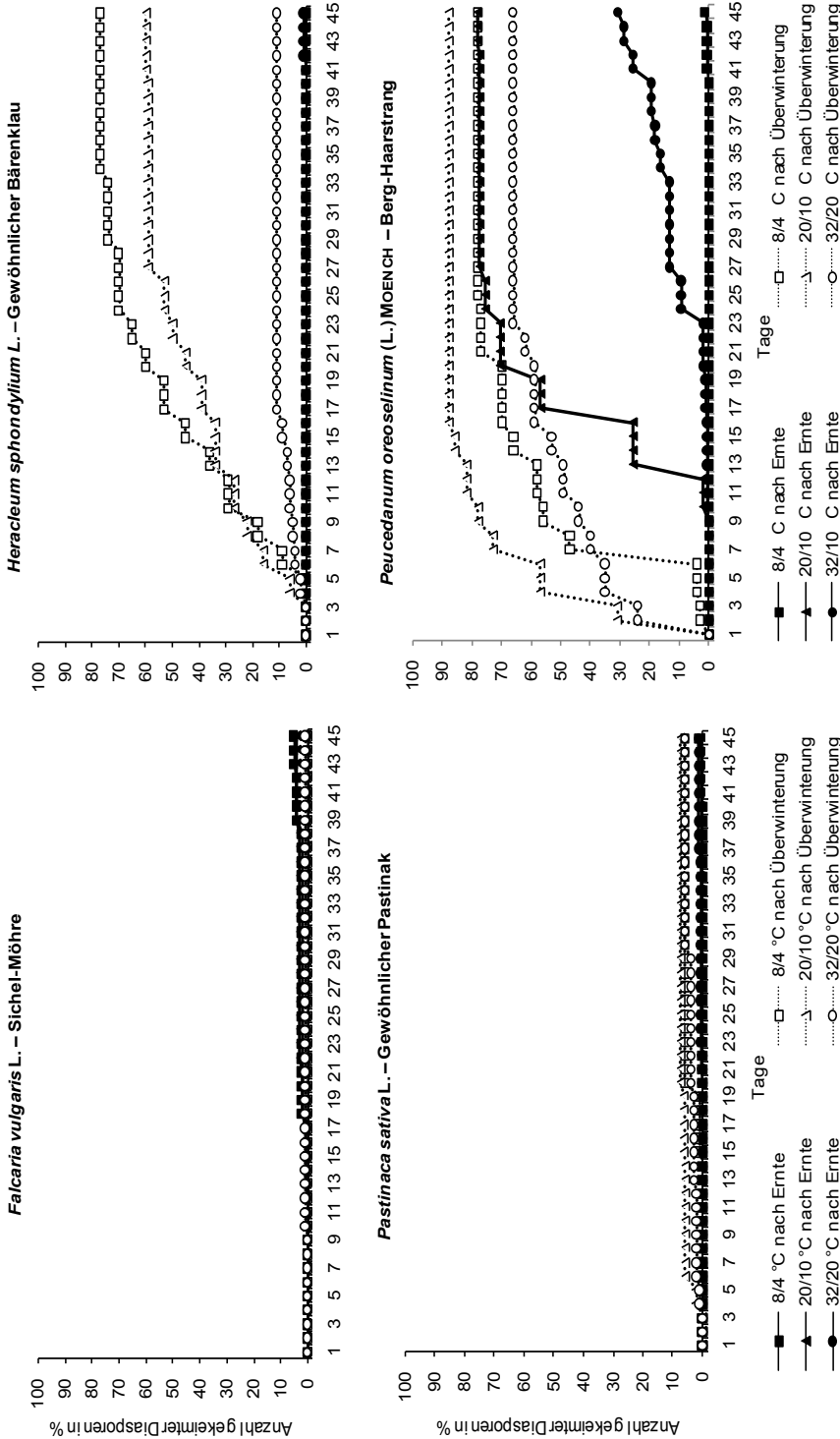


Abb. 2 Kumulativer Keimverlauf von *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa* und *Peucedanum oreoselinum* unter verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 2 Cumulative germination of *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa* and *Peucedanum oreoselinum* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

