



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Experimente zur Präferenz myrmekochorer Diasporen

- Der Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Elaiosomen auf das Wegtrageverhalten bei *Myrmica rubra* (Formicidae; Myrmicinae) -

angestrebter akademischer Grad

Magister/Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.) bzw.
Magister/Magistra der Pharmazie (Mag.pharm.)

Verfasserin:	Sofia Lehrner
Matrikel-Nummer:	0103313
Studienrichtung:	A 439
Betreuer:	Dr. Anton Weber Dipl.- Biol. Dr. Veronika Mayer

Wien, im November 2009

Inhaltsverzeichnis:

Deutsche Zusammenfassung	1
Englische Zusammenfassung	3
1. Einleitung	5
2. Material & Methode	9
2.1. Versuchsobjekte	9
2.1.1. <i>Myrmica rubra</i> (Myrmicidae, Hymenoptera)	9
2.1.2. Pflanzen	9
2.1.3. Einfangen und Haltung der Versuchstiere	14
2.1.4. Einsammeln der Samen	16
2.2. Versuchsablauf	16
2.2.1. Freilandversuche	16
2.2.2. Laborversuche	17
2.3. Statistische Auswertung	18
2.3.1. Vergleich Freilandversuche/Laborversuche	18
2.3.2. Korrelationen mit Inhaltsstoffen	19
3. Ergebnisse	20
3.1. Freilandversuche	20
3.2. Laborversuche	23
3.2.1. Pflanzenarten, die den ganzen Versuchsverlauf bevorzugt wurden	23
3.2.2. Pflanzenarten, die nach 30 und 120 min bevorzugt wurden	27
3.2.3. Pflanzenpaare, die nach 15 und 30 min bzw. zu einem Zeitpunkt Unterschied in ihrer Wegtragerate zeigten	29
3.2.4. Pflanzenpaare, die keinen Unterschied in ihrer Wegtragerate zeigten	30
3.3. Vergleich zwischen Labor und Freiland	31
3.4. Korrelationen	33
4. Diskussion	36
4.1. Präferenzen	36
4.2. Korrelationen	38
5. Literatur	45
6. Danksagung	48
7. Curriculum vitae	49

Zusammenfassung:

Myrmekochorie, die Ausbreitung von Früchten und Samen durch Ameisen, ist ein weltweites Phänomen, das bei über 3000 Pflanzenarten aus 80 verschiedenen Familien zu beobachten ist. Myrmekochore Diasporen besitzen Anhängsel, sogenannte Elaiosomen, die vor allem reich an Lipiden und freien Aminosäuren sind. Elaiosomen werden von Ameisen-Arbeiterinnen abtransportiert und an die Larven verfüttert, die diese Nährstoffe für Wachstum und Entwicklung brauchen. Sie stellen daher eine einträgliche Energiequelle für Ameisen dar. Die Pflanzen ziehen ebenfalls einen Vorteil aus diesem Mutualismus, denn ihre Diasporen werden somit ausgebreitet und/oder von den Ameisen ins Nest getragen und erhalten dadurch vor Prädatoren und Feuer geschützt.

In dieser Studie wurden im Labor die Diasporen 10 verschiedener temperater Pflanzenarten auf ihre Attraktivität bei *Myrmica rubra* untersucht. Zusätzlich wurden mit 5 dieser 10 Arten Versuche im Freiland durchgeführt, um zu testen, ob die Ergebnisse aus dem Labor auf die Freilandbedingungen übertragbar sind. Weiters wurde untersucht, ob die Präferenz bestimmter Pflanzenarten durch verschiedene Inhaltsstoffe ihrer Elaiosomen beeinflusst wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass Diasporen von *Knautia dipsacifolia*, *Knautia arvensis*, *Helleborus niger* und *Corydalis cava* bei den Versuchen am attraktivsten waren, während jene von *Galanthus nivalis*, *Leucojum vernum* und *Asarum europaeum* eindeutig unattraktiver waren. Ein möglicher Grund könnte das Gesamtgewicht der Diasporen sein. Denn die beiden unattraktivsten Diasporen waren die größten und schwersten Diasporen, was den Ameisen den Abtransport offenbar erschwert. Einzelne Aminosäuren wie Glutamat, Histidin, Arginin und Tyrosin, sowie der Gesamtkohlenhydratgehalt und in geringem Maße Trehalose scheinen einen Einfluss auf die Wegtragerate von Früchten und Samen bei *M. rubra* zu haben.

Hierbei scheint Glutamat jener Inhaltsstoff zu sein, der die Attraktivität der Diasporen der präferierten Pflanzenarten am meisten beeinflusst. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung kann man nicht mit Gewissheit sagen, ob eine hohe oder niedrige Konzentration dieser Inhaltsstoffe für eine höhere Attraktivität verantwortlich ist, da man keinen generellen Trend feststellen kann. Die Konzentration an Glutamat z. B. war zwar in den attraktivsten Früchten (*K. dipsacifolia* und *K. arvensis*) am höchsten und in den unattraktivsten (*G. nivalis* und *L. vernum*) am niedrigsten, jedoch hatten Pflanzenarten, die in

ihrer Präferenz in der Mitte lagen (*Symphytum officinale* und *Pulmonaria officinalis*) einen wesentlich höheren Gehalt an Glutamat in ihren Elaiosomen. Ähnliches gilt für die restlichen Aminosäuren. *H. niger* zum Beispiel lag weit oben in der Präferenzliste für *M. rubra*, hat jedoch den geringsten Histidin-Gehalt in seinen Elaiosomen. Umgekehrt sieht es beim Gesamtkohlenhydratgehalt aus, der zwar bei den unattraktivsten Diasporen am höchsten war, jedoch bei den übrigen Arten keinem Trend gefolgt ist.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen daher vermuten, dass nicht einzelne Elaiosominhaltsstoffe, sondern synergistische Effekte bei Mischungen oder ein bestimmtes Verhältnis verschiedener Inhaltsstoffe eine Rolle bei der Attraktivität spielen. Zusätzlich könnten Diasporeneigenschaften, wie etwa Gesamtgröße und –masse, von Bedeutung sein und die Präferenz von Früchten und Samen bei *Myrmica rubra* beeinflussen.

Summary:

Myrmecochory, the dispersal of fruits and seeds by ants is a phenomenon, which can be observed worldwide in over 3000 plantspecies out of 80 different families. Myrmecochorous diaspores have appendages, so-called elaiosomes, which are particularly rich in lipids and free amino-acids. Elaiosomes are removed by ant workers and fed to the larvae, which are in need of these nutrients for growth and development. So they demonstrate a rentable source of energy for ants. The plants also benefit from this mutualism, because their diaspores get dispersed or are carried from the ants into their nests where they are protected against predators and fire.

In this study, diaspores of 10 temperate plant species were examined as to their attractiveness to *Myrmica rubra* in the laboratory. Additionally, experiments with 5 of these 10 species were made in field, in order to test whether or not the laboratory results are similar to those under field conditions. Furthermore it was determined, whether the preference of certain plant species is influenced by different compounds in the elaiosomes.

The results show that the diaspores of *Knautia dipsacifolia*, *Knautia arvensis*, *Helleborus niger* and *Corydalis cava* were the most attractive ones, while those of *Galanthus nivalis*, *Leucojum vernum* and *Asarum europaeum* proved rather unattractive for *M. rubra*. One reason is possibly the total weight of the diaspore (seed/fruit + elaiosome). As the most unattractive diaspores were the biggest and heaviest, so the transport for the ants may be cumbersome. Particular amino-acids such as glutamate, histidine, arginine and tyrosine, plus the total carbohydrate content and, to a minor degree, trehalose seem to have an influence on the carrying rate/bear away rate of the diaspores. Here glutamate seems to be the ingredient which has the greatest influence on the attractiveness of the diaspores of the preferred plant species.

From my results it is difficult to say whether a high or low concentration of these compounds is responsible for the attractiveness, because there is no general trend. The glutamate concentration, for example, is highest in the most attractive diaspores (*K. dipsacifolia* und *K. arvensis*) and lowest in the most unattractive ones (*G. nivalis* und *L. vernum*), but some plant species, which were intermediate in their preference (*Symphytum officinale* und *Pulmonaria officinalis*) had a much higher concentration in their elaiosomes. The same applies to other

amino-acids. *H. niger* diaspores, for example, were leading in the preference list of *M. rubra*, but had the lowest histidine-concentration in its elaiosomes. Conversely, the total carbohydrate concentration was highest in the most unattractive diaspores, but this does not seem to follow a trend in the other species. So the results of the present investigations suggest that not single elaiosome compounds, but synergistic effects in composition or a certain proportion of different compounds are responsible for attractiveness. Additionally, diaspore characteristics such as total diaspore mass and weight may be important and may influence the bearing-away behaviour of *Myrmica rubra*.

1. Einleitung

Als Myrmekochorie wird die Ausbreitung von Früchten und Samen durch Ameisen bezeichnet. Das erste Mal wurde der Begriff 'Myrmekochorie' 1906 von Rutger Sernander verwendet und definiert. Er bezeichnete Diasporen, deren Ausbreitungseinheiten bestimmte morphologische Anpassungen an den Transport durch Ameisen besitzen, als 'myrmekochor' (Sernander, 1906).

Myrmekochorie ist ein weit verbreitetes Phänomen. Über 3000 Pflanzenarten aus 80 verschiedenen Familien besitzen Samen, Früchte oder Teilfrüchte mit solchen Elaiosomen. Die meisten Pflanzen, die von Ameisen ausgebreitet werden, finden sich vor allem in regelmäßig von Buschbränden heimgesuchten Habitaten in Australien (~ 1500 Arten) und Süd-Afrika (~ 1300 Arten). Weiters sind etwa 300 Pflanzenarten der nördlichen Hemisphäre, hauptsächlich krautige Pflanzen des Unterholzes in Wäldern gemäßigter Zonen, und einige Arten in den Tropen, in den Wüsten Nord-Amerikas und in der mediterranen Regionen gefunden worden (Hughes & Westoby, 2002).

Myrmekochore Pflanzen besitzen nährstoffreiche Anhängsel, „Fettkörperchen“, die von Sernander (1906) als 'Elaiosomen' (= Ölkörper) bezeichnet wurden. Diese Elaiosomen dienen den Ameisen als Anreiz und Lockmittel zum Abtransport und bewirken so eine Ausbreitung der Pflanzen. Die intakten Diasporen (Samen und Elaiosom) werden von den Ameisen eingesammelt und zum Nest gebracht, wo das Elaiosom entfernt und an die Brut verfüttert wird (Beattie, 1985; Fischer et al., 2005). Die Samen werden danach entweder von den Arbeiterinnen wieder aus dem Nest herausgetragen, auf Abfallhaufen innerhalb des Nestes deponiert oder eventuell von anderen Ameisen weiter verschleppt (Beattie, 1985; Hughes & Westoby, 1992b). Die Distanz, über die solche Samen getragen werden variiert bei unterschiedlichen Ameisenarten und beträgt durchschnittlich 1-2 m (Sernander, 1906; Hughes & Westoby, 1992b; Gómez & Espadaler, 1998), wobei in Trockengebieten Australiens sogar Distanzen mit bis zu 180m gemessen wurden (Whitney, 2002).

1963 wurden von Bresinsky erstmals genauere Untersuchungen zum Bau und der Entwicklungsgeschichte von Elaiosomen durchgeführt. Er fand heraus, dass die nährstoffreichen Gewebeauswüchse aus verschiedenen äußeren Teilen der Samen- bzw. Fruchtanlage entstehen können. So können Elaiosomen zum Beispiel aus der Chalazaregion (*Galanthus nivalis*, *Leucojum vernum*), der Raphe (*Helleborus*, *Asarum*, *Chelidonium*) oder dem Funiculus (*Primula acaulis*) des Samens entstehen. Weiters kann die Sarkotesta, ein Teil des Endosperms, Teile des Außeninteguments nahe der Mikropyle, oder bei Früchten das

Exokarp oder der Fruchtboden (z. B. *Pulmonaria officinalis*) als Ausgangsort der Entstehung von Elaiosomen dienen. Form und Größe der Elaiosomen variieren bei den einzelnen Pflanzenarten und können sogar innerhalb von Arten verschieden ausgebildet sein (Gorb & Gorb, 2003).

Die Ausbreitung von Diasporen durch Ameisen ist ein schönes Beispiel für einen Mutualismus, also eine Beziehung zwischen Individuen, bei der beide profitieren und es keine offensichtlichen/gravierenden Kosten gibt. Die Vorteile der Myrmekochorie für die Pflanzen wurden bisher genauer erfasst, als die Vorteile für die Ameisen: (1) die Diasporen werden von den Ameisen ins Nest getragen und werden so vor Raub durch andere Tier geschützt, (2) durch das Ausbreitung der Diasporen durch Ameisen wird die inter- und intraspezifische Konkurrenz innerhalb der Pflanzen reduziert, (3) durch unterirdisches Deponieren in Ameisennester werden die Diasporen vor Feuer geschützt, (4) durch Ameisen werden die Diasporen teilweise über weite Distanzen von der Mutterpflanze weggetragen, wodurch für eine Fernausbreitung gesorgt wird, (5) der Boden unter und in der Nähe von Ameisennestern ist reich an Nährstoffen, die für Pflanzen notwendig sind (Beattie, 1985). Oberrath (2000) fand heraus, dass Pflanzen, die durch Ameisen ausgebreitet werden, ihre Blüte- und Fruchtzeit an die saisonalen Schwankungen der Aktivität der Ameisen anpassen können. So blühen und fruchten Pflanzenarten, die durch Ameisen ausgebreitet werden, früher im Jahr als Arten mit anderen VAusbreitungsmodi. Dadurch wird die Chance auf eine erfolgreiche Ausbreitung der Samen gesteigert und somit die Fitness der Pflanzen erhöht (Oberrath, 2000).

Über die Vorteile für die Ameisen ist weniger Literatur zu finden. Untersuchungen ergaben, dass Ameisenkolonien, die mit Elaiosomen zugefüttert wurden, mehr überwinterte Larven produzierten und ein höheres Larvalgewicht hatten und letztendlich die Anzahl der Nachkommen höher war als jene, die elaiosomenfreies Futter bekamen (Gammans et al., 2005). Weiters haben Morales und Heithaus (1998) gezeigt, dass die Ergänzung der Nahrung durch Elaiosomen den Anteil der weiblichen Tiere bei *Aphenogaster rudis* erhöhen kann. Fokuhl et al. (2007) fanden heraus, dass das Zufüttern von Elaiosomen einen Einfluß auf die Größe einer Ameisenkolonien von *Myrmica rubra* hat. Bei Ameisen, die Elaiosomen als Nahrung erhielten, entwickelten sich mehr Arbeiterinnen aus derselben Anzahl von Larven, als in der Kontrollgruppe, an die keine Elaiosomen verfüttert wurden. Weitere Untersuchungen zeigten, dass in Ameisenkolonien, in denen Elaiosomen zugefüttert wurden, im Labor mehr weibliche Nachkommen produzierten wurden, während im Freiland mehr in Männchen investiert wurde (Bono & Heithaus, 2002).

Wie bereits oben erwähnt sind Elaiosomen nährstoffreiche Anhängsel, die vor allem Lipide enthalten. Untersuchungen an verschiedenen Pflanzenarten, die durch Ameisen ausgebreitet werden, ergaben, dass Ölsäure und Palmitinsäure die Hauptkomponenten am Lipidanteil einnehmen, wobei hierbei vor allem die Diglyceride eine Rolle spielen (Kusmenoglu et al., 1989; Lanza et al., 1992; Fischer et al., 2008). Man weiß, dass Öl- und Palmitinsäure in der Hämolymphe mancher Insekten enthalten sind. Man nimmt daher an, dass die Ameisen diese Fettsäuren als Nährstoff für ihren Stoffwechsel brauchen (Beattie, 1985). Neben den Fetten sind Elaiosomen auch reich an Kohlenhydraten, Proteinen, freien Aminosäuren und Vitaminen (Bresinsky, 1963; Fischer et al., 2008). Fischer et al. (2008) untersuchten die chemischen Inhaltsstoffe von 15 myrmekochoren Pflanzenarten Mitteleuropas und verglichen die Konzentrationen in den Samen und Elaiosomen. Sie fanden heraus, dass die Konzentration an freien Aminosäuren in den Elaiosomen wesentlich höher waren als in den Samen, während in den Samen ein höherer Proteingehalt zu finden war (Fischer et al., 2008).

Es gibt viele Vermutungen über die Auslöser des Trageverhaltens bei Ameisen. Bresinsky (1963) vermutete, dass Ricinoleinsäure für dieses Verhalten verantwortlich ist. Andere Untersuchungen wiederum ergaben, dass vor allem das Diglycerid 1,2 - Diolein ein attraktiver Anreiz für die Ameisen ist und einen Abtransport der Diasporen bewirkt (Marshall et al., 1979; Skidmore & Heithaus, 1988; Brew et al., 1989; Lanza et al., 1992). Weitere chemische Substanzen wie Ölsäure und Triolein wurden ebenfalls als Auslöser für das Trageverhalten vermutet (Brew et al., 1989), jedoch sind wahrscheinlich noch weitere Faktoren beteiligt (Gibbons, 2004). Was genau jedoch ein solches Trageverhalten bei Ameisen auslöst, ist bis heute nicht geklärt.

Hughes et al. (1994) konnten zeigen, dass 1,2 – Diolein nicht nur einfach als Lockmittel zum Abtransport für die Ameisen dient. Verschiedene Ameisenarten reagierten unterschiedlich auf diesen Inhaltsstoff. Je attraktiver Elaiosomen für die Ameisen waren, desto eher reagierten sie auf 1, 2 – Diolein. Diese Substanz ist eine Fettsäure, die eine der Hauptkomponenten der Hämolymphe von Insekten darstellt. Die Ergebnisse von Hughes et al. (1994) stützen die Hypothese, dass Pflanzen in den Elaiosomen die chemische Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, die das Trageverhalten auslösen, an jene von wirbellosen Beutetieren anpassen. Weitere Ergebnisse bestätigten diese Hypothese: Die Fettsäurezusammensetzung der Elaiosomen von 12 untersuchten Pflanzenarten war denen der Insekten ähnlicher als die Fettsäurezusammensetzung der Samen derselben Art. Der Gehalt an Palmitin-, Palmitolein-,

Stearin- und Oleinsäure war in Elaiosomen und Insekten teilweise gleich (Hughes et al., 1994).

Obwohl viel Information über die Inhaltsstoffe von Elaiosomen in der Literatur zu finden ist, gibt es jedoch kaum Untersuchungen darüber, ob unterschiedliche Konzentrationen der verschiedenen Inhaltsstoffe einen Einfluss darauf haben, ob die Diasporen bestimmter Pflanzenarten bevorzugt wird oder nicht.

Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, ob es bei einer ausgewählten Ameisenart, *Myrmica rubra*, Präferenzen bezüglich der Diasporen (Früchte, Teilfrüchte und Samen) von 10 ausgewählten mitteleuropäischer Pflanzenarten gibt. Weiters soll die Frage beantwortet werden, ob eine höhere Attraktivität der Diasporen bestimmter Pflanzenarten von den unterschiedlichen Konzentrationen der Inhaltsstoffe der Elaiosomen dieser Pflanzen beeinflusst wird.

2. Material & Methode

2. 1. Versuchsobjekte

2. 1. 1. *Myrmica rubra* L. (Myrmicinae)

Die Rote Gartenameise ist ein Allesfresser. Neben Aas, Insekten, Nektar und Ausscheidungen von Blattläusen und Schildläusen frisst sie auch Elaiosomen (Seifert, 1996). Sie spielt damit für die Verbreitung vieler Pflanzenarten eine Rolle und wurde auch aus diesem Grund für die Fütterungsversuche herangezogen. (Beattie, 1985). Die Königinnen sind etwa 7-8 mm groß, dunkelrot, die Arbeiterinnen sind mit 5-7 mm etwas kleiner und oft auch braun gefärbt.



Fig. 1: *Myrmica rubra*, Königin, Arbeiterinnen und Larven

2. 1. 2. Pflanzen

Alle für die Versuche verwendeten Pflanzen sind myrmekochor und kommen in unserer heimischen Flora vor. Die Diasporen der einzelnen Pflanzenarten unterscheiden sich hinsichtlich ihres Gewichtes, dem Gewichtsanteil, der Form und dem morphologischen Ursprung ihres Elaiosoms (Tab. 1; Krückl, 2001).

Asarum europaeum (Haselwurz; Aristolochiaceae)

Die Haselwurz ist ein kriechender, ausdauernder Hemikryptophyt, der in frischen bis feuchten Laub- und Nadelmischwäldern, in Auenwäldern und Gebüsch wächst (Sebald et al., 1990 Band I; Rothmaler, 2002). Sie bildet als Frucht eine kugelige Kapsel Frucht aus, die dunkelbraune, eiförmige Samen mit einem länglichen anliegendem Elaiosom enthält (Fig. 2).

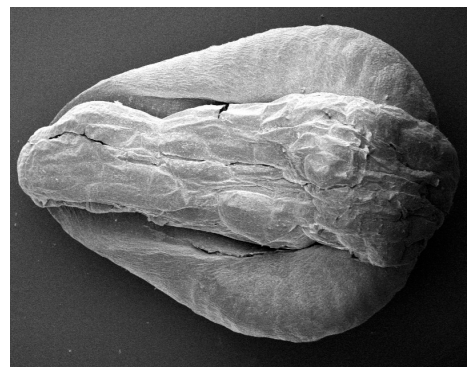


Fig. 2: Same von *A. europaeum* (©Krückl)

Chelidonium majus (Schöllkraut; Papaveraceae)

Das Schöllkraut ist ein Hemikryptophyt, der an frischen, nährstoffreichen, halbschattigen Ruderalstellen, an Wald- und Gebüschsäumen, in Parkanlagen und Robinienforsten vorkommt (Sebald et al., 1990; Rothmaler, 2002). Die Pflanze bildet lange Schotenfrüchte aus, die zweiklappig aufspringen und schwarze, nierenförmige Samen mit einem hanenkammartigen Elaiosom entlässt (Fig. 3).

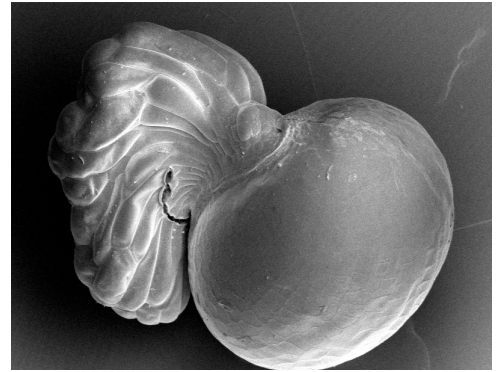


Fig. 3: Same von *Chelidonium majus* (©Krückl)

Corydalis cava (Hohler Lerchensporn, Hohlwurz; Fumariaceae)

Der Hohle Lerchensporn ist in frischen, nährstoffreichen Buchen-, Eichen-, Schlucht- und Auenwäldern, auf Streuobstwiesen und in Weinbergen zu finden. (Sebald et al., 1990). Die Pflanze bildet 2-2,5 cm lange, zuletzt nach unten hängende Früchte (Schoten) aus. Die Samen sind scheibenähnlich und schwarz, das Elaiosom ist weiß (Fig. 4).

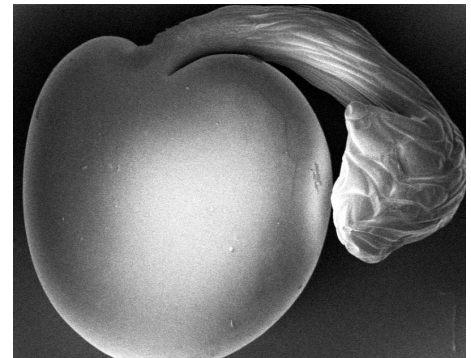


Fig. 4: Same von *Corydalis cava* (©Krückl)

Galanthus nivalis (Kleines Schneeglöckchen; Amaryllidaceae)

Der Geophyt wächst in frischen, sickerfeuchten Laubmischwäldern, besonders in Schlucht- und Auenwäldern, und Parkanlagen. Die Pflanze bildet als Frucht eine Kapsel aus, in der sich die gelblichen Samen befinden. Das Elaiosom ist fleischig und weißlich (Fig. 5).



Fig. 5: links *Galanthus nivalis* und rechts Elaiosom (©Krückl)

Helleborus niger (Schwarze Nieswurz, Schneerose, Christrose; Ranunculaceae)

Der Hemikryptophyt wächst in montanen Buchenmischwäldern und Legföhrengbüschen (Rothmaler, 2002) und bildet creme-weißliche, eiförmige Samen mit kammförmigen Elaiosomen aus (Fig. 6).

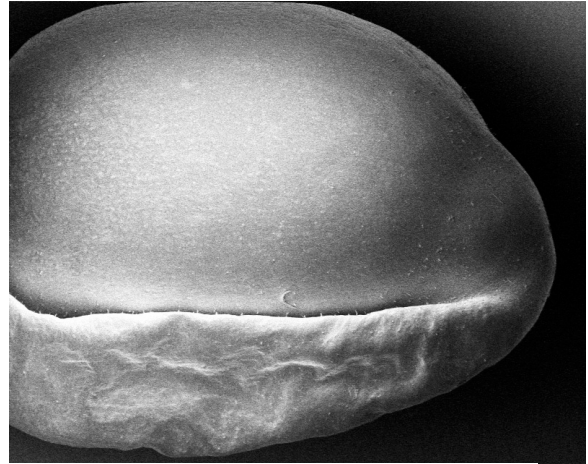


Fig. 6: Same von *Helleborus niger* (©Krückl)

Knautia arvensis (Wiesen-Witwenblume, Acker-Witwenblume; Dipsacaceae)

Die Wiesen-Witwenblume ist ein ein-zweijährig bis ausdauernder Hemikryptophyt. Sie ist eine schwach wärmeliebende und tiefwurzelnde Art, die auf frischen bis mäßig trockenen Wiesen, auf Halbtrockenrasen und extensiv genutzten Äckern, sowie an Wald- und Wegrändern wächst (Sebald et al., 1996.; Rothmaler, 2002). Die Früchte sind langgestreckt und besitzen kegelförmige Elaiosomen (Fig. 7).

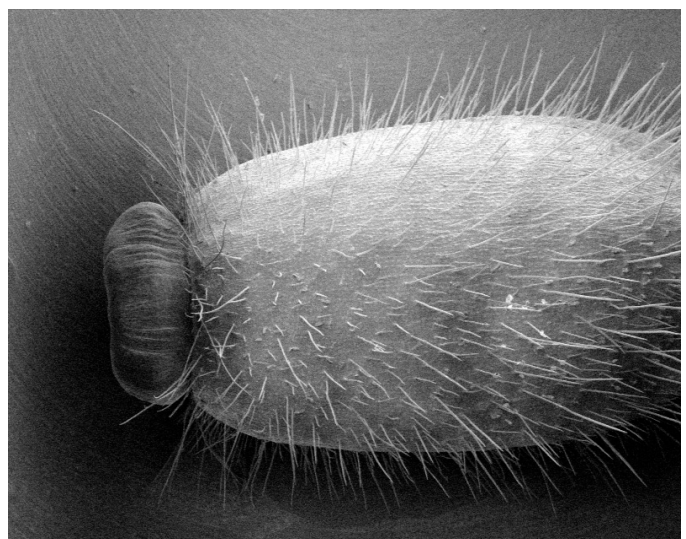


Fig. 7: links *Knautia arvensis* und rechts ihre Frucht (©Krückl)

Knautia dipsacifolia (Wald-Witwenblume; Dipsacaceae)

Der ausdauernde Hemikryptophyt wächst vorzugsweise auf mäßig nährstoff- und basenreichen, lockeren und humosen Böden. Die Wald-Witwenblume ist eine halbschattenliebende Pflanze, die in Staudenfluren, im Saum bachbegleitender Wälder und Auenwälder und an schattigen Wald- und Wegrändern zu finden ist (Sebald et al., 1996; Rothmaler, 2002). Die Früchte sind ähnlich wie bei *Knautia arvensis* langgestreckte, mit kegelförmigen Elaiosomen (Fig. 8).

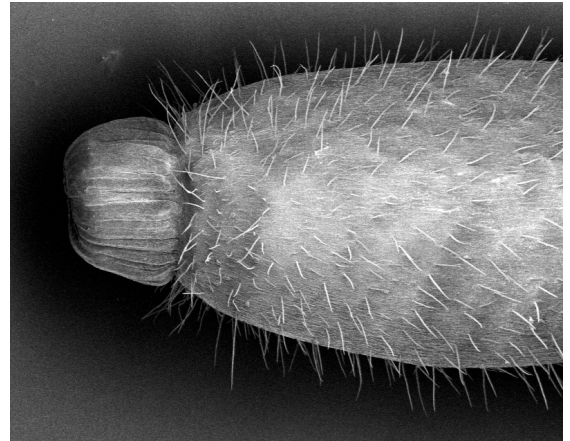


Fig. 8: Frucht von *Knautia dipsacifolia* (©Krückl)

Leucojum vernum (Frühlingsknotenblume, Märzbecher; Amaryllidaceae)

Die Frühlingsknotenblume ist ein Geophyt, der auf sickerfeuchten, nährstoffreichen, lockeren, meist etwas kalkhaltigen Ton- und Lehmböden, besonders in Schluchtwäldern, gern unterhalb von Felsen, in Wiesen, die an den Wald angrenzen oder in Moorwiesen zu finden ist (Sebald et al., 1998; Rothmaler, 2002). Die Frühlingsknotenblume blüht von März bis April und bildet als Frucht eine birnenförmige, fleischige Kapsel aus, in der die weißlichen Samen, mit den ebenfalls weißlichen und kegelförmigen Elaiosomen enthalten sind (Fig.9).

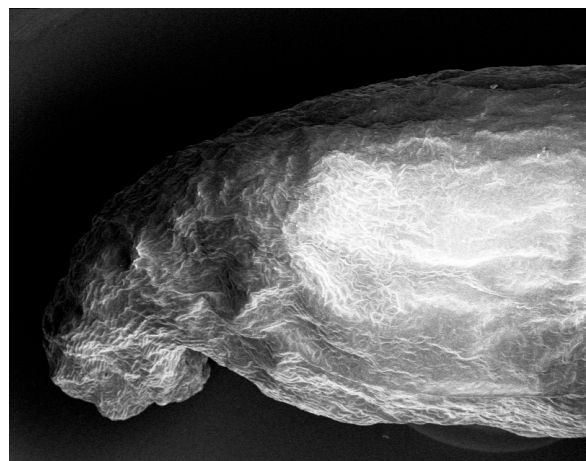


Fig. 9: links *Leucojum vernum* und rechts Elaiosom (©Krückl)

Pulmonaria officinalis (Echtes Lungenkraut, Geflecktes Lungenkraut; Boraginaceae)

Das Echte Lungenkraut ist ein ausdauernder Hemikryptophyt, das auf frischen bis mäßig feuchten Böden in Laubmisch- und Auenwäldern, an Wald- und Gebüschsäumen wächst und auch in Parks und Friedhöfen vorkommt (Sebald et al., 1996.; Rothmaler, 2002). Die Früchte sind dunkel olivbraun bis schwarz und glänzend, das Elaiosom ist knopfförmig und hell (Fig. 10).

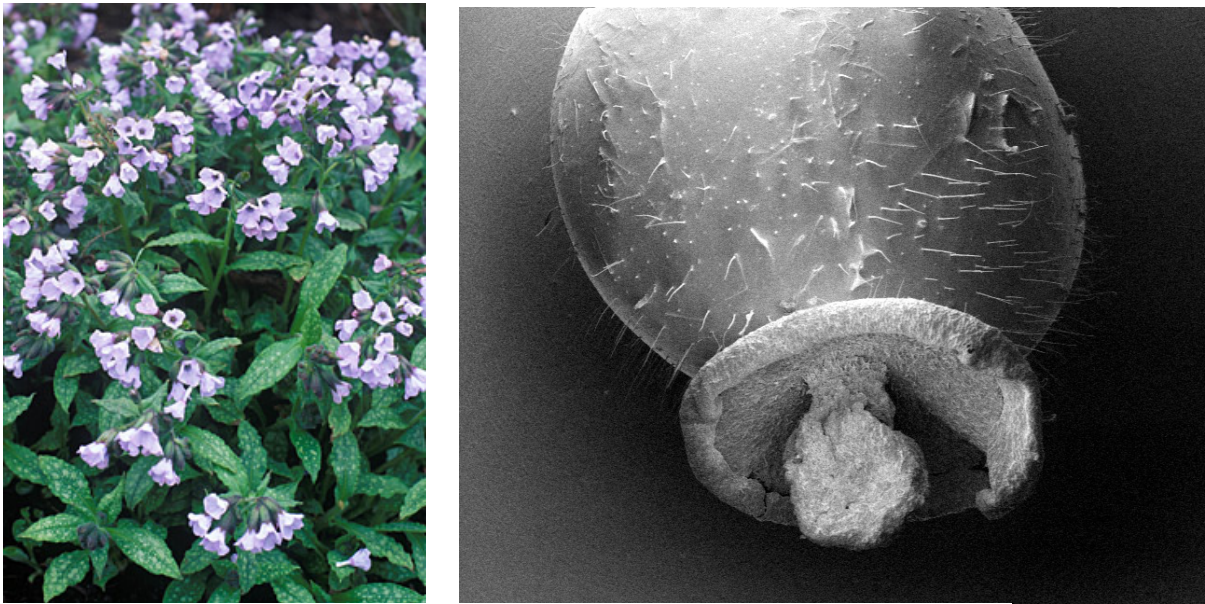


Fig. 10: links *Pulmonaria officinalis* und rechts Frucht mit Elaiosom (©Krückl)

Symphytum officinale (Gewöhnlicher Beinwell; Boraginaceae):

Der Gewöhnliche Beinwell ist ein Geo- oder Hemikryptophyt und ist eine nährstoffanspruchsvolle Pflanze, die auf feuchten bis nassen nährstoff- und basenreichen Böden wächst und unter anderem auf nassen Wiesen, Uferstaudenfluren, in Auen- und Bruchwäldern und an Bach- und Grabenrändern zu finden ist (Sebald et al., 1998; Rothmaler, 2002). In der Fruchtzeit entstehen glatte, glänzende Teilfrüchte, die Samen sind dunkelbraun und besitzen ein knopfförmiges, weißes Elaiosom (Fig. 11).

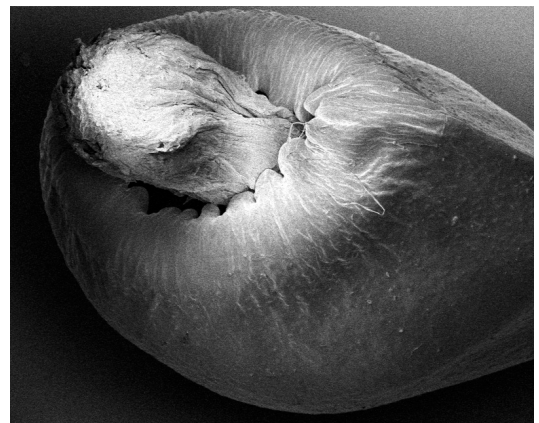


Fig. 11: Diaspore von *Symphytum officinale* (Gewöhnlicher Beinwell; ©Krückl)

Tab. 1: Gewicht (S+E = Gesamtdiaspore; S = Samen alleine; E = Elaiosom alleine), %-Anteil des Samens (S) bzw. Elaiosoms an der Gesamtdiaspore, Blüte- und Fruchtzeit, sowie der morphologische Ursprung der untersuchten Pflanzenarten, geordnet nach dem Gewicht der Gesamtdiaspore

Pflanzenart	Gewicht (S+E mg)	S/Fr (mg)	E (mg)	%-Anteil E	%-Anteil S	Blütezeit (Monate)	Fruchtzeit (Monate)	morph. Ursprung des E (nach Bresinsky, 1963)
<i>A. europaeum</i>	4.70	4.05 (S)	0.65	13.82	86.17	III-V	VI	Raphe
<i>Ch. majus</i>	0.60	0.55 (S)	0.05	8.33	91.67	V-IX	V-IX	Raphe
<i>C. cava</i>	6.45	6.25 (S)	0.20	3.10	96.90	III-V	IV-V	Raphe
<i>G. nivalis</i>	19.50	16.30 (S)	3.20	16.41	83.59	II-IV	V-VI	Chalaza
<i>H. niger</i>	7.85	7.55 (S)	0.30	3.82	96.18	II-IV	V-VI	Raphe
<i>K. arvensis</i>	3.75	3.60 (Fr)	0.15	4.00	96.00	VI-IX	VI-IX	Epicalyx
<i>K. dipsacifolia</i>	6.75	6.45 (Fr)	0.30	4.44	95.56	VI-IX	VI-IX	Epicalyx
<i>L. vernum</i>	28.10	22.00 (S)	6.10	21.71	78.29	III-IV	V-VI	Chalaza
<i>P. officinalis</i>	8.15	7.95 (Fr)	0.20	2.45	97.55	III-V	V	Fruchtbasis
<i>S. officinale</i>	13.70	13.20 (Fr)	0.50	3.65	96.35	V-VIII	VI-VIII	Karpellbasis

2. 1. 3. Einfangen und Haltung der Versuchstiere

Es wurden 5 Ameisenvölker von *Myrmica rubra* in einem Teil des Botanischen Gartens der Universität Wien (HBV) gesucht und markiert. Diese Völker wurden sowohl für Freilandversuche als auch für nachfolgende Laborversuche verwendet.

