



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Bestäubungsbiologie der *Orlaya grandiflora* (Apiaceae)“

verfasst von / submitted by

Lisa Dunst BSc.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2016/ Vienna 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 832

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Botanik

Betreut von / Supervisor:

Univ.Prof. Dipl.Geograph Dr. Karl Georg Bernhardt

Inhalt

Einleitung	4
2. Material	6
2.1 <i>Orlaya grandiflora</i> : Habitus und Lebensraum	6
2.2 Blütenstand	7
2.3 Blühphasen	8
2.4 Frucht	8
2.5 Veränderungen der Blütenmorphologie	9
3. Standorte	9
3.1 Der Leopoldsberg	9
3.2 Der Bisamberg	11
4. Methoden	12
4.1 Beobachtung von Blütenbesuchern	12
4.2 Auswertung der Fotodaten	13
4.3 Auswertung der Blütenbesucher	14
4.4 Andere Reproduktionsstrategien	15
4.4.1 Autogamie	15
4.4.2 Apomixis	15
4.5 Handbestäubung	16
4.6 Pflanzen- und Blütenmorphologie nach Bildung der ersten Frucht	16
4.7 Statistische Auswertung	17
5. Ergebnisse	18
5.1 Blütenbesuche Leopoldsberg	18
5.2.1 Tagesverlauf	18
5.2.2 Tagesphasen mit Blütenbesuchern am Leopoldsberg	19
5.2 Taxonomische Einteilung der Blütenbesucher am Leopoldsberg und Bisamberg	20
5.3 Blütenbesuche am Standort Leopoldsberg	23
5.3.1 Unterstandorte am Leopoldsberg	24
5.4 Statistische Untersuchungen der Standorte in Bezug auf die Variation der Blütenbesucher	25
5.5 Individuendichte und Besucher am Leopoldsberg	28
5.6 Blühphase und Anzahl der Blütenbesucher	28
5.7 Fruchtbildung	29
5.7.1 Fruchternte	29
5.7.2 Keimtest	29
5.8 Andere Reproduktionsstrategien	30

5.8.1 Autogamie Auswertung.....	30
5.8.2 Auswertung Apomixis.....	31
5.9 Auswertung der Pflanzen- und Blütenmorphologie nach Bildung der ersten Frucht.....	31
6. Diskussion	32
6.1 Identifizierung von Bestäubern	33
6.2 Blütenbesucheraktivität	35
6.3 Diversität der Blütenbesucher	35
6.3.1 Variation von Blütenbesuchern am Leopoldsberg und Bisamberg	35
6.3.2 Standortvariationen im Vergleich zum Botanischen Garten der BOKU.....	36
6.4 Individuendichte	38
6.5 Auswirkungen der Selbstinkompatibilität auf die Fitness der Population	38
6.6 Auswirkungen der männlichen und weiblichen Blühphase auf das Besucherspektrum	39
6.7 Auswirkungen des Verlustes der Apikaldolde auf die Nebendolden	40
6.8 Optimierung der Keimbedingungen	40
7. Fazit.....	41
Literaturverzeichnis.....	42
Anhang	47
Zusammenfassung.....	47
Summary	48

Einleitung

Die Bestäubung durch Insekten trug maßgeblich zur Diversifizierung und dem Erfolg der Angiospermen bei (Grant, 1949; Baker & Hurd, 1968; Stebbins, 1970; Johnson & Steiner, 2000; Fenster et al., 2004). Mutualismen entwickelten sich zwischen den Blüten und ihren Bestäubern, die morphologische Anpassungen erforderten und zur Diversifizierung der Angiospermen und sowohl auch der Insekten führte (Stibbens, 1981). Einen Vorteil gegenüber der Windbestäubung bietet das hohe Potential eines ausgekreuzten, also fremdbestäubten Reproduktionssystems, dass die Fitness einer Population fördert (Charlesworth, 2006) und eine weite geographische Verbreitung ermöglicht (Burger, 1981). Die gesteigerte Effizienz durch tierische Pollenvektoren ermöglicht eine Verminderung der Pollenanzahl und eine damit einhergehende Energieersparnis (Pohl, 1937; Cruden, 1977).