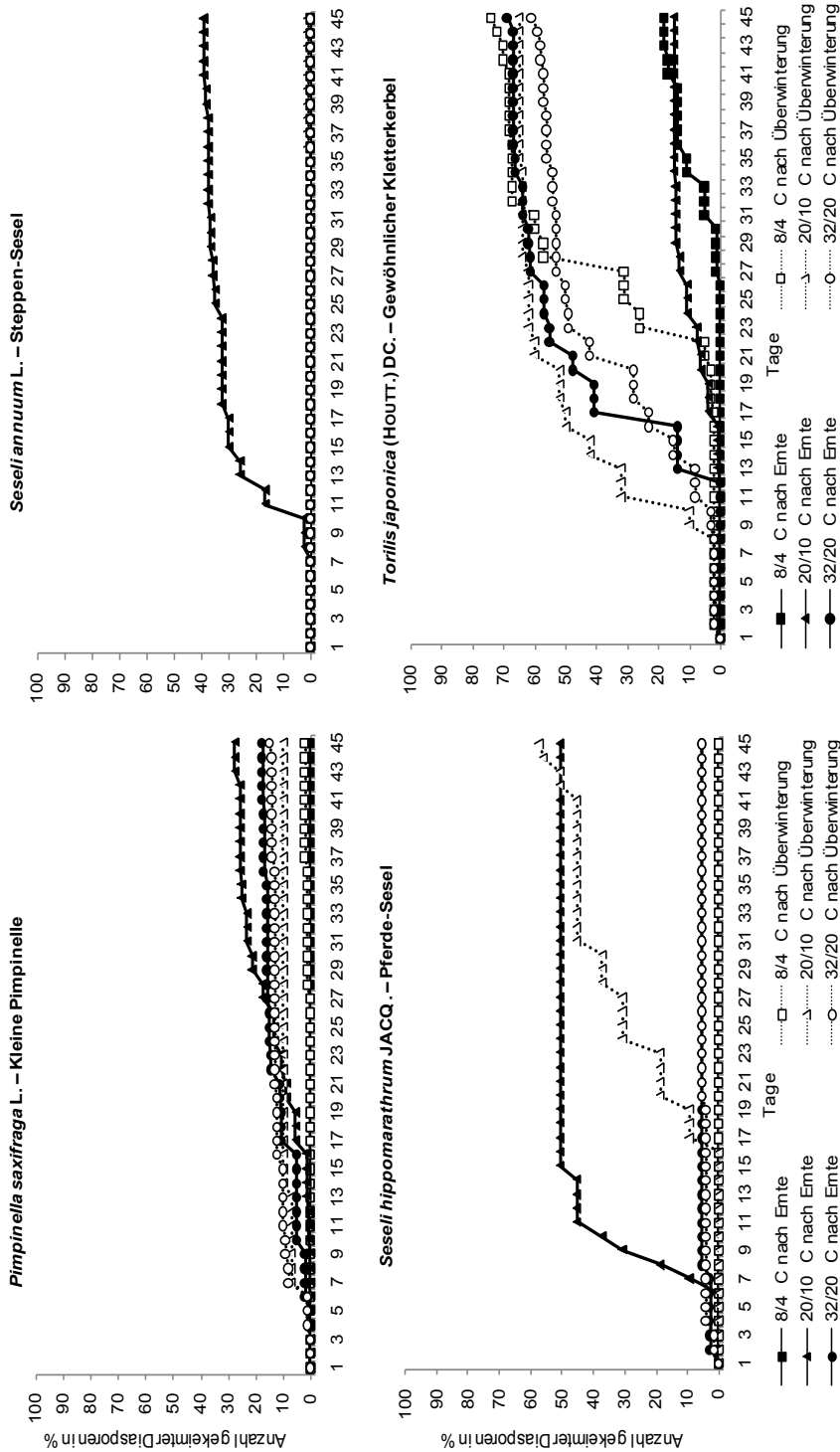


Abb. 3 Kumulativer Keimverlauf von *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum* und *Torilis japonica* unter verschiedenen Temperatur- und Licht-Regimen nach Ernte und nach Überwinterung (Versuchsdauer: 45 Tage).

Fig. 3 Cumulative germination of *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum* and *Torilis japonica* under different temperature and light regimes after harvest and hibernation (duration of experiment: 45 days).

maculatum und *Heracleum sphondylium* zwischen dem zweiten und sechsten Tag, wohingegen *Daucus carota* vergleichsweise spät zu keimen begann; unter kalten Bedingungen am achten Tag, unter warmen Bedingungen am 10. Tag und unter heißen Bedingungen am 22. Tag. Der frühere Beginn der Keimung nach Überwinterung führte dazu, dass der Timson-Index aller Arten im Vergleich zur Keimung im Erntejahr erhöht war.

Tab. 5 Prozentuale Endkeimung und Timson-Index der zwölf untersuchten Apiaceen-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).

Tab. 5 Percentage of final germination and Timson's index of the twelve species of the family Apiaceae 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>Bupleurum falcatum</i>					
Endkeimung	0	0	1	-	-
Timson-Index	0	0	0,89	-	-
<i>Cervaria rivini</i>					
Endkeimung	12,00 a	9,00 a	1,00 b	22,664	< 0,001
Timson-Index	5,36 a	6,22 a	0,51 b	22,483	< 0,001
<i>Conium maculatum</i>					
Endkeimung	81,00 a	16,00 b	6,00 c	158,331	< 0,0001
Timson-Index	58,24 a	13,67 b	4,76 c	100,911	< 0,0001
<i>Daucus carota</i>					
Endkeimung	64,00	72,00	97,00	3,156	n. s.
Timson-Index	17,67 a	50,22 b	71,69 b	18,062	< 0,001
<i>Falcaria vulgaris</i>					
Endkeimung	0,00	0,00	1,00	-	-
Timson-Index	0,00	0,00	0,82	-	-
<i>Heracleum sphondylium</i>					
Endkeimung	77,00 a	60,00 b	11,00 c	72,756	< 0,0001
Timson-Index	52,35 a	42,16 a	8,69 b	34,13	< 0,001
<i>Pastinaca sativa</i>					
Endkeimung	6,00	7,50	6,00	0,381	n. s.
Timson-Index	3,58	6,32	3,84	0,972	n. s.
<i>Peucedanum oreoselinum</i>					
Endkeimung	78,00 ab	88,00 a	66,00 b	6,140	< 0,05
Timson-Index	62,80 a	79,84 b	55,80 a	8,408	< 0,001
<i>Pimpinella saxifraga</i>					
Endkeimung	2,00 a	10,00 b	15,00 b	9,788	< 0,05
Timson-Index	0,60 a	8,27 b	10,71 b	19,388	< 0,001
<i>Seseli annuum</i>					
Endkeimung	0	1,00	0	-	-
Timson-Index	0	0,22	0	-	-
<i>Seseli hippomarathrum</i>					
Endkeimung	0 a	57,33 c	5,33 b	1,112	< 0,0001
Timson-Index	0 a	23,35 c	4,56 b	107,872	< 0,0001
<i>Torilis japonica</i>					
Endkeimung	73,33 a	62,67 b	65,33 ab	4,712	< 0,05
Timson-Index	29,12 a	44,38 b	36,62 a	15,834	< 0,05