Das Einfangen der Ameisenvölker für die Versuche im Labor erfolgte Mitte Juli (~ 2 Wochen, nachdem die Freilandversuche stattgefunden hatten) im Botanischen Garten des Fakultätszentrums für Biodiversität der Universität Wien. Die einzelnen Völker wurden mit einer herkömmlichen Gartenschaufel ausgegraben, in verschließbaren Plastikdosen überführt, ins Labor transportiert und dort in Formikarien eingesetzt. Einzelne Tiere wurden mittels eines Exhausters („Aufsauger“) aus eventuell unerreichbaren Stellen aufgesaugt. Der Exhauster wurde selbst hergestellt. Mit einer Plastikflasche und 2 Schläuchen wurde ein Unterdruck erzeugt, wodurch Ameisen aus unerreichbaren Stellen eingesaugt werden konnten.

Als Formikarien dienten Plastikwannen mit einer Größe von 40x30x15 (L/B/T) cm, die bis auf eine Höhe von ~ 3 cm mit Modellgips gefüllt wurden (Fig. 10). Die Brutkammern wurden aus Plastillin geformt und auf eine Glasscheibe (10x15cm) geklebt. Die so geformten Brutkammernpositive wurden in den noch formbaren Gips eingetaucht, sodass nach Aushärten des Modellgipses und anschließendem Entfernen der Plastillinpositive ein künstliches Nest



Fig. 12: Formikarium, das gleichzeitig als Versuchsarena bei den Laborversuchen gedient hat, mit künstlichem Nest und Stelle an der die Diasporen während der Versuche platziert

mit 10 Kammern für die Brut entstanden war. Diese Formikarien dienten gleichzeitig als Versuchsarena, in denen die Laborversuche abgelaufen sind.

Die Ameisenvölker wurden so aufgeteilt, dass pro Formikarium min. 2 Königinnen, etwa 200-300 Arbeiterinnen und genügend Brut vorhanden waren. Die Glasscheiben über den künstlichen Nestern wurden mit einem gleich großen Kartonpapier abgedeckt, um den Ameisen das Gefühl zu vermitteln, dass sie sich unter der Erde befinden. Der Wannenrand wurde mit Puder benetzt, damit die Arbeiterinnen nicht entfliehen konnten. Die Brutkammern wurden alle 2-3 Tage befeuchtet, indem auf der einen Seite des Nestes (Rand der Glasplatte) ein Spalt im Gips freigelassen wurde, wo mit einer Pinzette Wasser hineingeträufelt werden konnte, so dass ein Feuchtigkeitgradient innerhalb des Nestes entstand und die Arbeiterinnen die Lage der Eier und Larven an die Feuchtigkeit anpassen konnten.

Während der Versuchszeit wurden die Ameisenvölker alle 2 Tage mit einer Bhatkar-Diät gefüttert, ein- bis zweimal in der Woche bekamen sie für eine ausgewogene Ernährung zusätzlich Mehlwürmer zugefüttert. Die Bhatkar-Diät ist nach ihrem Erfinder Awinash Bhatkar benannt und wird nach folgendem Rezept hergestellt:

Der Agar wird in 250 ml kochendem Wasser gelöst und nach Abkühlen mit den restlichen 250 ml Wasser verrührt. Honig, Vitamine, Mineralien und ein Ei werden verrührt bis sich eine glatte Masse ergibt und unter ständigem Rühren mit der Agarlösung vermischt. Anschließend wurde die Masse in Petrischalen (~15 cm Durchmesser) gegossen und im Kühlschrank aufbewahrt (Bhatkar & Whitcomb, 1970).

Die Wasserversorgung erfolgte über kleine Eprouvetten, die immer in der selben Ecke standen und täglich mit frischem Wasser gefüllt wurden.

Die Tage während der Laborversuche, waren bezüglich Wetter alle ungefähr gleich. Temperatur und Wetterlage wurden trotzdem im Protokollblatt notiert.

2. 1. 4. Einsammeln der Samen

Die Samen, die für die Versuche gebraucht wurden, wurden im Zeitraum zwischen März-Juli im Botanischen Garten des Fakultätszentrums für Biodiversität der Universität Wien und in der Umgebung Wiens eingesammelt (Tab. 2). Sie wurden in Petrischalen für die Fütterungsversuche im Tiefkühler aufbewahrt.

Tab 2.: Fundort und Sammelzeitraum der eingesammelten Samen; HBV= Botanischen Garten des Fakultätszentrums für Biodiversität der Universität Wien

Art	Fundort	Sammelzeitraum
<i>Asarum europaeum</i>	HBV	29.05.08-08.06.08
<i>Chelidonium majus</i>	HBV	16.05.08-30.05.08
<i>Corydalis cava</i>	HBV, Guntramsdorf	30.04.08-10.05.08
<i>Galanthus nivalis</i>	Spillern	23.05.08-06.06.08
<i>Helleborus niger</i>	HBV, Rax	16.05.08-26.05.08
<i>Knautia arvensis</i>	HBV	28.06.08-03.07.08
<i>Knautia dipsacifolia</i>	HBV	06.06.08-18.06.08
<i>Leucojum vernum</i>	HBV	14.05.08-20.05.08
<i>Pulmonaria officinalis</i>	zw. Ternitz u. Pernitz, HBV, Retz	09.05.08-06.06.08
<i>Symphytum officinale</i>	HBV	31.05.08-26.06.08

2. 2. Versuchsablauf

2. 2. 1. Freilandversuche

Die Freilandversuche fanden Ende Juni (18.6.08 - 28.6.08) im Botanischen Garten des Fakultätszentrums für Biodiversität der Universität Wien statt. Der Versuchsablauf erstreckte sich über einen Zeitraum von 10 Tagen, wobei zwischen den einzelnen Versuchen jeweils eine Pause von 2 bzw. 3 Tage eingelegt wurde, um eine Überfütterung zu vermeiden. An den versuchsfreien Tagen wurden die Tiere nicht zugefüttert, da sie in ihrer natürlichen Umgebung waren und bei Bedarf im Freien auf Futtersuche gehen konnten. Bei den Freilandversuchen wurden 5 Kartonplatten (ca. 10x15 cm), auf die die Samen für die Versuche verteilt wurden, jeweils ca. 10 cm neben den Nesteingang eines *Myrmica rubra*-Volkes gelegt. Insgesamt wurden 4 Versuche durchgeführt. Sie begannen jeweils um 9 Uhr vormittags und ein Versuchsdurchlauf dauerte 120 Minuten. Jeweils 5 Samen der

untersuchten Pflanzenart und 5 Samen der Referenzart (*Galanthus nivalis*) wurden auf den Kartonplatten zufällig vermischt und gleichmäßig in der Mitte verteilt. Danach wurde beobachtet wieviele Samen verschleppt wurden. Ein Same galt als verschleppt wenn er mindestens 15 cm von der Platte entfernt wurde. Alle 5 Minuten wurde kontrolliert wieviele Samen verschleppt wurden. Dies wurde in ein Protokollblatt eingetragen. Nach 60 Minuten wurde die Sammelrate kleiner und es wurde daher die Anzahl der verschleppten Samen nur mehr alle 15 Minuten protokolliert. Außerdem wurden Ort des Versuchs, Datum, Temperatur, Wetter (Sonne/Wolken) und die Pflanzenarten, die untersucht wurden, protokolliert. Nach 120 Minuten wurde der Versuch beendet, auch wenn bis dahin nicht alle Samen vertragen waren. Eine Pflanzenart, *Galanthus nivalis*, wurde ausgewählt und diente als die Referenzart, die bei jedem Versuch mit einer Vergleichsart angeboten wurde. Zunächst war geplant, dass für die statistische Auswertung die Differenz in der Anzahl der verschleppten Samen zwischen der untersuchten Pflanzenart und der Referenzart herangezogen würde. Doch leider waren die Werte zu gering, um damit arbeiten zu können, sodass letztendlich nur die Absolutwerte (tatsächliche Anzahl der verschleppten Samen) ausgewertet wurden.

2. 2. 2. Laborversuche

Im Juli 2008 wurden die Laborversuche durchgeführt. Insgesamt wurden neun Versuche gemacht, wobei pro Pflanzenart ein Versuchsdurchgang pro Tag durchgeführt wurde. Der Versuchsablauf erstreckte sich über einen Zeitraum von 19 Tagen (28.7.08 - 15.8.08), wobei zwischen den einzelnen Versuchen jeweils ein Tag Pause stattgefunden hat, um eine Überfütterung zu vermeiden. An den versuchsfreien Tagen wurden die Tiere mit Bathkar-Diät gefüttert.

Die Versuche begannen wie die Freilandversuche jeweils um 9 Uhr, ein Versuchsdurchlauf dauerte 120 Minuten. Jeweils 5 Diasporen der untersuchten Pflanzenart und 5 der Referenzart (*Galanthus nivalis*) wurden in der Arena des Formikariums angeboten (siehe Fig. 12) und beobachtet wieviele verschleppt wurden. Die Diasporen wurden immer gleichmäßig vermischt an der gleichen Stelle (~10 cm vom Nest entfernt) platziert. Ein Samen galt als verschleppt, wenn er mindestens 10 cm vom Anfangsplatz vertragen wurde. Auch bei den Laborversuchen wurde alle 5 Minuten kontrolliert wieviele Samen verschleppt wurden und in ein Protokollblatt (siehe Anhang) eingetragen. Nach 60 Minuten wurde die Sammelrate kleiner und daher die Anzahl der verschleppten Samen nur mehr alle 15 Minuten protokolliert. Weiters wurde notiert, ob ein Samen ins Nest getragen oder aus dem Nest wieder herausgetragen wurde und wo sie am Ende des Versuchs landeten. Außerdem wurden

Ort des Versuchs, Datum, Temperatur, Wetter (Sonne/Wolken), Versuchsnummer und die untersuchten Pflanzenarten protokolliert. Zusätzlich wurde die Aktivität der 9 Ameisenvölker beobachtet und in einer Skala von 0-3 (**0**: keine/kaum Aktivität - max. 5 Arbeiterinnen außerhalb des Nestes; **1**: niedrige Aktivität – max. 15 Arbeiterinnen außerhalb des Nestes; **2**: hohe Aktivität – 15-40 Arbeiterinnen außerhalb des Nestes; **3**: sehr hohe Aktivität – über 40 Arbeiterinnen außerhalb des Nestes) abgeschätzt.

Nach 120 Minuten wurde der Versuch beendet, auch wenn bis dahin nicht alle Samen verschleppt wurden.

2. 3. Statistische Auswertung

Abkürzungen:

Ae – *Asarum europaeum*, **Cc** – *Corydalis cava*, **Chm** – *Chelidonium majus*, **Gn** – *Galanthus nivalis*, **Hn** – *Helleborus niger*, **Ka** – *Knautia arvensis*, **Kd** – *Knautia dipsacifolia*, **Lv** – *Leucojum vernum*, **Po** – *Pulmonaria officinalis*, **So** – *Symphytum officinale*

LV – Laborversuche; **FV** – Freilandversuche; **FVvgl** – Freilandversuche-Vergleichsplatten

2. 3. 1. Vergleich Freilandversuche/Laborversuche

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgte über das Computerprogramm STATISTICA 7.1 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK.). Für den Vergleich der einzelnen Versuche wurde eine ANOVA mit Messwiederholungen durchgeführt. Ziel war es herauszufinden, ob in Abhängigkeit von der Wegtragerate der Diasporen bestimmte Pflanzenarten bevorzugt werden. Dazu wurde die Anzahl der verschleppten Diasporen im Zeitverlauf (5-120 min) herangezogen. Zunächst wurden alle Pflanzen miteinander verglichen, ob es überhaupt Unterschiede zwischen den untersuchten Arten gibt. Danach wurden einzelne Pflanzenpaare miteinander verglichen und untersucht, ob für einer der Arten eine Präferenz feststellbar ist (bei den Freilandversuchen 5 Pflanzenarten → 10 Pflanzenpaare; bei den Laborversuchen 10 Pflanzenarten → 45 Pflanzenpaare). Hierbei wurden folgende Daten ausgewertet:

- 1.) Zunächst wurden, sowohl bei den Feiland- als auch bei den Laborversuchen, die Wegtrageraten der Diasporen aller Pflanzenarten miteinander verglichen, um zu sehen ob es generell Unterschiede in der Präferenz der untersuchten Arten bei den Arbeiterinnen gab.
- 2.) Um herauszufinden, ob bei den Freilandversuchen (FV) die Diasporen bestimmter Pflanzenarten von den Ameisen bevorzugt wurden, wurde die Wegtragerate der Diasporen der einzelnen Pflanzenarten innerhalb der FV miteinander verglichen.

- 3.) Genauso wurden bei den Laborversuchen (LV) die Anzahl der verschleppten Früchte und Samen der einzelnen Pflanzenarten miteinander verglichen, ebenfalls um herauszufinden, ob eine bestimmte Pflanzenart eine Präferenz bei den Ameisen aufwies.
- 4.) Als letztes wurden die Wegtrageraten der Diasporen aller Pflanzenarten der LV mit denen aller Pflanzenarten der FV verglichen, um herauszufinden, ob es Unterschiede in der Attraktivität der Diasporen zwischen den Versuchen im Labor und Freiland gab.

2. 3. 2. Korrelationen mit Inhaltsstoffen

Die Korrelationen mit den Inhaltsstoffen wurde ebenfalls in STATISTICA durchgeführt. Hierbei wurde die Wegtragerate der verschiedenen Pflanzenarten im Zeitverlauf (5-120 min) gegen Inhaltsstoffgruppen (Gesamtkonzentration der Aminosäuren, Kohlenhydrate, Lipide, Proteine und Stärke) und einzelne Inhaltsstoffe korreliert. Die einzelnen Inhaltsstoffe wurden aus den Daten von Fischer et al. (2008) ausgewählt und zwar nur jene, bei denen genügend Daten zu einer Weiterverarbeitung vorhanden waren. Bei den Aminosäuren wurden daher *Asparagin, Glutamat, Glutamin, Prolin, Alanin, Valin, Tyrosin, Gabanin, Histidin, Arginin* und *Seranin*, bei den Kohlenhydraten *Trehalose, Fructose, Glucose* und *Sucrose* bei den Lipiden *Palmitin-, Linolein-, α -Linolein* und *Oleinsäure* mit der Wegtragerate der Diasporen korreliert. Die übrigen Inhaltstoffe (Aminosäuren: Prolin; Kohlenhydrate: Raffinose, Stachyose, Glycerol und *myo*-Inositol; Lipide: Capryl-, Caprin-, Myristin-, Palmitolein-, Stearin-, Linolen-, cis-11-Eicosenoin- und cis-11,14-Eicosatrienoinensäure) der Untersuchungen von Fischer et al. (2008) konnten bei einigen Pflanzenarten teilweise nicht nachgewiesen werden, sodass zu viele Daten fehlten und diese daher nicht in die Korrelation miteinbezogen werden konnten.

Folgende Daten wurden ausgewertet:

- 1.) Korrelation mit dem Gesamtgehalt der verschiedenen Inhaltsstoffgruppen (Proteine, Aminosäuren, Lipide, Kohlenhydrate, Stärke), jeweils für FV und LV
- 2.) Korrelation mit einzelnen Aminosäuren (*Seranin, Asparagin, Glutamat, Glutamin, Prolin, Alanin, Valin, Tyrosin, Gabanin, Histidin, Arginin*), jeweils für FV und LV
- 3.) Korrelation mit einzelnen Kohlenhydraten (*Trehalose, Fructose, Glucose, Sucrose*), jeweils für FV und LV
- 4.) Korrelation mit einzelnen Lipiden (*Palmitinsäure, Linoleinsäure, α -Linoleinsäure, Oleinsäure*), jeweils für FV und LV.

3. Ergebnisse

Ziel der Versuche war es herauszufinden, ob es Unterschiede in der Präferenz bzw. Attraktivität der Diasporen bestimmter Pflanzenarten bei *M. rubra* gibt, d. h. ob Diasporen bestimmter Pflanzenarten eher bevorzugt werden als andere. Um festzustellen ob die im Labor erhobenen Daten auf die Freilandsituation übertragbar sind, wurden neben Laborversuchen zusätzlich Versuche im Feld durchgeführt. Der Vergleich der Wegtrageraten der Diasporen der untersuchten Pflanzenarten wurde für die erhobenen Daten (Freiland und Labor) über eine ANOVA mit Messwiederholungen gemacht, wobei die Ergebnisse zu drei verschiedenen Zeitpunkten (nach 15, 30 und 120 min) ausgewertet wurden.

3. 1. Freilandversuche

Der Vergleich der Anzahl der vertragenen Früchte und Samen aller 5 Pflanzenarten der Freilandversuche miteinander zeigte, dass signifikante Unterschiede in der Attraktivität bestehen. Das heißt, dass manche Diasporen wesentlich schneller von den Ameisen weggetragen und daher eindeutig bevorzugt wurden (Tab. 3, all plants). Nach 120 min sind diese Unterschiede besonders hoch ($P < 0.005$), für *M. rubra* waren bei den Freilandversuchen also einige Diasporen klar attraktiver als andere.

Tab 3: Signifikanzen bei den Freilandversuchen beim Vergleich aller Pflanzen und der einzelnen Pflanzenarten miteinander nach 15, 30 und 120 Minuten; $P \leq 0.05$, F = Freiheitsgrade, ns = nicht signifikant

Pflanzen	bevorzugt	nach 15 min	nach 30 min	nach 120min
all plants		ns	$P = 0.04262$ $F_{(20, 100)} = 1.7168$	$P = 0.00006$ $F_{(60, 300)} = 2.0278$
<i>Chm</i> vs. <i>Lv</i>	<i>Chm</i>	ns	$P = 0.02450$ $F_{(5, 40)} = 2.9171$	ns
<i>Chm</i> vs. <i>Kd</i>	<i>Kd</i>	ns	$P = 0.00626$ $F_{(5, 40)} = 3.8315$	$P = 0.00002$ $F_{(15, 120)} = 3.7334$
<i>Chm</i> vs. <i>Gn</i>	<i>Chm</i>	ns	$P = 0.00926$ $F_{(5, 40)} = 3.5657$	ns
<i>Lv</i> vs. <i>Kd</i>	<i>Kd</i>	ns	ns	$P = 0.00000$ $F_{(15, 120)} = 5.2140$
<i>Kd</i> vs. <i>Gn</i>	<i>Kd</i>	ns	ns	$P = 0.00000$ $F_{(15, 120)} = 6.6862$

Knautia dipsacifolia ist bei den Freilandversuchen jene Art mit der größten Attraktivität. Außer im Vergleich zu *Ch. majus* wurden die Früchte von *K. dipsacifolia* in allen Fällen von den Arbeiterinnen signifikant bevorzugt (Tab. 3). So war im Vergleich mit *L. vernum* und *G. nivalis* die Anzahl der verschleppten Diasporen von *K. dipsacifolia* vor allem gegen Ende der Versuche wesentlich höher (Fig. 13).