Die Apiaceen gelten als eine Familie der generalisierten Bestäubung (Proctor et al. 1996) mit flachen, meist weißen Blütenständen, die ein weites Spektrum kleinerer Insekten verschiedener taxonomischer Gruppen mit Pollen und Nektar über die gesamte Blühzeit anlocken (Ellis and Ellis-Adam 1993, 1994; Zych 2004; Zych et al. 2007, Ollerton et al., 2007) und daher als eine allophile Pflanzengruppe bezeichnet wird (Corbet, 2006). Als Bestäuber gilt ein Insekt, das durch seinen Besuch zur Reproduktion der Blüte beiträgt, ein Blütenbesucher hingegen zeigt keinen Effekt auf die Reproduktion. *Angelica sylvestris* wird zum Beispiel von 245 Insektenarten verschiedener Taxa besucht (Ellis & Ellis-Adam 1993) und *Heracleum sphondylium* von über 100 Insektenarten (Zych, 2007), um zwei Vertreter der Apiaceen mit einem generalisierten Bestäubungssystem zu nennen. Als häufige Bestäuber sind Fliegen bekannt (Drabble and Drabble 1927; Proctor et al. 1996), doch auch Käfer (Lamborn & Ollerton 2000) und Bienen (Bell & Lindsey 1978; Lindsey 1984; Davila & Wardle 2002) gelten als Bestäuber. Ein spezialisiertes Bestäubersystem, beschreibt eine erfolgreiche Bestäubung durch eine geringe Anzahl an tierischen Arten (Armbruster et. al, 1999), ein generalisiertes Bestäubersystem hingegen die erfolgreiche Bestäubung durch eine hohe Anzahl an tierischen Arten (Gomez & Zamora, 1999). Beide Definitionen berücksichtigen die Taxonomie der Bestäbereinheiten. Abweichend zur taxonomischen Definition des Bestäubersystems, können ökologische Faktoren eine Kategorisierung der

Bestäuber ermöglichen, wie bei Arten, die auf Blüten angewiesen sind, die zur Regulation der Körpertemperatur beitragen oder funktionelle Gruppe mit einheitlichen morphologischen Merkmalen, wie z. B. in *Angelica sylvestris*, die von behaarten Syrphiden (Niemirski & Zych, 2011) bestäubt wird. Ein Ausschluss von Blütenbesuchern und Bestäubern können tiefliegende Nektarien sein, die nur von Rüsseltragenden Insekten erreicht werden, oder aber eine Attraktion, die in einer nicht ausreichenden Quantität zur Verfügung steht, so dass die Energiebilanz der Bestäuber negativ ausfällt (Aigner, 2004, 2006).

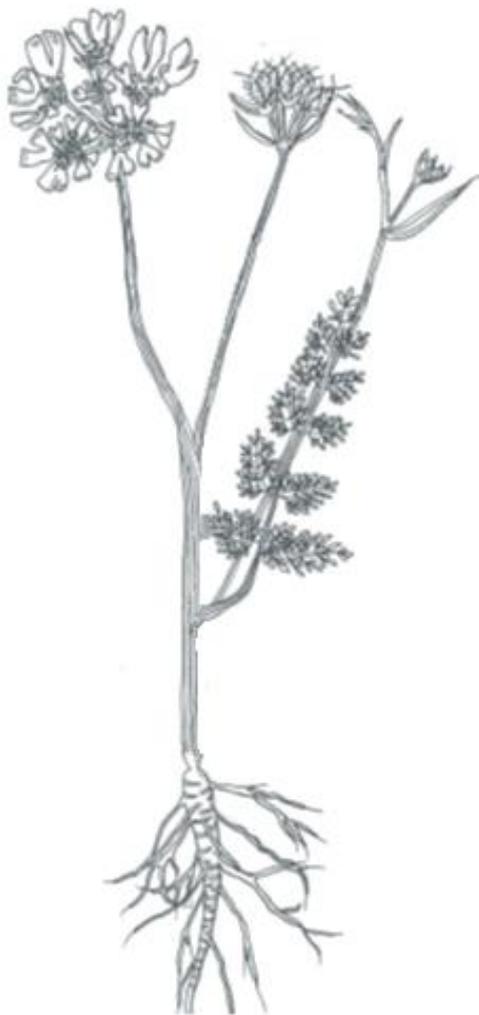
Orlaya grandiflora (L.) Hoffm. bietet ein leicht zugängliches System, um die Bestäubungsbiologie im Kontext einer Pflanze zu untersuchen, die in Deutschland und Österreich als stark gefährdet eingestuft wird. Die flachen Blütenstände ermöglichen die Beobachtung der Blütenbesuche durch Kameras. Eine Kameradauerbeobachtung kam laut Literaturrecherche in der Bestäubungsbiologie bisher nicht zum Einsatz und bietet den Vorteil, alle Insekten aufzunehmen, die im Laufe des Tages auf der Blüte verweilen. Laut Literatur wurden bisher Versuche mit Beobachtungsintervallen von 10 Minuten der Blütenbesucher von Apiaceen durchgeführt, kein Versuch führte eine Dauerbeobachtung durch. Durch die Aufnahme aller Blütenbesucher, können Aussagen zum Bestäubungssystem mit einer generalisierten oder spezialisierten Bestäubung und zur Bestäuberlimitation getroffen werden, die im Weiteren als Argumentationsgrundlage zum Schutz von *Orlaya grandiflora* dienen kann. In dieser Studie sind die relevante Faktoren und Merkmale der Apiaceen: die etablierte Selbstbestäubung, die eine Selbstkomparibilität voraussetzt und in Fällen einer Bestäuberlimitation zum Tragen kommen kann, ein andromonözisch, protandrischer Blütenstand, mit einer leichten Überlappung der weiblichen also gynözischen und männlichen, also andrözischen Blühphase. und die Attraktion von Blütenbesuchern und Bestäubern durch Pollen und Nektar. Der protandrische Blütenstand ermöglicht die Untersuchung, ob die Blütenbesucher eine Präferenz der Blühphase zeigen. Protandrische Blüten tendieren zur Bestäubung durch Fliegen und Bienen, proterogyne Blüten werden zumeist wind- und käferbestäubt (Sargent & Otto, 2006; Endress, 2010).