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 (Abb. 4, Tab. 6). So ergaben sich hoch signifikante Interaktionen für *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum*, *Seseli annuum* und *Torilis japonica* für die prozentuale Endkeimung und den Timson-Index, während sich bei *Daucus carota* und *Pimpinella saxifraga* nur signifikante Interaktionen hinsichtlich der prozentualen Keimung ergaben. Mit Ausnahme von *Pimpinella saxifraga* bewirkte die natürliche Kältestratifikation bei den meisten Arten eine starke Förderung der Keimung. Demgegenüber ergab sich für *Bupleurum falcatum*, *Falcaria vulgaris*, *Pastinaca sativa* und *Seseli hippomarathrum* keine veränderte Temperaturempfindlichkeit der Keimung nach Überwinterung und weder die prozentuale Keimung noch die Keimgeschwindigkeit wurde durch Stratifikation gefördert.

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).

Tab. 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>Bupleurum falcatum</i>				
Endkeimung	-	-	-	-
Timson-Index	-	-	-	-
<i>Cervaria rivini</i>				
Endkeimung	2	0,049	18,088	< 0,0001
Timson-Index	2	0,025	15,201	< 0,0001
<i>Conium maculatum</i>				
Endkeimung	2	0,439	158,331	< 0,0001
Timson-Index	2	0,236	100,911	< 0,0001
<i>Daucus carota</i>				
Endkeimung	2	0,137	4,528	< 0,05
Timson-Index	2	0,015	1,394	n. s.
<i>Falcaria vulgaris</i>				
Endkeimung	2	0,030	2,873	n. s.
Timson-Index	2	0,014	2,819	n. s.
<i>Heracleum sphondylium</i>				
Endkeimung	2	0,304	72,756	< 0,0001
Timson-Index	2	0,153	64,112	< 0,0001
<i>Pastinaca sativa</i>				
Endkeimung	2	0,005	0,603	n. s.
Timson-Index	2	0,004	0,957	n. s.
<i>Peucedanum oreoselinum</i>				
Endkeimung	2	0,409	37,581	< 0,0001
Timson-Index	2	0,171	32,309	< 0,0001
<i>Pimpinella saxifraga</i>				
Endkeimung	2	0,048	5,176	< 0,05
Timson-Index	2	0,006	1,566	n. s.
<i>Seseli annuum</i>				
Endkeimung	2	0,257	24,488	< 0,0001
Timson-Index	2	0,174	48,037	< 0,0001
<i>Seseli hippomarathrum</i>				
Endkeimung	2	0,002	0,194	n. s.
Timson-Index	2	0,022	3,492	n. s.
<i>Torilis japonica</i>				
Endkeimung	2	0,292	36,783	< 0,0001
Timson-Index	2	0,157	51,941	< 0,0001