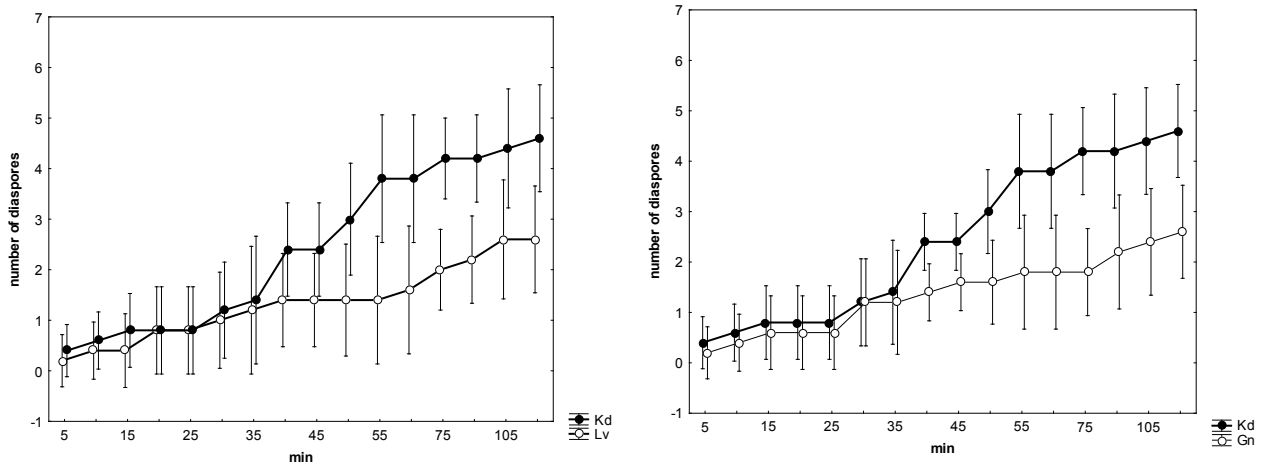


Fig. 13: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *K. dipsacifolia* (Kd) mit *L. vernum* (Lv) und rechts von *K. dipsacifolia* (Kd) mit *G. nivalis* (Gn) über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Kd – Lv: $P = 0.00000$, $F_{(15, 120)} = 5.2140$; für Kd – Gn: $P = 0.00000$, $F_{(15, 120)} = 6.6862$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Vergleicht man die Wegtragerate der Diasporen von *K. dipsacifolia* mit der von *Ch. majus*, ist zu erkennen, dass sie zur 30. und 120. min signifikant unterschiedlich verläuft (Tab. 3). Zunächst sind die Diasporen von *Ch. majus* attraktiver für die Ameisen, ab 55 min wurden jedoch die Früchte von *K. dipsacifolia* eindeutig bevorzugt und die Arbeiterinnen verschleppten letztendlich mehr Diasporen dieser Pflanzenart. Die Konfidenzintervalle sind jedoch bei beiden Arten sehr hoch, das heißt die Arbeiterinnen mancher Völker hatten zu einem bestimmten Zeitpunkt mehr oder weniger Diasporen weggetragen als andere.

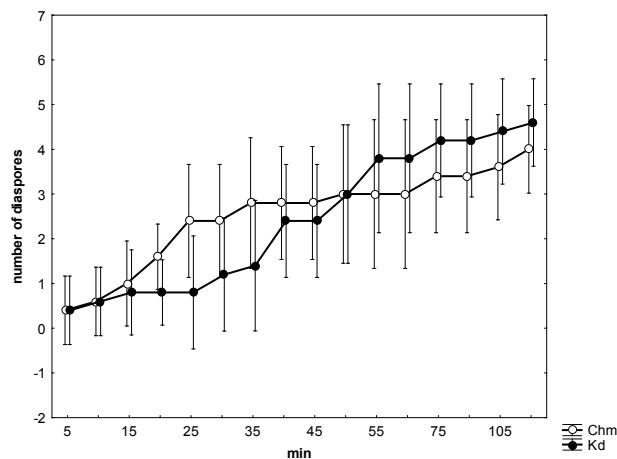


Fig. 14: Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *K. dipsacifolia* (Kd) und *Ch. majus* (Chm) über eine ANOVA mit Messwiederholungen; $P = 0.00002$, $F_{(15, 120)} = 3.77334$, senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Chelidonium majus wies zusätzlich Unterschiede in der Wegtrageaktivität zu *L. vernum* und *G. nivalis* auf, die jedoch nur bei der Auswertung nach 30 min signifikant waren (Tab. 3). Zu diesem Zeitpunkt wurden in beiden Fällen die Diasporen von *Ch. majus* eindeutig von den Ameisen präferiert (Fig. 15). Im weiteren Zeitverlauf war keine der Pflanzenarten sonderlich attraktiver.

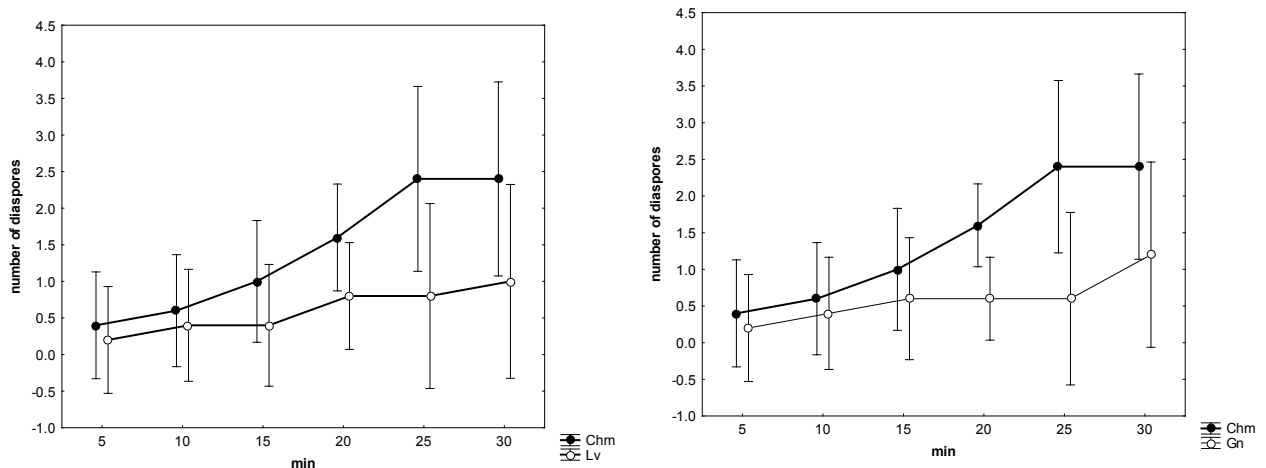


Fig. 15: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *Ch. majus* (Chm) mit *L. vernum* (Lv) und rechts von *Ch. majus* (Chm) mit *G. nivalis* (Gn) über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Chm – Lv: $P = 0.02450$, $F_{(5, 40)} = 2.9171$; für Chm – Gn: $P = 0.00926$, $F_{(5, 40)} = 3.5657$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Corydalis cava unterschied sich hinsichtlich der Anzahl der verschleppten Samen bei den Freilandversuchen von keiner der Vergleichsarten. Ihre Diasporen waren nicht attraktiver als die der anderen Arten.

Aus den Ergebnissen der Freilandversuche kann man erkennen, dass die Diasporen von *K. dipsacifolia* die höchste Präferenz aufweisen, während *L. vernum* und *G. nivalis* jene Pflanzenarten waren, die die geringste Attraktivität haben.

3. 2. Laborversuche

Bei den Laborversuchen wurde die Attraktivität der Diasporen der zehn Versuchspflanzenarten untersucht. Wird der Vergleich der Wegtrageraten der Diasporen über eine ANOVA mit Messwiederholungen und post-hoc über einen Tukey HSD-Test gemacht, ergibt sich Folgendes: die deutlichsten Unterschiede sind nach 120 Minuten zu sehen (Tab. 4). *G. nivalis* unterscheidet sich hoch signifikant von fast allen Arten (außer *L. vernum*), wobei alle Arten gegenüber *G. nivalis* bevorzugt werden. *L. vernum* wird ebenfalls in der Präferenz benachteiligt, es weist signifikante Unterschiede in der Anzahl der verschleppten Diasporen zu *K. dipsacifolia*, *P. officinalis*, *H. niger*, *S. officinale* und *K. arvensis* auf. Aus der Tabelle

kann man ebenfalls erkennen, dass letztendlich auch bei den Laborversuchen weniger Samen von *G. nivalis* und *L. vernum* weggetragen wurden als von den Vergleichsarten (Tab. 4).

Tab. 4: Signifikanzen beim Vergleich der Attraktivität der Diasporen aller zehn Pflanzenarten bei den Laborversuchen nach 120 min über einen posthoc Tukey HSD-Test; * = $P \leq 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$; $F_{(135, 1350)} = 5.6295$, ns = not significant

	Cc	Chm	Lv	Kd	Po	Hn	So	Ae	Ka	Gn
Cc		ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***
Chm	ns		**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***
Lv	**	**		**	*	***	*	ns	***	ns
Kd	ns	ns	**		ns	ns	ns	ns	ns	***
Po	ns	ns	*	ns		ns	ns	ns	ns	***
Hn	ns	ns	***	ns	ns		ns	ns	ns	***
So	ns	ns	*	ns	ns	ns		ns	ns	***
Ae	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		ns	*
Ka	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns		***
Gn	***	***	ns	***	***	***	***	*	***	

3. 2. 1. Pflanzenarten, die den ganzen Versuchsverlauf über (nach 15, 30 und 120 min) signifikant bevorzugt wurden

In Tabelle 5 sind alle Pflanzenpaare aufgeführt, die nach 15, 30 und 120 Minuten (also die ganze Zeit über) signifikante Unterschiede aufweisen. Man sieht, dass eindeutig jeweils eines der Pflanzepaare von den Ameisen bevorzugt und dementsprechend mehr Diasporen verschleppt wurden.

Tab 5: Signifikanzen bei den Laborversuchen beim Vergleich der einzelnen Pflanzenarten miteinander nach 15, 30 und 120 Minuten; $P \leq 0,05$, F = Freiheitsgrade

Pflanzen	bevorzugt	nach 15 min	nach 30 min	nach 120 min
Cc vs. Gn	Cc	$P = 0.02544$ $F_{(2, 36)} = 4.0726$	$P = 0.0000$ $F_{(5, 90)} = 8.9732$	$P = 0.0000$ $F_{(15, 270)} = 15.315$
Kd vs. Lv	Kd	$P = 0.00000$ $F_{(2, 36)} = 18.680$	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 18.788$	$P = 0.00000$ $F_{(15, 270)} = 7.3557$
Po vs. Lv	Po	$P = 0.02261$ $F_{(2, 36)} = 4.2179$	$P = 0.00013$ $F_{(5, 90)} = 5.7020$	$P = 0.00389$ $F_{(15, 270)} = 2.3260$
So vs. Lv	So	$P = 0.00005$ $F_{(2, 36)} = 13.385$	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 18.561$	$P = 0.00000$ $F_{(15, 270)} = 7.0835$
Ka vs. Lv	Ka	$P = 0.03967$ $F_{(2, 36)} = 3.5344$	$P = 0.02877$ $F_{(5, 90)} = 2.6311$	$P = 0.00023$ $F_{(15, 270)} = 2.9458$
Kd vs. Ae	Kd	$P = 0.00023$ $F_{(2, 36)} = 10.682$	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 11.186$	$P = 0.00000$ $F_{(15, 270)} = 6.0365$
Kd vs. Gn	Kd	$P = 0.00000$ $F_{(2, 36)} = 25.167$	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 15.698$	$P = 0.00000$ $F_{(15, 270)} = 21.766$

Knautia dipsacifolia ist auch bei den Laborversuchen eine der Arten, die von den Ameisen eindeutig am meisten verschleppt wurde. Es zeigt eine Präferenz ihrer Früchte im Vergleich zu *L. vernum*, *G. nivalis* und *A. europaeum* (Tab. 5). In Fig. 16 sieht man den Vergleich von *K. dipsacifolia* mit *G. nivalis*. Alle Diasporen von *K. dipsacifolia* waren bereits nach 25 Minuten von den Ameisen verschleppt, während die Wegtragerate bei *G. nivalis* nur langsam stieg und auch am Ende des Versuchs nicht so hoch war. Die 95% Konfidenzintervalle waren sehr gering, dass heißt die Anzahl der Diasporen, die verschleppt wurde, variierte unter den einzelnen Ameisenvölker kaum bzw. am Ende gar nicht.

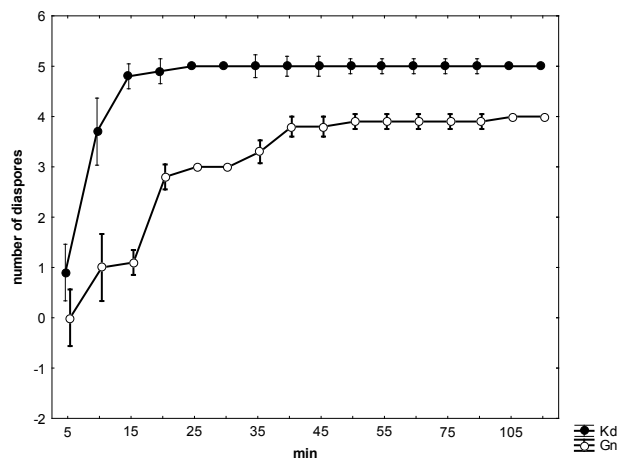


Fig 16: Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *K. dipsacifolia* (Kd) und *G. nivalis* (Gn) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen, $P = 0.0000$, $F_{(15, 270)} = 21.766$, senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Die Früchte von *Symphytum officinale* waren ebenfalls im Vergleich zu *L. vernum*, *G. nivalis* und *A. europaeum* attraktiver für *M. rubra* (Tab. 5). Der größte signifikante Unterschied war beim Vergleich der Wegtrageaktivität zu *G. nivalis* zu erkennen (Fig. 17, links). Die Anzahl der verschleppten Diasporen weichte den ganzen Versuchsverlauf über deutlich von der Vergleichsart ab. Bereits nach der Hälfte der Zeit wurden alle Früchte von *S. officinale* verschleppt, während die ersten Samen von *G. nivalis* später entdeckt und bis zum Ende des Versuchs nicht alle weggetragen wurden.

Im Vergleich von *S. officinale* mit *A. europaeum* waren zwar ebenfalls signifikante Unterschiede zu erkennen, jedoch nicht so hohe wie im Vergleich zu *L. vernum* und *G. nivalis* (Tab. 5). Anfangs verläuft die Wegtragerate von *S. officinale* mit *A. europaeum* annähernd gleich, erst im späteren Versuchsverlauf wurden von ersterem mehr Diasporen verschleppt und daher von den Arbeiterinnen bevorzugt (Fig. 17, rechts).

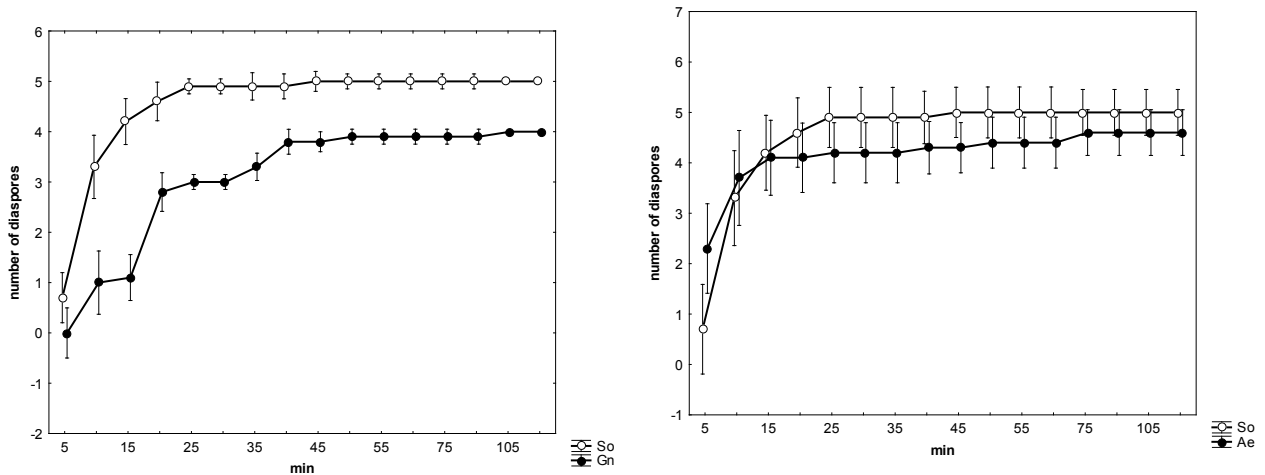


Fig 17: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *S. officinale* (So) mit *G. nivalis* (Gn) und rechts von *S. officinale* (So) mit *A. europaeum* (Ae) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für So – Gn: $P = 0.0000$, $F_{(15, 270)} = 12.621$, für So – Ae: $P = 0.00000$, $F_{(15, 270)} = 6.7476$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Die Diasporen von *Knautia arvensis* und *Pulmonaria officinalis* wurden ebenfalls eindeutig gegenüber denen von *L. vernum* und *G. nivalis* bevorzugt (Fig. 20, 21). In Fig. 20 sind ihre unterschiedlichen Wegtrageraten im Vergleich zu *G. nivalis* dargestellt. Die Samen von *G. nivalis* wurden sowohl im Fall von *K. arvensis* (links) als auch *P. officinalis* (rechts) später entdeckt und es wurden bis zum Ende des Versuchs nicht alle weggetragen. Sie waren also wieder unattraktiv für die Arbeiterinnen.

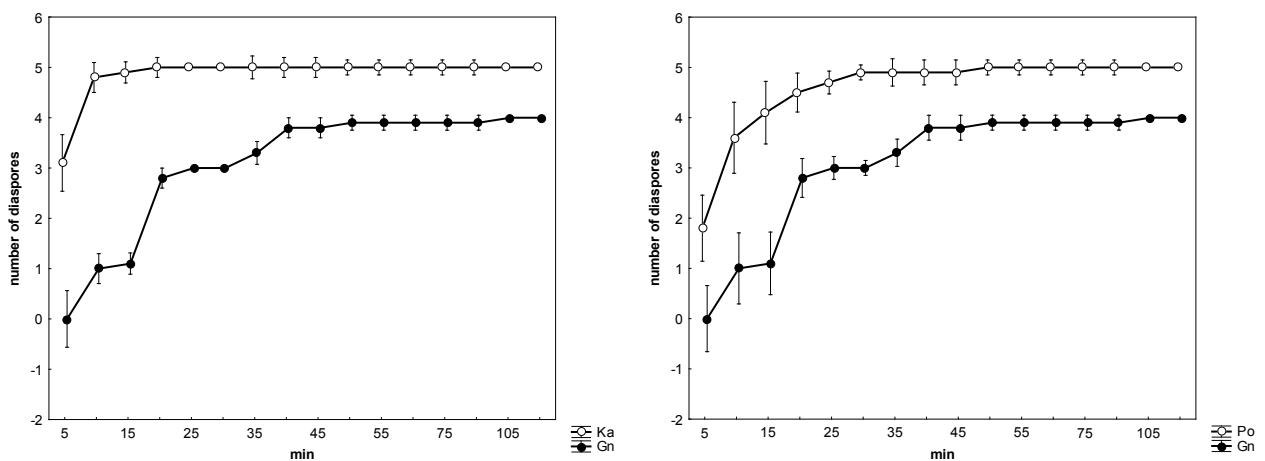


Fig 18: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *K. arvensis* (Ka) mit *G. nivalis* (Gn) und rechts von *P. officinalis* (Po) mit *G. nivalis* (Gn) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Ka – Gn: $P = 0.00000$; $F_{(15, 270)} = 55.458$ (Ka - Gn) und für Po – Gn: $P = 0.00000$, $F_{(15, 270)} = 8.5187$, senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Dasselbe gilt für den Vergleich mit *L. vernum*. Figur 19 zeigt den Vergleich der Wegtragerate von *L. vernum* mit *K. arvensis* und *P. officinale*. Von *K. arvensis*' Früchten waren bereits nach 20 min, von *P. officinale* nach 40 min alle Diasporen weggetragen, während die Anzahl

der verschleppten Samen bei der Vergleichsart nur sehr langsam stieg und am Ende nicht alle angebotenen Diasporen vertragen wurden. Die Konfidenzintervalle waren bei beiden Vergleichen relativ groß und überschneiden sich, da manche Ameisenvölkern zu einem bestimmten Zeitpunkt mehr Diasporen verschleppt hatten als andere.