Es werden folgende Hypothesen formuliert: I. *Orlaya grandiflora* wird spezialisiert bestäubt. II. Das Bestäuberspektrum ist limitiert. III. Die Blütenbesucher zeigen Präferenzen in der andrözischen und gynözischen Blühphase. IV. *Orlaya grandiflora* ist selbstkompartibel und reproduziert sich autogam.

2. Material

2.1 *Orlaya grandiflora*: Habitus und Lebensraum

Orlaya grandiflora (L.) Hoffm. der Strahlen-Breitsame (www.floraweb.de, 21.03.2016), zählt zur Familie der Apiaceae und ist eine winterannuelle Pflanze, die zwischen Mai und August weiß blüht. Die ackerbegleitende Pflanze hat ihren Ursprung im mediterranen (Rexhepi, 1997) und submediterranen Raum (Pavlova, 2003). *Orlaya grandiflora* (siehe Abbildung 1) wächst auf trockenen bis halbtrockenen kalkhaltigen Böden, gerne im Mediterran als weinbergbegleitend, in Mitteleuropa pannonisch ackerbegleitend. Die Wuchsform ist therophytisch und halbrosettig. Die Höhe der Pflanze ist abhängig von der Beschaffenheit des Standortes, bei tiefgründigen offenen Flächen können Wuchshöhen bis zu 70 cm erreicht werden, auf steinig und flachgründigen Böden wird eine Wuchshöhe zwischen 30 cm und 50 cm erreicht.



Die Pflanze wächst aufrecht und weist viele Verzweigungen auf anderen terminalen Ende immer eine Influoreszenz sitzt, die behaarten Blätter sind zweifach gefiedert und sitzen direkt am Spross, wobei die grundständigen Blätter größer und kräftiger sind als sprossständige Blätter. Die grundständigen Blätter können im Frühjahr rot überlaufen sein. Der Spross ist verzweigt, kahl und kantig gefurcht. Die Wurzel ist in Hauptwurzel und feine Nebenwurzeln gegliedert, die bis über einen Meter erreichen kann (www.floraweb.de, 21.03.2016; Fischer et. al, 2008; Obersdorfer, 2001).

Abbildung 1: *Orlaya grandiflora* Habitus (Lisa Dunst, 2015)

2.2 Blütenstand

Der Blütenstand wird im Knospenstadium von Hüllblättern umschlossen, die bis zum Abfallen der Früchte voll entwickelt sind. Oberhalb der Hüllblätter verzweigt sich die Doppeldolde zu bis zu 11 Döldchen, die von Hüllblättchen umgeben sind. Jedes Döldchen beinhaltet bis zu 34 Einzelblüten: rein andrözische (siehe Abbildung 2a) Blüten in der Mitte und randständige hermaphrodite (siehe Abbildung 2b) protandrische Blüten mit einem vergrößertem Kronblatt. Der Bau einer Einzelblüte ist fünfzählig, mit fünf Hüllblättchen, fünf Kronblättern, fünf spiralig am Diskus inserierenden Stamen, und einem zweikarpelligen Gynözeum bei hermaphroditen Blüten mit unterständigen Fruchtknoten. Der Griffel entwickelt sich am Ende der andrözischen Phase aus dem Stylopodium, das Nektar zur Insektenattraktion produziert. Sobald die Stamen den Pollen entlassen haben, wächst der Griffel kurz über das Kronblatt hinaus. Das vergrößerte Kronblatt ist zweilappig und tief gespalten. Die Blüten im Zentrum des Döldchens sind radiärsymmetrisch gestaltet, wobei die Kronblätter ein Lobulum inflexum an der Spitze aufweisen (eigene Beobachtungen, www.floraweb.de, 24.03.2016; Fischer et.al, 2008; Obersdorfer, 2001).