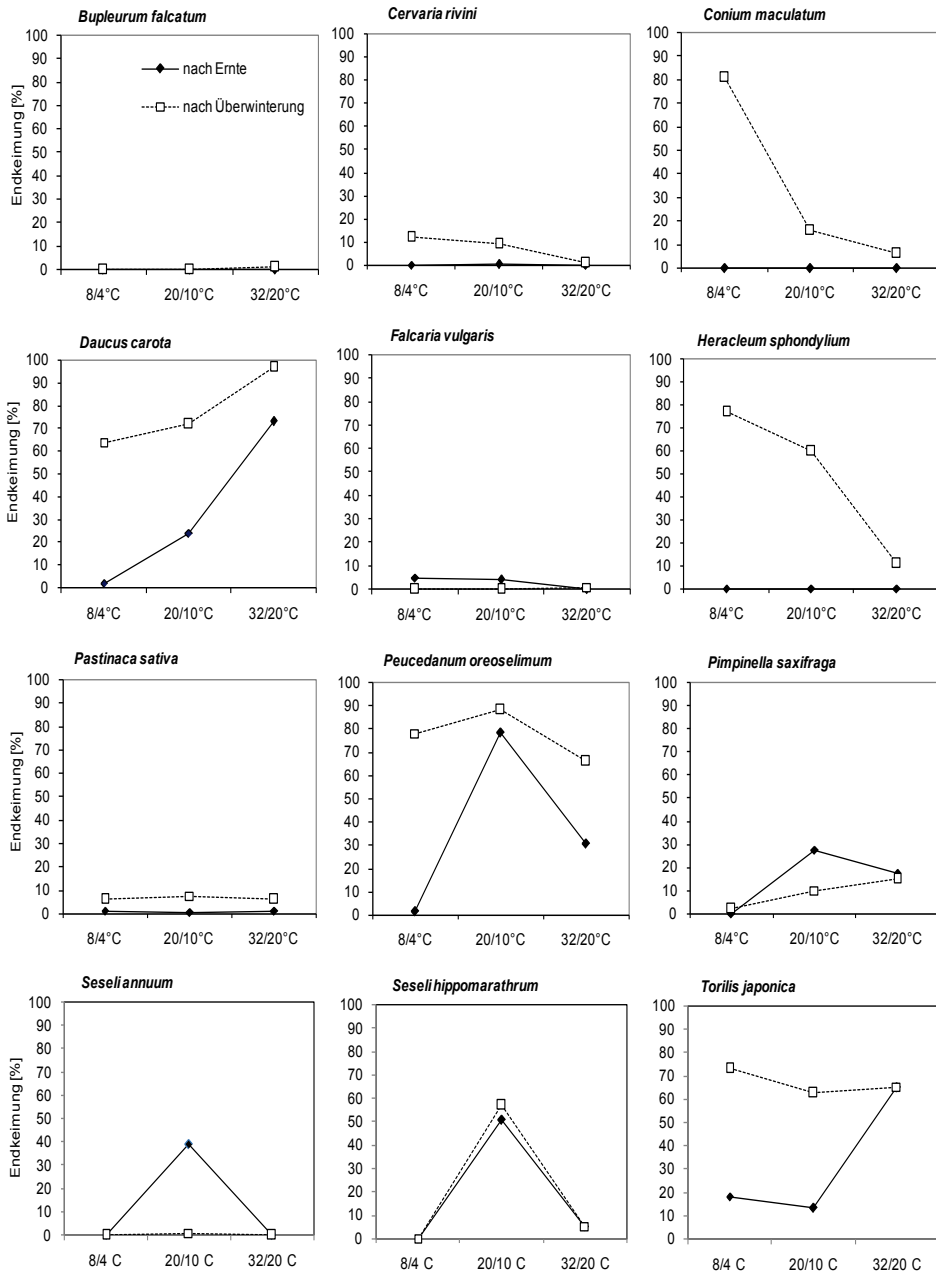


Abb. 4 Interaktionsplots der Endkeimung der zwölf untersuchten Apiaceen-Arten zur Darstellung der Interaktionen zwischen dem Zeitpunkt des Keimansatzes (nach Ernte und nach Überwinterung) und den verschiedenen Temperatur-Licht-Regimen.

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

4.4 Lebensfähigkeit der Diasporen

Die Lebensfähigkeit der Diasporen aller zwölf Apiaceen-Arten war nach der Ernte sehr hoch und lag zwischen 95 und 100 % (Tab. 7). Die meisten der Diasporen, die nach Versuchsabschluss noch in den Petrischalen verblieben, zeigten eine gute Lebensfähigkeit. Bei den stark strukturierten Achänen der Apiaceae fiel auf, dass sie im feuchten Milieu, vor allem unter warmen und heißen Bedingungen, stark verpilzten. Die Pilzsporen stammten dabei sicher aus dem Freiland, in dem die Diasporen geerntet worden sind.

Tab. 7 Vergleich der Lebensfähigkeit der Diasporen der zwölf Apiaceen-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 keimten Diasporen in den Petrischalen (* stark verpilzt).

Tab. 7 Comparison of diaspore viability of the twelve species of the family Apiaceae after harvest (before experiment) and after the first and second germination experiment under different temperature and light regimes (* with fungi).

	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>Bupleurum falcatum</i>	98	63*	34*	20*	89
<i>Cervaria rivini</i>	98	82	58*	50*	68*	45*	83*
<i>Conium maculatum</i>	100	96	74	81	9	68	73*
<i>Daucus carota</i>	97	97	73	10	34	18	0
<i>Falcaria vulgaris</i>	99	10*	8*	5*	12*	6*	5*
<i>Heracleum sphondylium</i>	98	84	63*	44*	7	9	8*
<i>Pastinaca sativa</i>	100	62	28*	22*	14	14	8*
<i>Peucedanum oreoselinum</i>	100	6	1	49	3	4	8*
<i>Pimpinella saxifraga</i>	95	91	39	1*	11	6	0*
<i>Seseli annuum</i>	100	53*	37*	31*	100	97	97
<i>Seseli hippomarathrum</i>	98	96	37	67*	23*	36*	31*
<i>Torilis japonica</i>	95	80	29	16	19	29	25

5 Diskussion

Die in dieser Studie untersuchten zwölf Vertreter aus der Familie der Apiaceae zeigten ein unterschiedliches Keimverhalten. Die Hälfte der Arten (*Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa*) keimte im Erntejahr kaum oder gar nicht. Der andere Teil (*Daucus carota*, *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum*, *Torilis japonica*) zeigte eine mehr oder weniger gute Keimung, entweder unter warmen oder heißen Bedingungen bereits nach der Ernte. Im Gegensatz zum Keimverhalten der untersuchten Vertreter der Fabaceae (PARTZSCH 2012), die ebenso eine sehr geringe Keimung im Erntejahr aufwiesen, wurde bei einer Reihe von Arten der Apiaceae (*Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum*, *Torilis japonica*) die Keimung nach natürlicher Kältestratifikation stark gefördert. Generell begannen die Diasporen nach Überwinterung einige Tage früher zu keimen und die Keimgeschwindigkeit erhöhte sich.