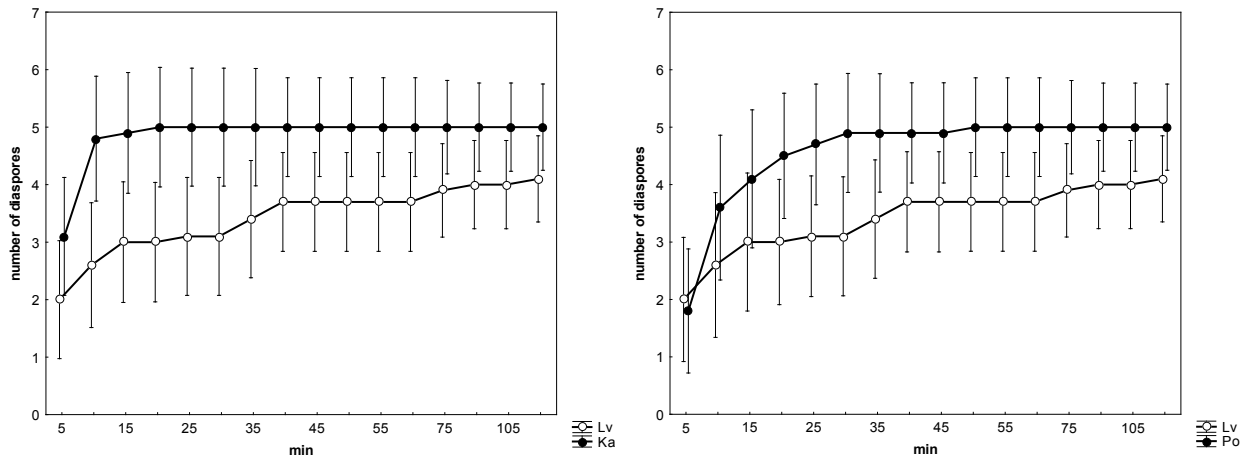


Fig 19: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *K. arvensis* (Ka) mit *L. verum* (Lv) und rechts von *P. officinalis* (Po) mit *L. verum* (Lv) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Ka – Lv: $P = 0.00023$; $F_{(15, 270)} = 2.9458$ und für Po – Lv $P = 0.00389$, $F_{(15, 270)} = 2.3260$, senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Corydalis cava wurde ebenfalls gegenüber den Samen von *G. nivalis* den ganzen Versuchsverlauf über eindeutig bevorzugt. Bereits nach 30 Minuten waren alle Diasporen von *C. cava* verschleppt, während bei *G. nivalis* auch hier bis zum Ende des Versuchs nicht alle Samen von den Ameisen weggetragen wurden (Fig. 20).

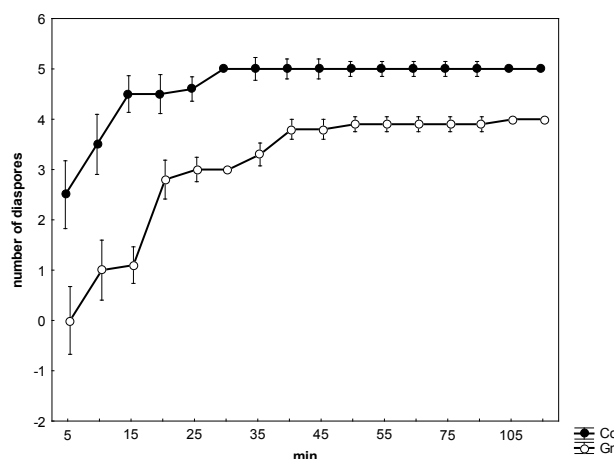


Fig. 20: Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *C. cava* (Cc) und *G. nivalis* (Gn) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen, $P = 0.0000$; $F_{(15, 270)} = 15.315$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

3. 2. 2. Pflanzenarten, die erst ab 30 min bis zum Ende der Versuchszeit (nach 30 und 120 min) attraktiver waren

Zusätzlich zu den in 3. 2. 1. erwähnten Versuchspaaren gab es auch einige, die erst ab 30 min signifikante Unterschiede in der Attraktivität ihrer Diasporen aufwiesen (Tab. 6). Die Diasporen der präferierten Arten waren also auch hier eindeutig attraktiver für *M. rubra*. Wieder werden gegenüber *G. nivalis* die Diasporen anderer Pflanzenarten bevorzugt (*Ch. majus*, *H. niger* und *A. europaeum*).

Tab 6: Signifikanzen bei den Laborversuchen beim Vergleich der einzelnen Pflanzenarten miteinander nach 30 und 120 Minuten; $P \leq 0.05$, F = Freiheitsgrade

Pflanzen	bevorzugt	nach 15 min	nach 30 min	nach 120 min
<i>Chm - Gn</i>	Chm	ns	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 10.610$	$P = 0.0000$ $F_{(15, 270)} = 10.198$
<i>Lv - Gn</i>	Lv	ns	$P = 0.0000$ $F_{(5, 90)} = 29.269$	$P = 0.0000$ $F_{(15, 270)} = 10.999$
<i>Hn - Gn</i>	Hn	ns	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 25.104$	$P = 0.00000$ $F_{(15, 270)} = 50.003$
<i>Ae - Gn</i>	Ae	ns	$P = 0.00000$ $F_{(5, 90)} = 27.749$	$P = 0.00000$ $F_{(15, 270)} = 21.325$
<i>Cc - Lv</i>	Cc	ns	$P = 0.00509$ $F_{(5, 90)} = 3.6075$	$P = 0.08397$ $F_{(15, 120)} = 1.5632$
<i>Po - Ae</i>	Po	ns	$P = 0.04756$ $F_{(5, 90)} = 2.3444$	$P = 0.05189$ $F_{(15, 120)} = 1.6937$

Helleborus niger und *Chelidonium majus* zeigten bei Betrachtung der Attraktivität ihrer Diasporen ab 30 min eine Präferenz gegenüber *G. nivalis* (Fig. 21). Man erkennt, dass von *H. niger* bereits nach 25 min, von *Ch. majus* nach 35 min alle Diasporen weggetragen wurden. Die Wegtragerate für *G. nivalis* stieg in beiden Fällen nur langsam an und bis zum Versuchsende wurden weniger Diasporen dieser Art von den Ameisen verschleppt als von der jeweiligen Vergleichsart.

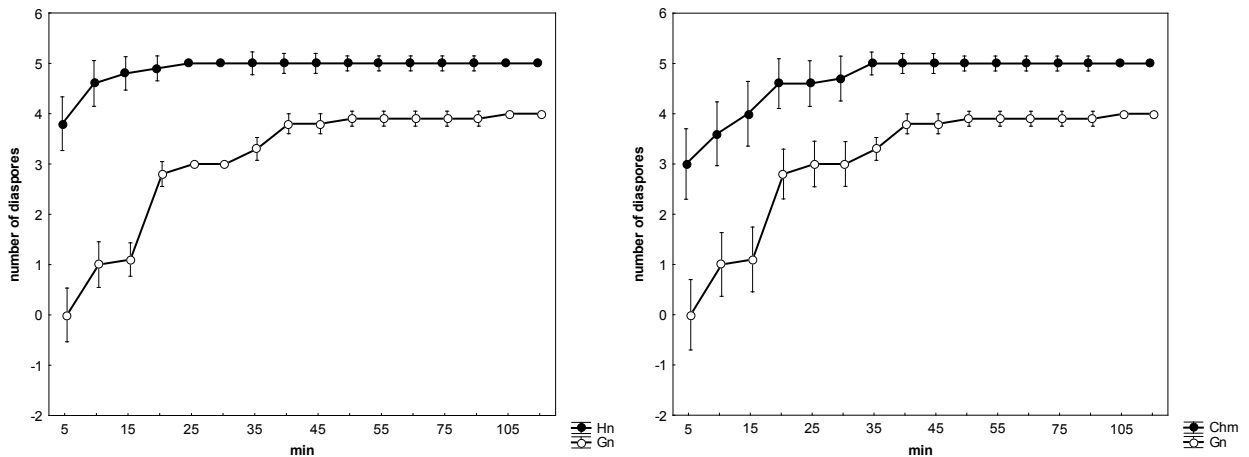


Fig. 22: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *H. niger* (Hn) mit *G. nivalis* (Gn) und rechts von *Ch. majus* (Chm) mit *G. nivalis* (Gn) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Hn – Gn: $P = 0.0000$; $F_{(15, 270)} = 50.003$ und für Chm – Gn $P = 0.0000$, $F_{(15, 270)} = 10.198$, senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Ebenfalls signifikant waren die Unterschiede in der Wegtrageaktivität der Samen von *Asarum europaeum* gegenüber *G. nivalis* (Fig. 22). Die Diasporen von *A. europaeum* wurden bereits gleich nach Beginn des Versuchs entdeckt und letztendlich auch mehr von ihnen verschleppt als von *G. nivalis*. Wurden jedoch gleichzeitig Diasporen von *A. europaeum* mit *P. officinale* angeboten, wurden von letzterem bis zum Versuchsende alle Früchte von den Arbeiterinnen verschleppt, während bei *A. europaeum* nicht alle angebotenen Samen weggetragen wurden.

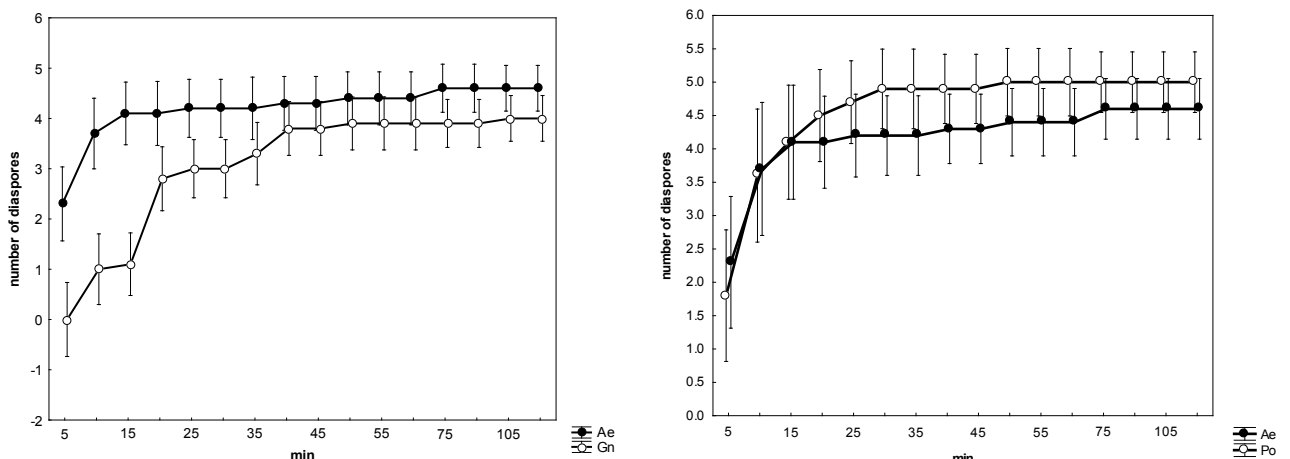


Fig. 22: Links der Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *A. europaeum* (Ae) mit *G. nivalis* (Gn) und rechts von *A. europaeum* (Ae) mit *P. officinale* (Po) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Ae – Gn: $P = 0.0000$, $F_{(15, 270)} = 21.325$, für Ae – Po: $P = 0.05189$, $F_{(15, 270)} = 1.6937$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Wenn Diasporen von *L. vernum* und *G. nivalis* gleichzeitig angeboten wurden, zeigte sich zunächst kein großer Unterschied in ihrer Wegtragerate (Fig. 23). Man erkennt, dass die Samen von *L. vernum* zwar früher von den Arbeiterinnen entdeckt wurden, jedoch war die Anzahl der verschleppten Samen nach kurzer Zeit und bis zum Ende des Versuchs bei beiden

Arten recht ähnlich. Trotzdem ergab sich bei diesem Pflanzenpaar ebenfalls ein signifikanter Unterschied in der Präferenz, jedoch erst nach 30 und 120 min (siehe unten), sodass letztendlich doch die Diasporen von *L. vernum* attraktiver für die Arbeiterinnen waren. Man kann also sagen, dass *G. nivalis* eindeutig die unbeliebtesten Diasporen für *M. rubra*-Arbeiterinnen hatte.

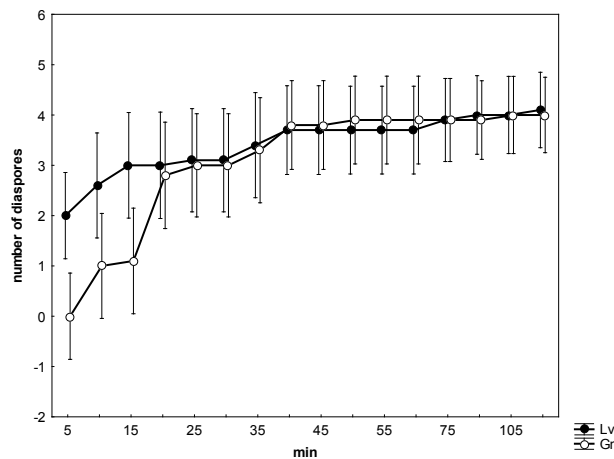


Fig. 23: Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *L. vernum* (Lv) und *G. nivalis* (Gn) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen, $P = 0.00000$; $F_{(15, 270)} = 10.999$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

3. 2. 3. Pflanzenpaare, die nach 15 und 30 min bzw nur zu einem Zeitpunkt (nach 15 oder 30 oder 120 min) einen signifikanten Unterschied in ihrer Wegtragerate zeigten

In Tabelle 7 sind jene Pflanzenpaare dargestellt, die nach 15 und 30 min (jedoch nicht gegen Ende des Versuchs) bzw. nur nach 15, 30 oder 120 min Unterschiede in ihrer Wegtragerate aufwiesen, die signifikant waren. Bei diesen Pflanzenpaaren kann man also nicht sagen, ob die Diasporen einer der Pflanzenarten der Vergleichspaare eindeutig attraktiver für die Arbeiterinnen war, wie das bei Punkt 3. 2. 1. und 3. 2. 2. der Fall war.

Tab. 7: alle Pflanzenpaare, die nach 15 und 30min und nur nach 15 bzw. 30 oder 120 min einen signifikanten Unterschied in ihrer Attraktivität gegenüber *M. rubra* aufwiesen

	signifikante Pflanzenpaare
nach 15 und 30min	Cc – So, Po – Chm, So – Chm, Chm – Ae, Ka – Chm, Kd – Po,
nach 120min	Hn – Po, Hn – So, Ka – So
nach 30min	Hn – Lv
nach 15min	Ka – Po, Cc – Lv, Po – Ae
	Cc – Chm, Kd – Cc, Kd – Chm, Ae – Lv, Kd – Hn, Ka – Kd, Hn – Ae

3. 2. 4. Folgende Pflanzenpaare, die keine signifikanten Unterschiede in ihrer Wegtragerate zeigten

Zehn der 45 untersuchten Pflanzenpaare zeigten zu keinem Zeitpunkt einen Unterschied in ihrer Attraktivität, die Diasporen wurden gleich gerne von den Ameisen genommen (Tab. 8).

Tab. 8: alle Pflanzenpaare, die zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied in ihrer Attraktivität gegenüber *M. rubra* zeigen

nicht signifikante Pflanzenpaare	Cc – Po, Cc – Hn, Cc – Ae, Cc – Ka, Chm – Lv, Chm – Hn, So – Kd, So – Po, Ka – Hn, Ka – Ae
---	--

Die Diasporen von *K. dipsacifolia* und *S. officinale* zeigten im Vergleich mit den restlichen Pflanzenarten starke Unterschiede in ihrer Präferenz gegenüber vielen anderen. Sie waren diejenigen, die am schnellsten und komplettesten weggetragen wurden. Wurden jedoch diese beiden Arten miteinander verglichen, ließ sich kein Unterschied erkennen (Fig. 24). Die Diasporen beider Arten wurden schnell erkannt und bereits nach 25 min waren alle aus dem angebotenen Depot entfernt.

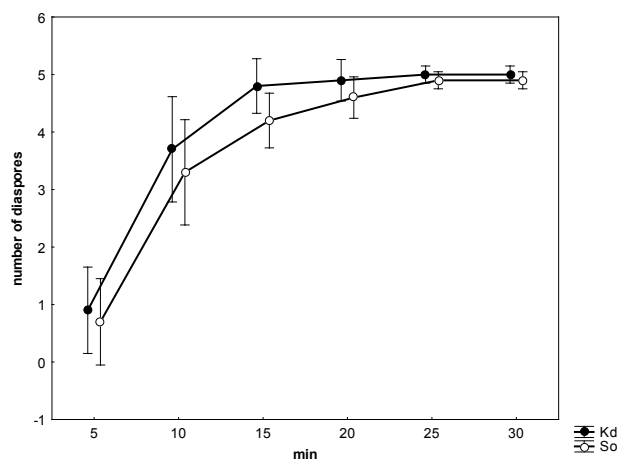


Fig. 24: Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *K. dipsacifolia* (Kd) mit *S. officinale* (So) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen, $P = 0.86398$; $F_{(5, 90)} = 0.37597$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Ch. majus und *L. vernum* wurden bei den Versuchen nicht signifikant unterschiedlich vertragen (Fig. 25). Es wurden zwar letztendlich im Durchschnitt mehr Diasporen von *Ch. majus* von den Ameisen weggetragen, jedoch ist die Varianz in der Anzahl der verschleppten Diasporen bei den einzelnen Ameisenvölkern bei beiden Pflanzenarten sehr hoch.