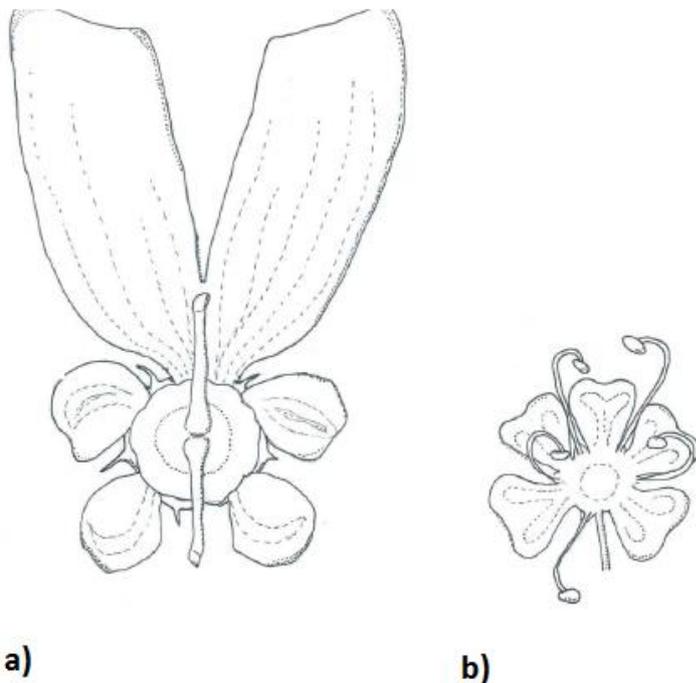
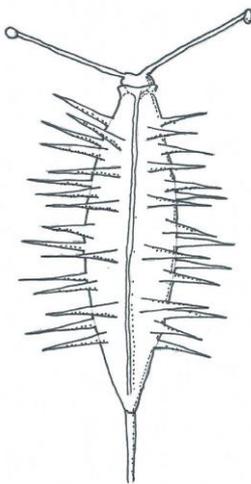


Abbildung 2: a) hermaphrodite b) androeische Blüten der *Orlaya grandiflora* (Beschreibung siehe Text) (Lisa Dunst, 2015)

2.3 Blühphasen

Nach Öffnung der Knospe (vorandrözische Phase) entwickeln sich die ersten andrözischen Einzelblüten zunächst in der Mitte der Dolde, die Kronblätter öffnen sich und der erste Stamen verlängert seine Filamente bis die Antheren hoch über das Kronblatt emporgehoben sind. Zu diesem Zeitpunkt entwickeln sich die anderen vier Stamen (andrözische Phase), während der Pollen des ersten und zweiten Stamens entlassen wird. Die Filamente nehmen nun schnell eine bräunliche Farbe ein. Sobald der Stamenkreis der andrözischen Blüten voll entwickelt ist, geht der Griffel der hermaphroditen, randständigen Blüten aus dem Stylopodium hervor (andrözische/gynözische Phase) und verweilt mit einer Länge von 2 mm für kurze Zeit. Sobald die letzten Antheren ihren Pollen entlassen haben, wächst der Griffel weiter aus (gynözische Phase) und färbt sich braun. Gleichzeitig verdickt sich der Blütenboden und bildet Stacheln aus. Der Blütenstiel verdickt sich und eine deutliche Furchung ist erkennbar (gynözische Phase/Reproduktionsphase). Mit der Zunahme des Volumens des Fruchtknotens, werden immer mehr kräftige Stacheln ausgebildet und der Griffel wächst weiter, bis er sich schließlich, die Frucht ist nun deutlich erkennbar (Fruchtphase), in einem Winkel von 90° hinunterklappt. Die Kronblätter sind nun vollständig verblüht und bleiben bis zur vollständigen Fruchtreife im vertrockneten Zustand stehen. Die Hüllblätter bleiben bis zur Fruchtreife im vitalen Zustand (eigene Beobachtungen).