Das Optimum der Keimung unter warmen bzw. heißen Bedingungen im Erntejahr entspricht den Ergebnissen von MORGAN (1998), der in seiner Studie zum Keimverhalten von 28 Graslandarten der temperaten

Zone feststellte, dass die optimale Keimtemperatur bei 20 / 10 °C liegt. PARTZSCH (2010, 2011a, b) konnte ebenfalls für eine Reihe von Vertretern aus den Familien der Asteraceae, der Caryophyllaceae und der Poaceae nachweisen, dass eine optimale Keimung bei 20 / 10 °C und 32 / 20 °C vorliegt.

Den Begriff „Kältekeimer“ verwendet JÄGER (2011) für Arten, die erst nach Durchlaufen einer Kälteperiode zu keimen beginnen und gibt dies für *Peucedanum oreoselinum* an. In den vorgestellten Untersuchungen keimte die Art jedoch schon im Erntejahr unter 20/10 °C sehr gut, wobei die Keimung nach Überwinterung nochmals stark, vor allem auch unter kalten und heißen Bedingungen gefördert wurde. Zu den typischen „Kältekeimern“ könnten auch *Conium maculatum* und *Heracleum sphondylium* sowie *Daucus carota* und *Torilis japonica* gerechnet werden. Andererseits gibt es in GRIME et al. (2007) für *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium* und *Torilis japonica* den Hinweis, dass deren Keimruhe durch Kälteeinwirkung gebrochen werden kann und, dass die Diasporen von *Daucus carota* zur Hälfte innerhalb von vier Tagen und die von *Torilis japonica* innerhalb von fünf Tagen, in einem breiten Temperaturbereich zwischen 5 und 29 °C, keimen.

Im Gegensatz zu der weitverbreiteten physikalischen Dormanz in der Familie der Fabaceae (BASKIN & BASKIN 2001, PARTZSCH 2012), scheint bei verschiedenen Vertretern der Apiaceae eher eine physiologische Dormanz vorzuliegen, bei der die Samenruhe durch keimungshemmende Substanzen verursacht wird, die erst durch eine Kältestratifikation abgebaut werden müssen. Dies führt auch häufig dazu, dass nach Überwinterung eine sehr gute Keimung schon unter kalten Temperaturbedingungen bei einigen Arten (*Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica*) erreicht wurde. Auch OJALA (1985) konnte für *Angelica archangelica* nachweisen, dass nach Kältestratifikation die Keimung stark erhöht wird. Andererseits beschrieben VANELOOK et al. (2007) für den zwei- bzw. mehrjährigen hapaxanthen Hemikryptophyt *Chaerophyllum temulum* eine morpho-physiologische Dormanz. Hierbei ist zum Zeitpunkt des Diasporenausstreuens der Embryo noch nicht vollständig entwickelt und die Keimung wird zusätzlich durch Inhibitoren gehemmt. Eine längere Periode, in der die Diasporen niedrigen Temperaturen ausgesetzt sind, ist für das Brechen der physiologischen Dormanz Voraussetzung, wobei die Radikula erst austreten kann, wenn der Embryo eine bestimmte Länge erreicht hat. Eine Gabe von Gibberelinsäure hat deshalb keinen fördernden Effekt auf die Keimung, solange der Embryo nicht voll entwickelt ist. So erfolgte die Brechung sowohl von physiologischer also auch morphologischer Dormanz gleichzeitig bei *Chaerophyllum temulum* und führt zu einer Keimung in einem breiten Temperaturbereich (VANELOOK et al. 2007). Ähnliches konnte auch für die einheimischen Arten *Anthriscus sylvestris*, *Chaerophyllum bulbosum* und *Myrrhis odorata* sowie die nordamerikanische Apiaceengattung *Osmorhiza* nachgewiesen werden (LHOTSKA 1977, AUGÉ et al. 1989, BASKIN et al. 1995, 2000). Für die in dieser Studie getesteten Arten *Conium maculatum* und *Heracleum sphondylium* kann aufgrund der völlig ausbleibenden Keimung im Erntejahr und der starken Keimförderung nach Überwinterung eine morpho-physiologische Dormanz vermutet werden. Demgegenüber wurde die Keimung von *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Falcaria vulgaris* und *Pastinaca sativa* auch durch Überwinterung nicht oder kaum gefördert, was auf eine noch tiefere Dormanz hinweisen könnte. So geben BASKIN & BASKIN (2001) für die Apiaceen-Arten *Cicuta maculata*, *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Pastinaca sativa* und *Torilis japonica* eine morphologische Dormanz und für *Aegopodium podagaria*, *Aethusa cynapium*, *Anthriscus sylvestris*, *Apium leptophyllum* und *Bupleurum rotundifolium* eine morpho-physiologische Dormanz an.

Das Wissen um Arten mit starker Dormanz ist nach KARLSSON et al. (2006) relativ gering, da Ergebnisse, die keine oder nur geringe Keimung zeigten, selten veröffentlicht werden. Es wird von der Annahme ausgegangen, dass die Diasporen in geeigneter Umgebung immer zum Keimen gebracht werden können. Auch einige in dieser Studie präsentierte Arten (*Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Pimpinella saxifraga*) waren bereits mehrmals in Keimtests (mit ähnlichen Keimergebnissen), um sicher zu gehen, dass die geringe Keimung nicht das Ergebnis von schlecht entwickelten Diasporen aufgrund von ungünstigen Witterungs- und Standortbedingungen war. So kann bei Arten mit einer ausgeprägten morphologischen oder morpho-physiologischen Dormanz eine Brechung der Keimruhe durch die Gabe von Phytohormonen (z. B. Gibberelinsäure) nicht erfolgen (VANELOOK et al. 2007). Die Anwendung von künstlicher Kältestratifikation, die meist als drei- bis vierwöchige Lagerung der Diasporen zwischen +5 und -5 °C im Kühlschrank erfolgt, reicht

nicht zur Dormanzbrechung aus, da eine deutlich längere Zeit für das Wachstum des Embryos benötigt wird. Die natürliche Kältestratifikation über ca. drei bis vier Monate im Boden, bei der die Diasporen zusätzlich Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, ist deshalb besser zur Überwindung der Samenruhe geeignet.