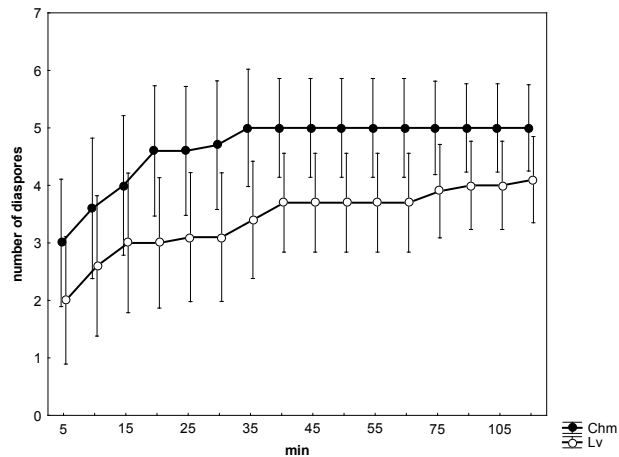


Fig. 25: Vergleich der Attraktivität der Diasporen von *Ch. majus* (Chm) und *L. vernum* (Lv) bei den Laborversuchen über eine ANOVA mit Messwiederholungen, $P = 0.79084$; $F_{(15, 270)} = 0.69312$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

Aus den Ergebnissen meiner Studie konnten die bevorzugten Pflanzenarten nach ihrer Attraktivität in einer **Präferenzliste** angeordnet werden:

1. *K. dipsacifolia* – 2. *K. arvensis* – 3. *H. niger* – 4. *C. cava* – 5. *P. officinalis* und *S. officinale*
- 6. *Ch. majus* – 7. *A. europaeum* – 8. *L. vernum* – 9. *G. nivalis*

3. 3. Vergleich zwischen Labor und Freiland

Bei den Versuchen im Freiland wurden folgende 5 Pflanzenarten untersucht und mit den Ergebnissen der Laborversuche verglichen: *C. cava*, *Ch. majus*, *L. vernum*, *K. dipsacifolia*. Als Referenzart diente wie bei den Laborversuchen *G. nivalis*. Beim Vergleich der Versuche zwischen Labor und Freiland ergaben sich hoch signifikante Unterschiede in der Anzahl der verschleppten Samen in Relation mit der Zeit, es gab also eindeutig Unterschiede in der Attraktivität der untersuchten Pflanzenarten zwischen den Bedingungen im Labor und im Feld.

In Fig. 26 ist der Vergleich der verschiedenen Versuchsreihen miteinander dargestellt. Bei den Laborversuchen ist zu erkennen, dass die Ameisen mehr Diasporen in schnellerer Zeit verschleppt haben als bei den Versuchen im Freiland, also die Wegtragerate hier wesentlich höher war. Bei den Freilandversuchen wurden die Diasporen wesentlich langsamer entdeckt und verschleppt und auch die Anzahl der Früchte und Samen, die letztendlich von den Ameisen entfernt wurden, war nicht so hoch wie bei den Versuchen im Labor. Der Standardfehler bei den Freilandversuchen war jedoch vor allem gegen Ende des Versuchs

relativ hoch, also waren hier einige Völker dabei, die nahezu genauso vielen Samen verschleppt hatten wie in den Versuchen im Labor.

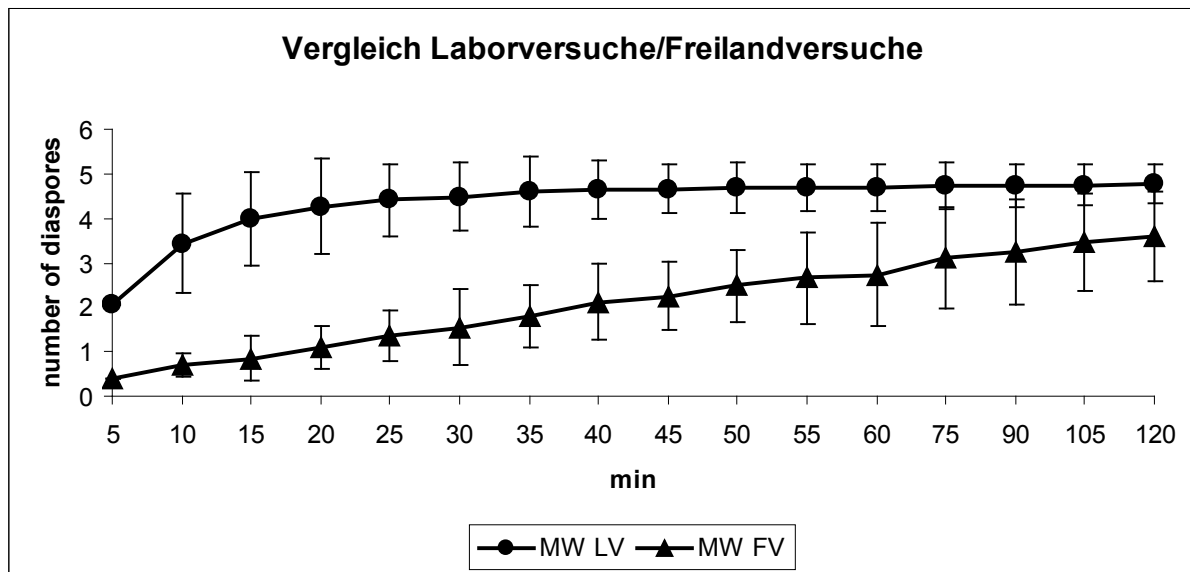


Fig. 26: Anzahl der verschleppten Diasporen im Zeitverlauf bei Labor (LV)- und Freilandversuchen (FV); senkrechte Balken repräsentieren den Standardfehler

Die Unterschiede zeigten sich vor allem bei *K. dipsacifolia* und *G. nivalis* (nach 15, 30 und 120 min; Tab. 9). *C. cava* und *Ch. majus* unterschieden sich nur nach 120 min (Tab. 9). In allen Fällen wurden die Diasporen im Labor schneller entdeckt und vertragen und auch die Anzahl der Diasporen die bis zum Ende des Versuchs verschleppt wurden, war bei den Versuchen im Labor immer höher. Für *L. vernum* zeigten sich zwischen den Versuchen im Labor und Freiland keine Unterschiede in der Attraktivität ihrer Samen, die signifikant waren, sie wurden im Feld also genauso gerne genommen wie im Labor.

Tab. 9: Vergleich der verschiedenen Pflanzenarten miteinander bei Labor- und Freilandversuchen nach 15, 30 und 120 Minuten; $P \leq 0.05$, F= Freiheitsgrade, ns = not significant

Pflanzen	nach 15 min	nach 30 min	nach 120min
Cc	ns	ns	$P = 0.00000$ $F_{(15, 195)} = 5.1571$
Chm	ns	ns	$P = 0.00808$ $F_{(15, 180)} = 2.1923$
Kd	$P = 0.00002$ $F_{(2, 24)} = 17.205$	$P = 0.00000$ $F_{(5, 60)} = 15.376$	$P = 0.0000$ $F_{(5, 180)} = 22.987$
Gn	$P = 0.00040$ $F_{(2, 26)} = 10.739$	$P = 0.0000$ $F_{(5, 65)} = 57.635$	$P = 0.0000$ $F_{(15, 195)} = 19.472$

In Figur 27 ist der Vergleich der Wegtrageraten von *K. dipsacifolia* und *G. nivalis* zwischen den Versuchen im Labor und Freiland dargestellt. Die Diasporen wurden bei den Laborversuchen im Gegensatz zum Freiland in beiden Fällen viel schneller verschleppt. Bei *K. dipsacifolia* waren im Labor bereits nach 25 min alle Diasporen weggetragen, während bei den Freilandversuchen bis zum Ende des Versuchs die Wegtragerate wesentlich kleiner war und letztendlich nicht alle angebotenen Diasporen abtransportiert wurden (Fig. 27, links). Die Samen von *G. nivalis* wurden bei den Freilandversuchen nur fast halb so schnell entdeckt wie im Labor (Fig. 27, rechts).

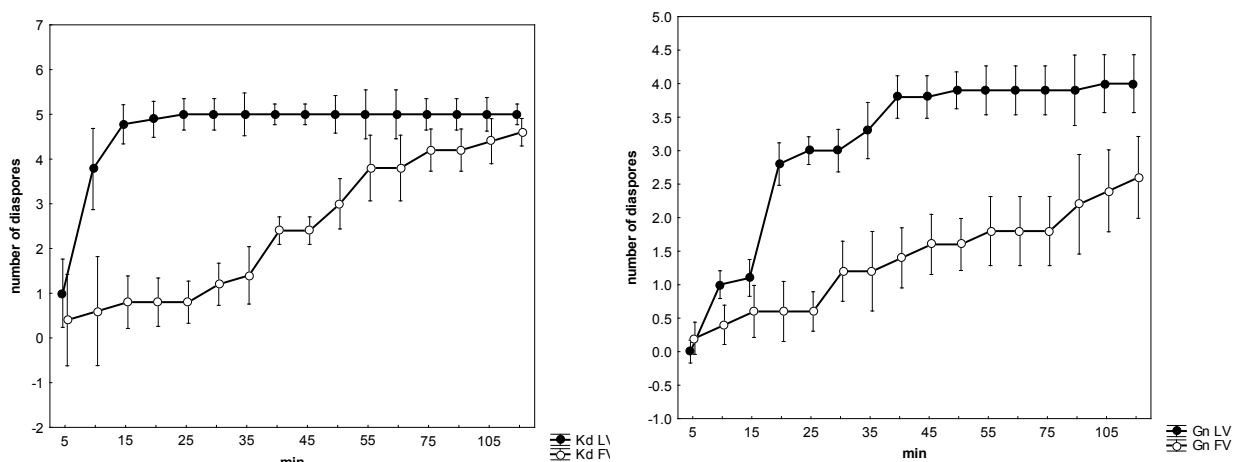


Fig. 27: Vergleich der Attraktivität der Diasporen links von *K. dipsacifolia* (Kd) und rechts von *G. nivalis* zwischen Labor- und Freilandversuchen (LV, FV) über eine ANOVA mit Messwiederholungen; für Kd: $P = 0.0000$, $F_{(15, 180)} = 22.987$, für Gn: $P = 0.0000$, $F_{(15, 195)} = 19.472$; senkrechte Linien repräsentieren 95% Konfidenzintervalle

3. 4. Korrelationen

alle Inhaltsstoffe:

Die Anzahl der verschleppten Diasporen mit der Zeit wurde mit den verschiedenen Inhaltsstoffgruppen und einzelnen Inhaltsstoffen der untersuchten Pflanzenarten korreliert. Die Daten der untersuchten Inhaltsstoffe basieren auf die Ergebnisse der Analysen von Fischer et al. (2005), die diese Pflanzenarten auf die Inhaltsstoffe ihrer Elaiosomen untersucht hatten.

Glutamat (sowohl bei den LV als auch bei den FV), Histidin (FV), Arginin (FV) und Tyrosin (LV), sowie der Gesamtkohlenhydratgehalt (LV) und Trehalose (FV) zeigten eine Korrelation mit der Wegtragerate der Diasporen der verschiedenen Pflanzenarten (Tab. 10).

Tab. 10: Korrelation verschiedener Inhaltsstoffe mit der Anzahl der verschleppten Samen mit der Zeit bei den Labor (LV)- und Freilandversuchen (FV), schräge Korrelationen sind signifikant für $P < 0.05$, $n = 10$

Minuten	Glutamat LV	Tyrosin LV	Kohlenhydrate gesamt LV	Glutamat FV	Histidin FV	Arginin FV	Trehalose FV
5	-0.16	-0.15	-0.04	0.68	0.44	-0.61	0.53
10	0.46	-0.41	-0.59	0.55	0.30	-0.47	0.45
15	0.64	-0.48	-0.72	0.67	0.45	-0.73	0.67
20	0.71	-0.57	-0.68	0.50	0.35	-0.78	0.88
25	0.75	-0.61	-0.72	0.41	0.29	-0.85	0.97
30	0.76	-0.67	-0.73	0.49	0.37	-0.90	0.97
35	0.73	-0.64	-0.65	0.50	0.39	-0.89	0.96
40	0.72	-0.60	-0.63	0.85	0.76	-0.92	0.77
45	0.74	-0.62	-0.64	0.81	0.66	-0.88	0.76
50	0.75	-0.61	-0.66	0.90	0.77	-0.84	0.64
55	0.75	-0.61	-0.66	0.99	0.90	-0.76	0.44
60	0.75	-0.61	-0.66	0.98	0.88	-0.73	0.43
75	0.74	-0.53	-0.66	0.98	0.89	-0.73	0.44
90	0.74	-0.52	-0.65	0.96	0.84	-0.70	0.42
105	0.74	-0.52	-0.65	0.98	0.88	-0.68	0.39
120	0.73	-0.50	-0.64	0.99	0.92	-0.76	0.47

Aminosäuren:

Der Gesamtgehalt der Aminosäuren korrelierte weder im Labor noch im Feld mit der Wegtragerate der Diasporen der verschiedenen Pflanzen, d. h. die Gesamtaminosäurekonzentration hatte keinen Einfluss auf die Anzahl der verschleppten Früchte und Samen bei unseren Versuchen mit *M. rubra*. Folgende Aminosäuren wurden einzeln untersucht: Seranin, Asparagin, Glutamat, Glutamin, Prolin, Alanin, Valin, Tyrosin, Gabanin, Histidin und Arginin.

Glutamat korrelierte sowohl bei den Labor- als auch bei den Freilandversuchen (Tab. 12). Tyrosin hatte bei den Laborversuchen einen Einfluss auf die Wegtragerate der verschiedenen Pflanzenarten, während bei den Freilandversuchen Histidin und Arginin einen Einfluss auf die Anzahl der während dem Versuchsverlauf verschleppten Diasporen hatten (Tab. 12).

Kohlenhydrate:

Bei den Kohlenhydraten wurde ebenfalls zunächst der Gesamtgehalt der Diasporen mit der Wegtragerate korreliert. Bei den Laborversuchen zeigte sich hier eine Korrelation bereits nach 15 min (Tab. 12), bei den Freilandversuchen ergab sich kein Zusammenhang. Die Kohlenhydrate schienen daher lediglich im Labor eine Rolle zu spielen, ob bestimmte Früchte und Samen von den Ameisen bevorzugt wurden.

Folgende Kohlenhydrate wurden dann einzeln untersucht: Trehalose, Fructose, Glucose und Sucrose. Alleine Trehalose korrelierte mit der Wegtragerate bestimmter Diasporen und das auch nur nach 20- 35 Minuten bei den Versuchen im Feld (Tab. 12).

Lipide:

Der Gesamtlipidgehalt korrelierte weder bei den Versuchen im Labor noch im Feld mit der Wegtragerate der Diasporen der verschiedenen Pflanzenarten.

Weiters wurden folgende Lipide einzeln mit der Anzahl der verschleppten Früchte und Samen korreliert: Palmitinsäure, α -Linoleinsäure, Linoleinsäure, Oleinsäure. Auch hier waren weder bei den Laborversuchen noch bei den Versuchen im Freiland Korrelationen zwischen den untersuchten Fetten und der Wegtragerate zu beobachten.

Proteine und Stärke:

Der Gesamtgehalt der Proteine und Stärke wurden ebenfalls mit der Wegtragerate der Diasporen korreliert, jedoch fanden sich auch hier keine Korrelationen mit der Anzahl der verschleppten Diasporen im Versuchsverlauf.

4. Diskussion

Seit den Arbeiten von Sernander (1906) besteht kein Zweifel, dass das Elaiosom von myrmekochoren Diasporen der attraktive Teil für Ameisen ist. Da die Inhaltsstoffe der Elaiosomen bei den verschiedenen Pflanzenarten variieren, war es Ziel dieser Arbeit herauszufinden, ob es bei *Myrmica rubra* Unterschiede in der Präferenz der Früchte und Samen verschiedener Pflanzenarten gibt. Es wurde postuliert, dass die Attraktivität im Zusammenhang mit den Inhaltsstoffen der Elaiosomen der jeweiligen Diasporen steht. Dafür wurden unter Laborbedingungen Versuche mit zehn verschiedenen temperaten Pflanzenarten gemacht. Um abzuschätzen, ob die Ergebnisse aus dem Labor auf die Freilandbedingungen übertragbar sind, wurden zusätzlich mit fünf dieser zehn bei den Laborversuchen verwendeten Pflanzenarten auch Versuche im Feld durchgeführt.

4. 1. Präferenzen

Bei den einzelnen Pflanzenarten zeigten sich sowohl bei den Labor- als auch bei den Freilandversuchen signifikante Unterschiede in der Attraktivität der Diasporen. *Knautia dipsacifolia*, *K. arvensis*, *Helleborus niger* und *Corydalis cava* wurden bevorzugt, während *Galanthus nivalis* und *Leucojum vernum* jene Pflanzenarten waren, die eindeutig am unattraktivsten für *Myrmica rubra* waren.

Es kann verschiedene Gründe dafür geben, warum bestimmte Diasporen von Ameisen bevorzugt werden. *G. nivalis* und *L. vernum* haben beide sehr große und schwere Diasporen (Tab. 11). *M. rubra*-Arbeiterinnen sind verhältnismäßig klein, daher könnte eine zu große Diasporengröße oder -masse (wie etwa bei *G. nivalis* und *L. vernum*), also das ungünstige Verhältnis zwischen Mandibelspannweite und Diaspore, ein Grund für die geringe Präferenz dieser Samen sein. Obwohl hier der %-Anteil des Elaiosoms an den Diasporen sehr groß ist, sind diese Diasporen/sie nicht so attraktiv für die Ameisen, da es den Arbeiterinnen schwerfällt sie abzutransportieren.