Entsprechend der Überlebensfähigkeit der Diasporen im Boden werden die Arten unterschiedlichen Diasporenbanktypen zugeordnet. Rückschlüsse darauf lassen sich unter anderem aus dem Keimverhalten der Arten ziehen (OTTE et al. 2006). In der Datenbank von THOMPSON et al. (1997), einer bibliographischen Übersicht, finden sich Angaben zu den vier Diasporenbanktypen (1 = transient, 2 = kurzzeit-persistent, 3 = langzeit-persistent, 4 = unklarer Diasporenbanktyp) bzw. der vermutlichen Überlebensdauer der Diasporen im Boden. Für *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini* und *Seseli annuum* findet sich jeweils nur ein Hinweis auf das Vorhandensein eines transienten und für *Falcaria vulgaris* auf einen kurzzeit-persistenten Diasporenbanktyp. Für die übrigen Arten gibt es jedoch Mehrfachnennungen. Für *Conium maculatum* (einmal Typ 1, einmal Typ 2) und *Pastinaca sativa* (zweimal Typ 2, dreimal Typ 3) werden zwei verschiedene Diasporenbanktypen angegeben. Hinweise auf drei verschiedene Diasporenbanktypen gibt es für *Pimpinella saxifraga* (elfmal Typ 1, einmal Typ 2, zweimal Typ 4). Alle vier Diasporenbanktypen werden für *Daucus carota* (fünfmal Typ 1, achtmal Typ 2, fünfmal Typ 3, sechsmal Typ 4), *Heracleum sphondylium* (zwölfmal Typ 1, zweimal Typ 2, zweimal Typ 3, einmal Typ 4) und *Torilis japonica* (dreimal Typ 1, einmal Typ 2, einmal Typ 3, zweimal Typ 4) angegeben. Andererseits wird die Überlebensfähigkeit der Diasporen im Boden für *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa* und *Torilis japonica* unter anderem von mehr als fünf Jahren angegeben, was auf einen langzeit-persistenten Diasporenbanktyp hinweist. Für *Falcaria vulgaris* geben WÄLDCHEN et al. (2005) jedoch weniger als ein Jahr an. Überhaupt keine Angaben waren für *Peucedanum oreoselinum* und *Seseli hippomarathrum* zu finden. Die in dieser Studie vorgestellten Keimergebnisse weisen für *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica* auf den Aufbau einer kurzzeit-persistenten Diasporenbank hin, da sie nach Überwinterung sehr gut in einem breiten Temperaturbereich keimten. Demgegenüber lassen sich *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Falcaria vulgaris*, *Pastinaca sativa* und *Pimpinella saxifraga* eher dem langzeit-persistenten Diasporenbanktyp zuordnen, da die Arten sowohl im Erntejahr als auch nach Überwinterung nur gering oder gar nicht keimten. Die Bewertung für *Seseli annuum* und *S. hippomarathrum* ist nicht eindeutig; wahrscheinlich liegt ein langzeit-persistenter Diasporenbanktyp vor.

Im Vergleich zu Vertretern anderer Familien (Caryophyllaceae, Asteraceae) bilden die der Apiaceae relativ große und schwere Diasporen aus, die nicht so schnell den Boden durchdringen und gern von Herbivoren gefressen werden (MITTELBACH & GROSS 1984). Damit haben sie trotz ausgeprägter Dormanz geringere Chancen, um eine langfristige Diasporenbank aufzubauen.

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. Von den in dieser Studie untersuchten Arten gehören *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Pastinaca sativa*, *Seseli annuum* und *Torilis japonica* zu den kurzlebigen Vertretern, während *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga* und *Seseli hippomarathrum* ausdauernde Hemikryptophyten sind. Eine Korrelation von Lebensdauer und kurz- bzw. langzeit-persistentem Diasporenbanktyp lässt sich jedoch nicht eindeutig feststellen.

Ebenso lässt sich ein Zusammenhang zwischen der Habitatpräferenz und der Keimungsbiologie der Arten nur vermuten: So wiesen die ausgesprochen trockene (flachgründige) Standorte bevorzugenden Xerothermasenarten *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum* und *Peucedanum oreoselinum* (eventuell auch *Pimpinella saxifraga*) schon eine optimale Keimung unter warmen Bedingungen im Erntejahr auf, während dies bei den frischere bis feuchtere Standorte bevorzugenden Ruderalarten *Conium maculatum* und *Heracleum sphondylium* erst nach Überwinterung der Diasporen überhaupt und dann unter kalten Bedingungen der Fall ist. Auffallend ist auch, dass mäßig trockene bis frischere Standorte bevorzugende Arten wie *Daucus carota* und *Torilis japonica* sowohl im Herbst wie auch im Frühjahr erfolgreich sein können. Ebenso zeigen die beiden Vertreter der thermophilen Säumen (*Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*) in beiden Jahren keine oder nur sehr geringe Keimung, ebenso wie die beiden Ruderalarten *Falcaria vulgaris* und *Pastinaca sativa*.

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass die Vertreter aus der Familie der Apiaceae in ihrer Keimung meist durch mehr oder weniger stark ausgeprägte morphologische bzw. morpho-physiologische Dormanz verzögert sind, was bei der kurzfristigen Bewertung von Renaturierungsmaßnahmen berücksichtigt werden muss. Ein Keimungs- bzw. Etablierungserfolg stellt sich bei diesen Arten wohl erst nach mehreren Jahren ein.

6 Zusammenfassung

PARTZSCH, M.: Zur Keimungsbiologie von zwölf ausgewählten Ruderal-, Wiesen und Xerothermrassenarten. - Teil 5: Apiaceae. - *Hercynia N. F.* 45 (2012): 173 – 192.

Die Keimung gehört zu den wichtigsten Prozessen im Lebenszyklus einer Pflanze und deren Kenntnis ist von großer Bedeutung für die Effizienzkontrolle im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen bzw. von ökologischen Experimenten. Mit der vorliegenden Studie wird die Publikationsreihe zur Keimungsbiologie von Arten der Xerothermrassen, Wiesen und angrenzender ruderal(segetal) beeinflusster Habitate fortgesetzt. Die folgenden zwölf Vertreter aus der Familie der Apiaceae waren Gegenstand dieser Untersuchungen: *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium*, *Pastinaca sativa*, *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum*, *S. hippomarathrum*, *Torilis japonica*.

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 in Frühjahr, Sommer und Herbst im Gebiet des mitteldeutschen Trockengebietes 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 *Bupleurum falcatum*, *Cervaria rivini*, *Conium maculatum*, *Falcaria vulgaris*, *Heracleum sphondylium* und *Pastinaca sativa* im Erntejahr kaum oder gar nicht keimten, während *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum* und *S. hippomarathrum* zwischen 30 und 50 % und *Daucus carota*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica* zu ca. 70 % keimten. Bei *Peucedanum oreoselinum*, *Pimpinella saxifraga*, *Seseli annuum* und *S. hippomarathrum* lag die optimale Keimung im warmen und bei *Daucus carota* und *Torilis japonica* im heißen Bereich. Durch Überwinterung wurde die Keimung bei *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica* in einem breiten Temperaturbereich, vor allem unter kalten Bedingungen, gefördert. Dies weist auf eine morphologische oder morpho-physiologische Dormanz hin. Bei den übrigen Arten scheint eine noch tiefere Dormanz vorzuliegen, da auch nach Überwinterung die Keimung kaum gefördert wurde. Generell führt die natürliche Kältestratifikation jedoch dazu, dass die Diasporen deutlich früher zu keimen begannen.

Hinsichtlich des Diasporenbanktyps wird für *Conium maculatum*, *Daucus carota*, *Heracleum sphondylium*, *Peucedanum oreoselinum* und *Torilis japonica* ein kurzzeit-persistenter Typ vermutet, bei den übrigen Arten ein langzeit-persistenter Typ. Zusammenhänge zwischen der Lebensdauer bzw. der Habitatpräferenz der Arten konnten nicht eindeutig festgestellt werden.

Bei Renaturierungsversuchen durch Samenaddition oder experimentellen Ansätzen mit Arten aus der Familie der Apiaceae sollten längere Zeitspannen für die Erfolgskontrolle eingeplant werden.

7 Danksagung

Für die Unterstützung bei der Durchführung der Keimversuche bedanke ich mich ganz herzlich bei Frau Christine Voigt, Lisa Eichel, Constanze Nossol und Anja Schmidt. Für die Bereitstellung der Klimadaten danke ich Herrn Dr. Jürgen Döring. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes bedanke ich mich bei Herrn Dr. Anselm Krumbiegel.