Tab 11.: Gewichte (Gesamtdiaspore, S-Samen allein; E-Elaiosom allein) und Prozentanteil an Gesamtdiaspore (S; E) der untersuchten Pflanzenarten, geordnet nach ihrer Attraktivität

Pflanzenart	Gewicht (S+E in mg)	S/Fr (in mg)	E (in mg)	%-Anteil S	%-Anteil E
<i>K. dipsacifolia</i>	6.75	6.45	0.30	95.56	4.44
<i>K. arvensis</i>	3.75	3.60	0.15	96.00	4.00
<i>H. niger</i>	7.85	7.55	0.30	96.18	3.82
<i>C. cava</i>	6.45	6.25	0.20	96.90	3.10
<i>P. officinalis/</i>	8.15	7.95	0.20	97.55	2.45
<i>S. officinale</i>	13.70	13.20	0.50	96.35	3.65
<i>Ch. majus</i>	0.60	0.55	0.05	91.67	8.33
<i>A. europaeum</i>	4.70	4.05	0.65	86.17	13.82
<i>L. vernum</i>	28.10	22.00	6.10	78.29	21.71
<i>G. nivalis</i>	19.50	16.30	3.20	83.59	16.41

Zu kleine Samen wiederum, wie etwa jene von *Chelidonium majus*, könnten weniger beliebt sein, weil sie keine rentable Energiequelle für unsere Ameisenart darstellen, da wesentlich mehr Samen weggeschleppt werden müssten, um dieselbe Menge an Energie zu bekommen, wie das bei einem größeren Samen der Fall ist. Gorb & Gorb (1995, 2003) konnten in mehreren Studien zeigen, dass die Wegtragerate von Früchten und Samen von der Größe der Gesamtdiaspore beeinflusst wird und die Attraktivität ausmacht. Die Untersuchungen von Gorb & Gorb (1995) ergaben, dass Arbeiterinnen von *Formica polyctena* große Diasporen, wie etwa jene von *Asarum europaeum* oder *Corydalis cava*, eher bevorzugen als kleinere, wie etwa jene von *Chelidonium majus*. Die bei ihren Versuchen verwendeten Ameisen sind relativ groß und daher nahmen die Autoren an, dass größere Diasporen von dieser Ameisenart eher bevorzugt werden, da diese ihrer optimale Mandibelspannweite entsprechen und bequem zu transportieren sind (Gorb & Gorb, 1995). Servigne & Detrain (2008) fanden ebenfalls, dass große Ameisen, wie etwa *Formica polyctena* vorzugsweise größere Diasporen verschleppen, während kleine, wie etwa *Myrmica rubra* oder *Lasius niger*, eher kleinere Diasporen bevorzugen. Auch Kaspari (1996) konnte in seinen Untersuchungen zeigen, dass die maximale Diasporengröße, die eine Ameisen abtransportieren kann, umso höher ist, je größer die Ameisen sind.

Manche Autoren stellten auch die Vermutung auf, dass die Attraktivität von Früchten und Samen, neben dem Gesamtgewicht und der Gesamtgröße der Diasporen, alleine von der Größe des Elaisoms abhängig ist (Oostermeijer, 1989; Mark & Olesen, 1996; Peters et al., 2003). Aus der hier vorgestellten Untersuchung kann man erkennen, dass jene Pflanzenarten, die eine höhere Attraktivität für *M. rubra* aufweisen, bezüglich ihres Elaiosomgewichts recht

ähnlich sind (0.15 – 0.3mg). Man könnte also annehmen, dass in diesem Bereich das Verhältnis zwischen Kosten (Energie für den Abtransport der Diasporen) und Nutzen (Energie aus den Elaiosomen) für am günstigsten ist. Andere Studien lassen vermuteten, dass nicht die Diasporengroße, sondern das Elaiosom/Samen-Verhältnis eine Rolle für die Attraktivität spielt (Gunther & Lanza, 1989, Hughes & Westoby, 1992). Gunther & Lanza (1989) untersuchten drei verschiedene *Trillium*-Arten hinsichtlich ihrer Attraktivität für *Myrmica punctiventris*. Ihre Ergebnisse zeigen, dass zwar jene Samen mit dem größten Elaiosom/Samen-Verhältnis (*Trillium erectum*) am stärksten bevorzugt wurden, dass jedoch jene mit dem kleinsten Elaiosom/Samen-Verhältnis (*Trillium undulatum*) in ihrer Attraktivität in der Mitte lagen. Gunther & Lanza (1989) vermuteten daher, dass die Attraktivität von Diasporen von einer Vielzahl von Diasporeneigenschaften abhängig ist. Diese Annahme wird von meinen Ergebnissen gestützt: jene Samen mit dem größten Samen/Elaiosom-Verhältnis (also *L. vernum*, *G. nivalis* und *A. europaeum*) waren eindeutig am wenigsten attraktiv für *M. rubra*. Man könnte daher tatsächlich davon ausgehen, dass das Verhältnis Gesamtdiasporengewicht zu Ameisengröße und Gewicht eine Rolle spielen. Auch weitere Diasporeneigenschaften (wie etwa Form, Struktur oder chemische Zusammensetzung der Elaiosomen) könnten von Bedeutung sein.

4. 2. Korrelationen

Myrmekochore Diasporen besitzen nährstoffreiche Elaiosomen, die von den Arbeiterinnen an die Larven für ihr Wachstum und ihre Entwicklung verfüttert werden. Fischer et al. (2005) konnten nachweisen, dass Elaiosomen von *C. cava* für *M. rubra*-Larven als Babynahrung dienen. In einer weiteren Studie analysierten daher Fischer et al. (2008) die Inhaltsstoffe von 15 mitteleuropäischen Pflanzenarten. Sie fanden heraus, dass die Zusammensetzung der Aminosäuren sowie der Fettsäuren und Proteine zwischen Elaiosom und Samen deutlich unterschiedlich ausfallen. In den meisten Elaiosomen ist im Vergleich zum Samen, die Konzentration an Aminosäuren viel höher (~60 mg/g Trockenmasse – also 7.5 mal höher). Aminosäuren sind reich an Stickstoff, welcher ein für Insekten allgemein limitierender Faktor für Wachstum, Entwicklung und Fruchtbarkeit ist. Außerdem waren in einigen Pflanzenarten mehr Lipide in den Elaiosomen angereichert als in den entsprechenden Samen (z. B.: *K. arvensis* 2x höhere Konzentration in E als in S). Elaiosomen sind daher eine besonders ergiebige Energiequelle für Ameisen und ihre Larven.

Vor allem im Frühjahr spielen Elaiosomen eine wichtige Rolle als Nahrungsquelle für Ameisenvölker, da zu dieser Zeit wenige Insekten als Beute und Energielieferanten vorhanden sind. Myrmekochore Pflanzenarten blühen und fruchten vorwiegend im Frühjahr (Oberrath, 2000). Sie fallen somit genau in ein Futterloch und spielen eine wichtige Rolle bei der Ernährung der Larven und somit der Brutaufzucht und der Erhaltung der Kolonie.

Der zweite Teil unserer Untersuchungen behandelt die Frage, ob bestimmte Inhaltsstoffe in den Elaiosomen verantwortlich dafür sind, ob eine Diaspore bevorzugt wird oder nicht. Dafür wurden die Wegtrageraten der verschiedenen Pflanzenarten, sowohl bei den Labor- als auch bei den Freilandversuchen, mit Inhaltsstoffgruppen und den einzelnen Inhaltsstoffen korreliert. Die Inhaltsstoffe wurden aus den Daten von Fischer et al. (2008) ausgewählt. Es wurden all jene Inhaltsstoffe untersucht, bei denen genügend Daten zu einer Weiterverarbeitung vorhanden waren. Bei den Aminosäuren wurden daher Asparagin, Glutamat, Glutamin, Alanin, Valin, Tyrosin, Gaba, Histidin, Arginin und Serinin, bei den Kohlenhydraten Trehalose, Fructose, Glucose und Sucrose und bei den Lipiden Palmitin-, Linolein-, α -Linolein- und Oleinsäure mit der Wegtragerate der Diasporen korreliert. Die übrigen Inhaltsstoffe (Aminosäuren: Prolin; Kohlenhydrate: Raffinose, Stachyose, Glycerol und *myo*-Inositol; Lipide: Capryl-, Caprin-, Myristin-, Palmitolein-, Stearin-, Linolen-, cis-11-Eicosenoin- und cis-11,14-Eicosatrienoinsäure) aus den Untersuchungen von Fischer et al. (2008) konnten bei einigen Pflanzenarten teilweise nicht nachgewiesen werden, sodass zu viele Daten gefehlt haben und diese daher nicht in die Korrelationsberechnungen miteinbezogen werden konnten.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass bei den Versuchen die Konzentration einzelner Aminosäuren wie Glutamat, Tyrosin, Histidin und Arginin, sowie der Gesamtkohlenhydratgehalt und speziell Trehalose einen Einfluss darauf zu haben scheinen, ob die Diasporen einer Pflanzenart von *M. rubra* bevorzugt werden oder nicht (Tab. 12). In Tabelle 14 sind die Pflanzenarten nach ihrer Attraktivität geordnet und die Konzentrationen jener Inhaltsstoffe dargestellt, die einen Einfluss auf die Attraktivität einer Diaspore bei der untersuchten Ameisenart zu haben scheinen.

Tab. 12: zeigt die unterschiedlichen Konzentrationen der verschiedenen Inhaltsstoffe, die mit der Anzahl der verschleppten Samen mit der Zeit korrelieren; die Pflanzenarten sind nach ihrer Attraktivität geordnet; nd = nicht nachweisbar

	Kohlenhyd rate allg.	Trehalose	Glutamat	Tyrosin	Histidin	Arginin
<i>K. dipsacifolia</i>	12.3	2.8	10.8	4.5	17.6	11.9
<i>K. arvensis</i>	18.1	2.0	9.7	2.8	16.3	18.7
<i>H. niger</i>	35.9	0.6	6.5	0.7	0.9	nd
<i>C. cava</i>	12.3	60.7	9.3	1.4	10.1	9.1
<i>P. officinalis</i>	2.7	2.8	11.5	0.7	2.6	14.3
<i>S. officinale</i>	6.3	33.1	12.6	1.8	7.4	2.3
<i>Ch. majus</i>	134.4	nd	8.2	5.1	11.7	3.2
<i>A. europaeum</i>	17.9	nd	8.5	9.2	5.6	14.1
<i>L. vernum</i>	134.3	1.8	5.2	10.8	5	22.2
<i>G. nivalis</i>	124.2	2.2	4.7	5.3	2.4	18.4

Vor allem bestimmte Aminosäuren spielen eine wichtige Rolle: insgesamt vier der 11 untersuchten Aminosäuren scheinen eine Bedeutung bei der Attraktivität bestimmter Diasporen zu haben (Tab. 12). Auch andere Untersuchungen konnten zeigen, dass Ameisen auf bestimmte Aminosäuren reagieren und dass diese etwa bei der Attraktivität von extrafloralen Nektarien eine wichtige Rolle spielen (Lanza & Krauss, 1984; Lanza, 1991; González-Teuber & Heil, 2009). González-Teuber & Heil (2009) wiesen nach, dass es interspezifische Variabilität bezüglich der Präferenz von Aminosäuren unter Ameisen gibt und unterstützen zusätzlich die Hypothese von Gardener & Gillman (2002), dass Aminosäuren generell zum 'Geschmack' von Nektar beitragen.

Bei meinen Untersuchungen mit *M. rubra* scheint vor allem Glutamat den stärksten Einfluss auf die Präferenz bestimmter Pflanzenarten zu haben, da bei den Laborversuchen bereits ab 10 min nach Versuchsbeginn, bei den Freilandversuchen ab der 50. min eine starke Korrelation zwischen der Wegtragerate der Diasporen und der Glutamatkonzentration vorlag (Tab. 12). *K. dipsacifolia*, *K. arvensis* und *C. cava* standen bei meinen Versuchsreihen weit oben in der Präferenzliste. Da die Glutamatkonzentration in den Elaiosomen dieser Pflanzenarten sehr hoch ist (Tab. 14), gibt es Grund zur Annahme, dass diese Aminosäure eine wichtige Rolle bei der Attraktivität spielt. Diese Annahme wird dadurch erhärtet, dass *G. nivalis* und *L. vernum*, welche die für *Myrmica rubra* unattraktivsten Samen hatten, von allen untersuchten Diasporen die niedrigste Konzentration an Glutamat in den Elaiosomen haben. Allerdings haben *P. officinalis* und *S. officinale* (beide an 5. Stelle in der Präferenzliste) noch höhere Glutamatkonzentrationen in ihren Elaiosomen als die beiden attraktivsten, während bei *H. niger* (an 3. Stelle in der Präferenzliste) die Konzentration an Glutamat in den Elaiosomen

relativ gering ist (Tab. 14). Möglicherweise haben weitere Inhaltsstoffe ebenfalls einen starken Einfluss auf die Attraktivität von Früchten und Samen, oder ein bestimmtes Verhältnis der verschiedenen Inhaltsstoffe in den Elaiosomen beeinflusst die Präferenz der Diasporen. Ob Glutamat physiologisch für Ameisen oder Insekten wichtig ist, ist bisher nicht bekannt. Möglicherweise hat diese Aminosäure tatsächlich nur einen Einfluss auf den „Geschmack“ der Diasporen, da das Entfernen von Glutamat aus der Nahrung bei *Tenebrio molitor* (Mehlwurm) die Wachstumsrate der Larven nicht beeinflusst (Davis, 1975).

In den Versuchen der hier vorgelegten Arbeit scheinen außer Glutamat auch Histidin und Arginin einen Einfluss auf eine höhere Attraktivität der Diasporen einer Pflanzenart zu haben, wenn auch einen geringeren als Glutamat, da dieser Einfluss nur bei den Freilandversuchen auftritt (Histidin: ab der 50. min, außer nach 90 min; Arginin: nach 30-45 min, s. Tab. 12). Histidin und Arginin sind essentielle Aminosäuren, wobei erstere mit 3 und letztere mit 4 N-Atomen im Molekül einen effizienten Stickstofflieferanten darstellt. Da Stickstoff ein limitierender Faktor für Wachstum, Entwicklung und Fruchtbarkeit von Insekten ist (Hagen et al., 1984; Barbehenn et al., 1999) und die Elaiosomen von den Arbeiterinnen gesammelt und an die Larven verfüttert werden, scheint es sinnvoll zu sein, Diasporen mit hohem Stickstoffgehalt abzutransportieren und an die Larven zu verfüttern. Arginin spielt weiters eine wichtige Rolle bei der Synthese von Prolin, welches wichtig ist für die Frostresistenz bei verschiedenen Insekten (Reddy & Campbell, 1969; Misener et al., 2001). Da Insekten diese Aminosäure nicht selbst synthetisieren können, ist eine Aufnahme von Arginin aus der Nahrung für Ameisen essentiell. Es wäre möglich, dass im Freiland die Verfügbarkeit an Stickstoff geringer war als im Labor, da Laborkolonien mit einer Diät gefüttert wurden, die Hühnereiweiß enthält (Bhatkar-Diät, Bhatkar & Whitcomb, 1970) und daher ein guter Proteinlieferant ist. Es ist schwierig zu sagen, ob eine hohe oder niedrige Konzentration von Histidin oder Arginin für die Präferenz einer Diaspore verantwortlich ist. *K. dipsacifolia* und *K. arvensis* (mit den attraktivsten Diasporen) haben zwar den höchsten Histidin-Gehalt, jedoch ist die Konzentration an Histidin in den Elaiosomen von *H. niger* (3. Stelle in der Attraktivität) extrem gering (Tab. 12). Die Konzentration von Arginin ist zwar in den beiden beliebtesten Diasporen relativ hoch, jedoch ist in den Elaiosomen von *L. vernum*, *G. nivalis* und *A. europaeum* die Argininkonzentration noch wesentlich höher oder annähernd gleich (Tab. 12). Die Ergebnisse lassen daher vermuten, dass es synergistische Mischungen gibt oder ein bestimmtes Verhältnis verschiedener Inhaltsstoffe für die Präferenz von Diasporen für *M. rubra* verantwortlich ist.

Tyrosin zeigt ebenfalls einen Einfluss auf die Wegtragerate der untersuchten Diasporen, jedoch ist dieser sehr gering und nur bei den Laborversuchen zu sehen. Tyrosin kann während der Larvalphase gespeichert werden und spielt eine zentrale Rolle bei der Sklerotisierung und Pigmentierung des Exoskeletts beim Adulttier (Kramer & Hopkins, 2005). Allerdings ergaben die Studien von Davis (1975), dass Tyrosin, genauso wie Glutamat, aus der Nahrung entfernt werden konnte, ohne dass die Wachstumsrate der Larven von *Tenebrio molitor* beeinflusst wurde. Die Bedeutung dieser Aminosäuren ist daher noch immer Gegenstand von Spekulationen.

Bei den Laborversuchen (nicht jedoch bei den Freilandversuchen) gab es einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Wegtragerate der Diasporen und dem Gesamtkohlenhydratgehalt (Tab. 12). Der Gesamtkohlenhydratgehalt ist bei *L. vernum* und *G. nivalis* viel höher als bei den anderen Pflanzenarten, außer bei *Ch. majus* (Tab. 14). Die beiden ersteren Arten waren jene, die bei den Versuchen eindeutig unattraktiver für die Ameisen waren. Da Elaiosomen gesammelt werden, um an die Larven verfüttert zu werden, weil diese viel Fett und Aminosäuren für ihr Wachstum benötigen, und Kohlenhydrate hauptsächlich als Energielieferant für die Arbeiterinnen dient (Fischer et al., 2005), könnte ein hoher Gesamtkohlenhydratgehalt eine Erklärung dafür sein, warum die Diasporen dieser beiden Pflanzenarten weniger gerne weggetragen wurden. Zwar hat *Ch. majus* ebenfalls einen sehr hohen Gesamtkohlenhydratgehalt, jedoch zusätzlich einen höheren Glutamat- und Histidingehalt als *G. nivalis* und *L. vernum*.

Bei den Freilandversuchen scheint Trehalose einen schwachen Einfluss (nach 30 und 35min; Tab. 12) auf die Wegtrageaktivität zu haben. Trehalose ist der Hauptzucker der Hämolymphe der Insekten (Wyatt & Kalf, 1957; Wyatt, 1967). Wyatt (1967) vermutet, dass Trehalose als Hauptenergiequelle für den Flug von Insekten dient (Wyatt 1967). Weitere Untersuchungen ergaben, dass dieses Disaccharid zusätzlich eine wichtige Rolle bei der Frostresistenz verschiedener Insekten spielt (Thomson, 2003). Es ist jedoch interessant, dass die beiden attraktivsten (*K. dipsacifolia* und *K. arvensis*) und unattraktivsten Diasporen (*L. vernum* und *G. nivalis*) fast die gleiche Menge an Trehalose in ihren Elaiosomen enthielten (Tab. 12). Außerdem war bei *H. niger* die Konzentration an Trehalose viel geringer als bei allen anderen untersuchten Arten, wogegen sie bei *C. cava* und *S. officinale* sehr hoch war. Auch wenn es einen sehr geringen Zusammenhang zwischen dem Trehalosegehalt und der Wegtragerate der

Diasporen gab, scheint dieses Kohlenhydrat vernachlässigbar für die Attraktivität von Früchten und Samen bei *M. rubra* zu sein.

Erstaunlicherweise scheinen entgegen den Erwartungen bei unseren Versuchsreihen weder der Gesamtlipidgehalt, noch einzelne Lipide, wie etwa Ölsäure, einen Einfluss auf die Wegtragerate der Diasporen bei *M. rubra* zu haben. Viele Studien beschäftigten sich damit, ob einzelne Fette das Trageverhalten bei Ameisen auslösen. Hierbei wurde unter anderem vor allem 1,2 – Diolein als Auslöser vermutet (Marshall et al., 1979; Skidmore & Heithaus, 1987; Brew et al., 1989; Lanza et al., 1992; Hughes et al., 1994). Daher wurde in meiner Studie untersucht, ob Lipidgruppen oder die einzelnen Lipide einen Einfluss auf die Attraktivität für *M. rubra* haben. Diese Hypothese konnte in der vorgelegten Studie nicht bestätigt werden, da es weder bei den Labor- noch bei den Freilandversuchen einen Zusammenhang zwischen der Wegtragerate der Diasporen und einzelnen Lipiden gab. Gordon (1983) konnte zeigen, dass die Reaktion von *Pogonomyrmex badius*-Arbeiterinnen gegenüber Ölsäure von den Aktivitäten der restlichen Kolonie abhängig ist und dass sich diese daher von Kolonie zu Kolonie unterscheiden. Wenn ein Großteil der Arbeiterinnen mit Nesterhaltung beschäftigt war, wurden mit Ölsäure getränktes Papierstücke in die Mitte getragen (also zum Müllhaufen), während wenn die meisten mit Nahrungssuche beschäftigt waren, wurden diese Papierstücke ins Nest getragen (Gordon, 1983).