8 Literatur

- AL-HAWIJA, B. N., PARTZSCH, M., HENSEN, I. (2012): Effects of temperature, salinity and cold stratification on seed germination in halophytes. - *Nordic J. Bot.* 30: 627 – 634.
- AUGÉ, R., BOURGÉAIS, P., PÉRON J. Y. (1989): Etude des conditions de la germination des semences de cerfeuil tubéreux (*Chaerophyllum bulbosum* L.). - *Acta Horticulturae* 242: 239 – 247.
- BASKIN, C. C., MEYER, S. E., BASKIN, J. M. (1995): Two types of morphophysiological dormancy in seeds of two genera (*Osmorhiza* and *Erythronium*) with an arcto-tertiary distribution pattern. - *Am. J. Bot.* 82: 293 – 298.
- BASKIN, C. C., MILBERG, P., ANDERSSON, L., BASKIN, J. M. (2000): Deep complex morphophysiological dormancy in seeds of *Anthriscus sylvestris* (Apiaceae). - *Flora* 200: 245 – 251.
- 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.
- COCHRANE, A., BROWN, K., MEESON, N., HARDING, C. (1999): The germination requirements of *Hemigenia exilis* (Lamiaceae) - seed plug removal and gibberellic acid as a successful technique to break dormancy in an arid zone shrub from Western Australia. - *CALMScience* 3: 21 – 30.
- DÖRING J., BORG, H. (2008): Ist das Klima von Halle (Saale) noch „normal“? Betrachtungen anhand der Temperatur- und Niederschlagsreihe von 1851 bis heute. - *Hercynia N. F.* 41: 3 – 21.
- FENNER, M., THOMPSON, K. (2005): *The ecology of seeds*. - Cambridge University Press, Cambridge.
- FINCH-SAVAGE, W. E., LEUBNER-METZGER, G. (2006): Seed dormancy and the control of germination. - *New Phytologist* 171: 501 – 523.
- GRIME, J. P., HODGSON, J. G., HUNT, R. (2007): *Comparative plant ecology. A functional approach to common British species*. - Castlepoint Press, Colvend.
- 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.*
- KHAN, M. A., UNGAR, I. A. (1996): Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex Boiss. - *Ann. Bot.* 78: 547 – 551.
- KHAN, M. A., UNGAR, I. A. (1997): Alleviation of seed dormancy on the desert forb *Zygophyllum simplex* L. from Pakistan. - *Ann. Bot.* 80: 395 – 400.
- 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.
- LHOTSKA, M. (1977): Notes on the ecology of germination in *Myrrhis odorata*. - *Folia Geobot. Phytotax.* 12: 209 – 213.
- MANN, S., TISCHEW, S. (2010): Die Entwicklung von ehemaligen Ackerflächen unter extensiver Beweidung (Wulfener Bruch). - *Hercynia N. F.* 43: 119 – 147.
- MARQUARD, E., WEIGELT, A., TEMPERTON, V. M., ROSCHER, C., SCHUMACHER, J., BUCHMANN, N., FISCHER, M., WEISER, W. W., SCHMID, B. (2009): Plant species richness and functional composition drive overyielding in a six-year grassland experiment. - *Ecol.* 90: 3290 – 3302.
- MITTELBACH, G. G., GROSS, K. L. (1984): Experimental studies of seed predation in old-fields. - *Oecologia* 65:7 – 13.
- 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.
- MÜNZBERGOVÁ, Z. (2004): Effect of spatial scale on factors limiting species distributions in dry grassland fragments. - *J. Ecol.* 92: 854 – 867.
- OJALA, A. (1985): Seed dormancy and germination in *Angelica archangelica* subsp. *archangelica* (Apiaceae). - *Ann. Bot. Fenn.* 22: 53 – 62.

- OTTE, A., BISSELS, S., WALDHARDT, R. (2006): Samen-, Keimungs- und Habitateigenschaften: Welcher Parameter erklärt Veränderungstendenzen in der Häufigkeit von Ackerwildkräutern in Deutschland? - J. Plant Diseases and Protection. Sonderh. XX: 507 – 516.
- 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.
- PARTZSCH, M. (2010): Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten xerothermen Grasarten. - *Hercynia* N. F. 43: 299 – 317.
- PARTZSCH, M. (2011a): Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrassenarten - Teil 2: Caryophyllaceae. - *Hercynia* N. F. 44: 127 – 144.
- PARTZSCH, M. (2011b): Zur Keimungsbiologie ausgewählter Xerothermrassenarten - Teil 3: Asteraceae. - *Hercynia* N. F. 44: 211 – 227.
- PARTZSCH, M. (2012): Zur Keimungsbiologie von zehn ausgewählten Ruderal- und Xerothermrassenarten - Teil 4: Fabaceae. - *Hercynia* N. F. 45: 125 – 144.
- 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.
- 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.
- STEIN, C., AUJE, H., FISCHER, M., WEISSER, W. W., PRATI, D. (2008): Dispersal and seed limitation affect diversity and productivity of montane grasslands. - *Oikos* 117: 1469 – 1478.
- 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., CERIANI, R. M., BAKKER, J. P., BEKKER, R. M. (2003): Are seed dormancy and persistence in soil related? - *Seed Sci. Res.* 13: 97 – 100.
- TURNBULL, L. A., CRAWLEY, M. J., REES, M. (2000): Are plant populations seed-limited? A review of seed sowing experiments. - *Oikos* 88: 225 – 238.
- TIMSON, J. (1965): New method of recording germination data. - *Nature* 207: 216 – 217.
- VANDELOOK, F., BOLLE, N., VAN ASSCHE, J. A. (2007): Seed dormancy and germination of the European *Chaerophyllum temulum* (Apiaceae), a member of a trans-atlantic genus. - *Ann. Bot.* 100: 23 – 239.
- VANDELOOK, F., VAN DE MOER, D., VAN ASSCHE, J. A. (2008): Environmental signals for seed germination reflect habitat adaptations in four temperate Caryophyllaceae. - *Funct. Ecol.* 22: 470 – 478.
- 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.
- WÄLDCHEN, J., PUSCH, J., LUTHARDT, V. (2005): Zur Diasporen-Keimfähigkeit von Segetalpflanzen - Untersuchungen in Nord-Thüringen. - *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.* 39: 145 – 156.
- WAHL, S., PARTZSCH, M. (2008): Untersuchungen zur Neuansiedlung von drei seltenen Xerothermrassenarten in artenarmen Dominanzbeständen von *Festuca rupicola* Heuff. - *Hercynia* N. F. 41: 99 – 119.
- ZEITER, A., STAMPFLI, A., NEWBERY, D. M. (2006): Recruitment limitation constrains local species richness and productivity in dry grassland. - *Ecol.* 87: 942 – 951.

Manuskript angenommen: 20. November 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