Was zusätzlich bei der Attraktivität von Diasporen in Betrachtung gezogen werden sollte, ist die Aktivität der einzelnen Ameisenvölker während der einzelnen Versuche an den verschiedenen Versuchstagen. Bei den Versuchen im Labor wurde die Aktivität der 10 verschiedenen Völker am Anfang, nach einer Stunde und am Ende der Versuche notiert. Die einzelnen Völker waren teilweise recht unterschiedlich in ihrer Aktivität, was zu den oft sehr hohen Konfidenzintervallen bei den Vergleichen geführt hat.

Der Vergleich der Attraktivität der Diasporen zwischen den Versuchen im Labor und Feld, um feststellen zu können, ob die Ergebnisse aus dem Labor auf die Freilandbedingungen übertragbar sind, ergab signifikante Unterschiede (Tab. 9, Fig. 26). Die Diasporen bestimmter Pflanzenarten wurden bei den Versuchen im Labor vermutlich wegen der räumlichen Beschränkung wesentlich schneller von den Arbeiterinnen entdeckt und weggetragen als im Freiland. Im Labor waren die einzelnen Völker auf einen Raum von 40x30 cm (s. Fig. 12) eingeschränkt, was dazu führte, dass sie immer wieder (gezwungenermaßen) an den

angebotenen Diasporen vorbeilaufen mussten. Die Arbeiterinnen im Freiland hatten dagegen uneingeschränkten Raum und viel mehr Ressourcen zur Verfügung und waren eventuell durch andere Faktoren abgelenkt (Duft anderer Futterquellen, ...). Ein anderer Grund könnte sein, dass es für die Ameisen im Labor, im Vergleich zu jenen im Freiland, keine alternativen Futterquellen gab, die interessanter für *M. rubra* waren (Boulay et al., 2005), sondern nur die angebotenen Samen bzw. Früchte als Nahrungsquelle für die Arbeiterinnen zur Verfügung standen. Die Wahl einer futtersuchenden Arbeiterin aus vorhandenen Nährstoffressourcen hängt jedoch vom Angebot in der restlichen Umgebung ab (Kay, 2004). Je nachdem wieviele Nährstoffe in der Umgebung einer Arbeiterin vorhanden sind, kann die Präferenz von Diasporen innerhalb von Arten unterschiedlich sein. Außerdem wurden zwischen den einzelnen Versuchen im Freiland eine Pause von 2 bzw. 3 Tagen gehalten, in denen die *M. rubra*-Arbeiterinnen willkürlich auf Futtersuche gehen konnten. Dadurch könnte es eventuell sein, dass eine Nahrungssättigung durch andere Futterquellen aufgetreten ist, was dazu geführt haben könnte, dass die bei den Versuchen im Freiland angebotenen Diasporen nicht mehr so interessant bzw. lebensnotwendig waren (Boulay et al., 2005; Heithaus & Heithaus, 2005). Im Gegensatz dazu hatten die Laborvölker nur einen Tag Pause zwischen den Versuchen und wurden mit Bhatkar-Diät bzw. Mehlwürmern zugefüttert. Es wäre möglich, dass die Ameisen im Labor „hungriger“ waren als die im Freiland, da sie ja eine definierte Menge an Futter bekommen haben, und daher „gieriger“ auf die angebotenen Früchte und Samen waren, was dann zu einer größeren und schnelleren Wegtragerate bei den Laborversuchen geführt hat.

Zusammenfassend kann man sagen, dass bei meiner Studie das Gesamtdiasporengewicht und Glutamat den größten Einfluss auf die Attraktivität der Früchte und Samen bei *M. rubra* hatten. Ein zu großes Gewicht wirkt sich negativ auf die Präferenz aus, da die Diasporen zu schwer für die Arbeiterinnen sind und nicht abtransportiert werden können. Glutamat könnte, ähnlich wie bei Menschen, als Geschmacksverstärker wirken und somit einen Einfluss auf den Geschmack bestimmter Diasporen haben. Da jedoch kein eindeutiger Trend zu beobachten ist, wird wahrscheinlich eine Mischung oder ein bestimmtes Verhältnis von einzelnen Inhaltsstoffen dafür verantwortlich sein, dass bestimmte Diasporen von *M. rubra* lieber aufgenommen werden als andere. Weitere Untersuchungen sind notwendig um diese Aussagen zu testen.

Literatur:

1. Barbehen, R. V., Reese, J. C., Hagen, K. S. (1999). The food of insects. Huffaker, C. B., Gutierrez, A. P. (Ed) *Ecological Entomology* 83-121.
2. Beattie, A. J. (1985). The evolutionary ecology of ant-plant mutualisms. *Cambridge studies in ecology*. Cambridge University Press.
3. Beattie, A. J. (2002). Plant-animal interactions – an evolutionary approach. Herrera, C. M., Pellmyr, O. (Ed.). Oxford: Blackwell: 211-235.
4. Bhatkar A P & Whitcomb W H (1970). Artificial diet for rearing various species of ants. *Fla. Entomol.* **53**: 229-232.
5. Bono, J. M. & Heithaus, E. R. (2002). Sex ratios and the distribution of elaiosomes in colonies of the ant, *Aphaenogaster rudis*. *Insectes Sociaux* **49**: 320-325.
6. Boulay, R., Fedriani, J. M., Manzaneda, A. J., & Cerda, X. (2005). Indirect effects of alternative food resources in an ant-plant interaction. *Oecologia* **144**: 72-79.
7. Bresinsky, A. (1963). Bau, Entwicklungsgeschichte und Inhaltsstoffe der Elaiosomen. Studien zur myrmekochoren Verbreitung von Samen und Früchten. *Bibliotheca Botanica* **126**: 1-54.
8. Brew, G. R., O'Dowd, D. J., & Rae, J. D. (1989). Seed dispersal by ants: behaviour releasing compounds in elaiosomes. *Oecologia* **80**: 490-497.
9. Davis, G. R. F. (1975). Essential dietary amino-acids for growth of larvae of yellow mealworm, *Tenebrio-Molitor* L. *Journal of Nutrition* **105**: 1071-1075.
10. Fischer, R. C., Olzant, S. M., Wanek, W., & Mayer, V. (2005). The fate of *Corydalis cava* elaiosomes within an ant colony of *Myrmica rubra*: elaiosomes are preferentially fed to larvae. *Insectes Sociaux* **52**: 55-62.
11. Fischer, R. C., Richter, A., Hadacek, F., & Mayer, V. (2008). Chemical differences between seeds and elaiosomes indicate an adaptation to nutritional needs of ants. *Oecologia* **155**: 539-547.
12. Fokuhl, G., Heinze, J., & Poschlod, P. (2007). Colony growth in *Myrmica rubra* with supplementation of myrmecochorous seeds. *Ecological Research* **22**: 845-847.
13. Gammans, N., Bullock, J. M., & Schonrogge, K. (2005). Ant benefits in a seed dispersal mutualism. *Oecologia* **146**: 43-49.
14. Gardener, M. C. & Gillman, M. P. (2002). The taste of nectar - a neglected area of pollination ecology. *Oikos* **98**: 552-557.
15. Gibbons, H. (2004). Chemical and visual cues initiating myrmecochorous dispersal of dwarf gorse (*Ulex minor*), Lancaster University.
16. Gomez, C. & Espadaler, X. (1998). Myrmecochorous dispersal distances: a world survey. *Journal of Biogeography* **25**: 573-580.
17. Gorb, S. N. & Gorb, E. V. (1995). Removal rates of seeds of five myrmecochorous plants by the ant *Formica polyctena* (Hymenoptera: Formicidae). *Oikos* **73**: 367-374.
18. Gorb, E. & Gorb, S. (2000). Effects of seed aggregation on the removal rates of elaiosome-bearing *Chelidonium majus* and *Viola odorata* seeds carried by *Formica polyctena* ants. *Ecological Research* **15**: 187-192.
19. Gorb, E. & Gorb, S. (2003). Seed dispersal by ants in a deciduous forest ecosystem. Mechanisms, strategies, adaptations. (edn). Dordrecht: Kluwer Academic Press.

20. Gordon, D. M. (1983). Dependence of necrophoric response to oleic acid on social context in the ant *Pogonomyrmex badius*. *J. Chem. Ecol.* **9**: 105-111.
21. Gottschlich, G., Lange, D., Sebald, O., Seybold, S., Voggesberger, M., Wörz, A., (1996). Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Spezieller Teil (Spermatophyta, U.Kl. Asteridae, Valerianaceae bis Asteraceae). Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G., Wörz, A. (Ed.). Stuttgart: Eugen Ulmer
22. Gunter, R. W. & Lanza, J. (1989). Variation in attractiveness of *Trillium* diaspores to a seed-dispersing ant. *Am. Midl. Nat.* **122**: 321-328.
23. Hagen, K. S., Dadd, R. H., Reese, J. (1984). The food of insects. Huffaker, C. B., Rabb, R. L. (Ed.). *Ecological Entomology* 79-111
24. Heithaus, E. R., Heithaus, P. A., & Liu, S. Y. (2005). Satiation in collection of myrmecochorous diaspores by colonies of *Aphaenogaster rudis* (Formicidae : Myrmicinae) in Central Ohio, Usa. *Journal of Insect Behavior* **18**: 827-846.
25. Hughes, L. & Westoby, M. (1992). Effect of diaspore characteristics on removal of seeds adapted for dispersal by ants. *Ecology* **73**: 1300-1312.
26. Hughes, L. & Westoby, M. (1992). Fate of seeds adapted for dispersal by ants in an Australian sclerophyll vegetation. *Ecology* **73**: 1285-1299.
27. Hughes, L., Westoby, M., & Jurado, E. (1994). Convergence of elaiosomes and insect prey: evidence from ant foraging behaviour and fatty acid composition. *Functional Ecology* **8**: 358-365.
28. Kramer, K. J. & Hopkins, T. L. (2005). Tyrosine metabolism for insect cuticle tanning. *Insect Biochemistry and Physiology* **6**, 279-301
29. Kaspari, M. (1996). Worker size and seed size selection by harvester ants in a neotropical forest. *Oecologia* **105**: 397-404.
30. Kay, A. (2004). The relative availabilities of complementary resources affect the feeding preferences of ant colonies. *Behavioral Ecology* **15**: 63-70.
31. Kleinstauber, A., Lande, D., Philippi, G., Seybold, S., Voggesberger, M., Wörz, A., (1996). Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Spezieller Teil (Spermatophyta, U.Kl. Asteridae, Buddlejaceae bis Caprifoliaceae). Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G., Wörz, A. (Ed.). Stuttgart: Eugen Ulmer.
32. Kusmenoglu, S., Roockwood, L. L., & Gretz M. R. (1989). Fatty acids and Diacylglycerols from elaiosomes of some ant-dispersed seeds. *Phytochemistry* **28**: 2601-2602.
33. Lanza, J. K. B. R. (1984). Detection of amino acids in artificial nectars by two tropical ants. *Oecologia* **63**: 423-425.
34. Lanza, J. (1991). Response of fire ants (Formicidae, *Solenopsis-invicta* and *S. geminata*) to artificial nectars with amino-acids. *Ecological Entomology* **16**: 203-210.
35. Lanza, J., Schmitt M. A., & Awad A. B. (1992). Comparative chemistry of elaiosomes of 3 species of *Trillium*. *J. Chem. Ecol.* **18**: 209-221.
36. Mark, S. & Olesen, J. M. (1996). Importance of elaiosome size to removal of ant-dispersed seeds. *Oecologia* **107**: 95-101.
37. Marshall, D. L., Beattie, A. J., & Bollenbacher, W. E. (1979). Evidence for diglycerides as attractants in an ant-seed interaction. *J. Chem. Ecol.* **5**: 335-344.
38. Misener, S. R., Chen, C. P., & Walker, V. K. (2001). Cold tolerance and proline metabolic gene expression in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Insect Physiology* **47**: 393-400.

39. Morales, M. A. & Heithaus, E. R. (1998). Food from seed-dispersal mutualism shifts sex ratios in colonies of the ant *Aphaenogaster rudis*. *Ecology* **79**: 734-739.
40. Nebel, M., Philippi, G., Quinger, B., Rösch, M., Schiefer, J., Sebald, O., & Seybold, S. (1990). Die Farn- und Blütenpflanzen Baden Württembergs. Allgemeiner Teil, und spezieller Teil (Pteridophyta, Spermatophyta). Sebald, O., Seybold, S. & Philippi, G. (Ed.). Stuttgart: Eugen Ulmer.
41. Oberrath, R. (2000) Seed dispersal by ants and its consequences for the phenology of plants. Aachen, Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen.
42. Oostermeijer, J. G. B. (1989). Myrmecochory in *Polygala vulgaris* L., *Luzula campestris* (L.) DC. and *Viola curtisii* Forster in a Dutch dune area. *Oecologia* **78**: 302-311.
43. Peters, M., Oberrath, R., & Bohning-Gaese, K. (2003). Seed dispersal by ants: are seed preferences influenced by foraging strategies or historical constraints? *Flora* **198**: 413-420.
44. Reddy, S. R. R. & Campbell, J. W. (1969). Arginine metabolism in insects - properties of insect fat body arginase. *Comparative Biochemistry and Physiology* **28**: 515-&.
45. Rothmaler, W. (2002). Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Band. Jäger, E. J., Werner, K. (Ed.). Heidelberg Spektrum.
46. Sernander, R. (1906). Entwurf einer Monographie der europäischen Myrmekochoren. *Kungl. Svenska Vetenskapsakademien Handlingar* **41**: 1-409.
47. Servigne, P. & Detrain, C. (2008). Ant-seed interactions: combined effects of ant and plant species on seed removal patterns. *Insectes Sociaux* **55**: 220-230.
48. Skidmore, B. A. & Heithaus, E. R. (1988). Lipid cues for seed-carrying by ants in *Hepatica americana*. *J. Chem. Ecol.* **14**: 2185-2196.
49. Thomson, N. S. (2003). Trehalose – the insect 'blood' sugar. *Advanced Insect Physiology* **31**: 205-285
50. Whitney, K. D. (2002). Dispersal for distance? *Acacia ligulata* seeds and meat ants *Iridomyrmex viridiaeneus*. *Austral Ecology* **27**: 589-595.
51. Wyatt, G. R., Kalf, G. F. (1957). The chemistry of insect hemolymph. *The Journal of General Physiology* **40**: 833-847
52. Wyatt, G. R. (1967). The biochemistry of sugars and polysaccharides in insects. *Advances in Insect Physiology* **4**: 287-360.

Abbildungsnachweis:

1. http://formicaria.de/html/myrmica_rubra.html
2. http://antstore.net/shop/product_info.php/products_id/473
3. http://jlcheype.free.fr/images/Fleurs/Galanthus_nivalis.jpg
4. http://www2.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/abt2/dokablage/oac_168/typ_01/0101041_1.jpg
5. http://www.life-rostam.de/img/rostam_maerzenbecher.jpg
6. http://www.gardenersworld.com/objects/plant-detail-i/PL00004844_Pulmonaria_lg1.jpg

Danksagung:

Mein größter Dank gilt Dipl.-Biol. Dr. Veronika Mayer, die mich in meinem langen Weg zu dieser Diplomarbeit tatkräftig unterstützt und mir dabei viele Denkanstöße gegeben hat. Durch sie habe ich im wissenschaftlichen Arbeiten sehr viel dazu gelernt.

Als zweites möchte ich gerne Dr. Anton Weber für die Möglichkeit und das schnelle Korrekturlesen meiner Diplomarbeit danken.

Mein weiterer Dank gilt Mag. Dr. Silvester Ölzant, der voller Eifer bei meinen Vorbereitungen geholfen und mir außerdem bei den Versuchen stets interessiert zur Seite gestanden hat.

Weiters möchte ich gerne Dipl.-Biol. Dr. Christian H. Schultze dafür danken, dass er mir bei den Vorbereitungen und Überlegungen zur statistischen Auswertung geholfen hat.

Bedanken möchte ich mich auch gerne bei Mag. Susanne Sontag, die mich immer wieder ohne weiteres bei meiner Literatursuche unterstützt hat. Hierzu möchte ich auch gerne Herrn Wolfgang Brunnbauer aus der Bibliothek des Naturhistorischen Museums danken, der mir ebenfalls bei der Literatursuche behilflich war.

Weiters möchte ich gerne Dr. Brigitte Krückl dafür danken, dass sie mir ihre tollen Fotos zur Verfügung gestellt hat.

Ein riesengroßer Dank gilt meinen Eltern, die mir mein Studium und letztendlich diese Arbeit ermöglicht haben. Sie haben mir lange Zeit finanzielle und moralische Unterstützung geboten und immer an mich geglaubt. Vielen Dank an meinen Vater, Dr. Richard Lehrner, der mich zu diesem Studium ermutigt hat und die lange Zeit über sehr geduldig war. Vielen Dank auch an meine Mutter, Anikó Lehrner, die in schwierigen Zeiten stets seelisch an meiner Seite war. Danke für eure Geduld!

Ein weiterer Dank geht an Vincent Pelsöszi, der mich während meiner Studienjahre begleitet hat und in dieser Zeit durch Höhen und Tiefen mit mir gegangen ist.

Als letztes möchte ich noch ein großes Dankeschön an alle meine Freunde richten, die mich stets ermutigt haben nicht aufzugeben und dieses Studium zu beenden.

Curriculum vitae:

Name: Sofia Lehrner

Adresse: Mayergasse 9/2

A-1020 Wien

Geburtsdaten: 31.10.1982, Linz, Österreich

Staatsbürgerschaft: Österreich

Mobil: 0699 19024661

E-Mail: sofia.lehrner@gmx.at

Ausbildung:

1989 - 1990: Volksschule

1990 - 1993: Volksschule Czerninplatz 3, 1020 Wien

1993 - 2001: Gymnasium und Realgymnasium Zirkusgasse 48, 1020 Wien

2001 - 2007: Diplomstudium Biologie an der Universität Wien

seit 2007: Diplomstudium Biologie an der Universität Wien

seit März 2008 Diplomarbeit am Department für Strukturelle und Funktionelle
Botanik (Tier-Pflanzen-Interaktionen)

Beruflicher Werdegang:

2002-2004: Restaurant Donauturm (Empfangsdame)

2008: Impacts (Catering)

2009: ÖGJ-Kongress

2009: Weinquartier Wien

Sprachkenntnisse:

Deutsch (Muttersprache)

Ungarisch (Muttersprachenniveau)

Englisch