2.4 Frucht



Die Frucht (siehe Abbildung 3), eine Doppelachäne, weil Perikarp und Testa verwachsen sind, zerfällt in zwei Spaltfrüchte mit je einem Embryo und erreicht eine Länge von 5-9 mm. Charakteristisch sind die gekrümmten Stacheln die der Frucht zur epizoochorischen Ausbreitung dienen. Der Griffel bleibt bis zur Reife an der Frucht und bildet einen Winkel von 90° . Die Frucht besitzt fünf Längsrippen als Hauptrippen, die Stacheln tragen und 2-3 Nebenrippen deren Stacheln länger ausgebildet sind, als die der Hauptrippen (eigene Beobachtungen).

Abbildung 3: Spaltfrucht der *Orlaya grandiflora* mit Stacheln und Griffeln (Lisa Dunst, 2015).

2.5 Veränderungen der Blütenmorphologie

Beobachtungen zeigten, dass es Abweichungen zur reinen Bestäubung durch Insekten in der Reproduktion gibt. In der Literatur wird beschrieben, dass *Orlaya grandiflora* auch bestäuberunabhängig autogam ist. Autogamie ist weit verbreitet (Levin, 1972) bei insektenbestäubten Arten und wird hier häufig als Notmechanismus verwendet. Wenn der Bestäuber ausbleibt verlieren die Filamente am Turgor, klappen in sich zusammen und die Antheren entlassen den reifen Pollen auf die befruchtungsfähige Narbe. Zumindest ist die Nachkommenschaft gesichert, ein genetischer Austausch findet allerdings nicht statt.

Zudem wurde während des Sommers 2015 mit trockenen und heißen Umweltbedingungen, eine Veränderung der Morphologie der Pflanze beobachtet. Die Laubblätter unterhalb der Apikaldolde zeigten eine einfache Fiederung und nicht wie im Regelfall eine doppelte bis dreifache Fiederung. Die Blüte reduzierte ihr Wachstum deutlich und nur selten wurden geöffnete Blüten mit vollentwickelten Kronblättern beobachtet. Nach der Befruchtung bildet eine hermaphrodite Blüte Stacheln unterhalb des Blütenbodens aus. Bei Öffnung der Knospe wurden auch Stacheln am Fruchtknoten beobachtet, obwohl eine Bestäubung durch Insekten ausgeschlossen ist. Zudem lagen Pollen am Blütenboden, die Antheren waren bereits aufgebrochen, eine Narbe war allerdings nicht zu erkennen. Das Andrözeum zeigte kurze Filamente mit nicht entwickelten Antheren, was auf eine Sterilität hinweist. Es wurden Blüten mit Griffellängen von maximal 2 mm beobachtet, der Griffel von offenen Blüten kann eine Länge von 8 mm erreichen und wächst erst nach der andrözischen Phase aus. Die Blüte ist somit nicht einfach in ihrer Entwicklung gestoppt worden, sondern die Reproduktionsorgane zeigen durchaus Aktivität, wenn auch eine geringere als normal entwickelte Blüten.

3. Standorte

3.1 Der Leopoldsberg

Das Hauptuntersuchungsgebiet liegt am Rand der Stadt Wien am Leopoldsberg (N48° 16' 35.1" E16° 20' 43.4", siehe Abbildung 4) und bildet mit dem östlich der Donau gelegenen Bisamberg (360m) die Wiener Pforte und das nord-östliche Ende der Alpen. Der Leopoldsberg besitzt in süd-östlicher Exposition steil abfallende Hänge, die in niedrigen Lagen vom Weinbau geprägt sind. Oberhalb des Weinbaus befinden sich offene Flächen und kleinere Wälder von Flaumeichengesellschaften und Sommerlindengesellschaften mit

Trockenkräutern, die nach Zukriegl (2005) 120 bis 160 Jahre alt sind. Der Boden ist kalkig mit steinigen flachgründigen Kalkbraunerden oder schuttigen Pararendzinen und teilweise tonige schwere Kalkbraunerden. Das Hauptuntersuchungsgebiet liegt am sonnigen, steilen (40°) Südosthang unterhalb der Kirche St. Leopold auf einer großen Wiese. Hier dominiert *Orlaya grandiflora* die Trockenrasengesellschaft mit *Verbascum speciosum*, *Astragalus onobrychis*, *Achillea collina*, *Inula oculus-christi*, *Salvia nemorosa*, *Poa angustifolia*, *Festuca rupicola* und wird durch *Quercus pubescens* hin zum Waldgebiet abgegrenzt.

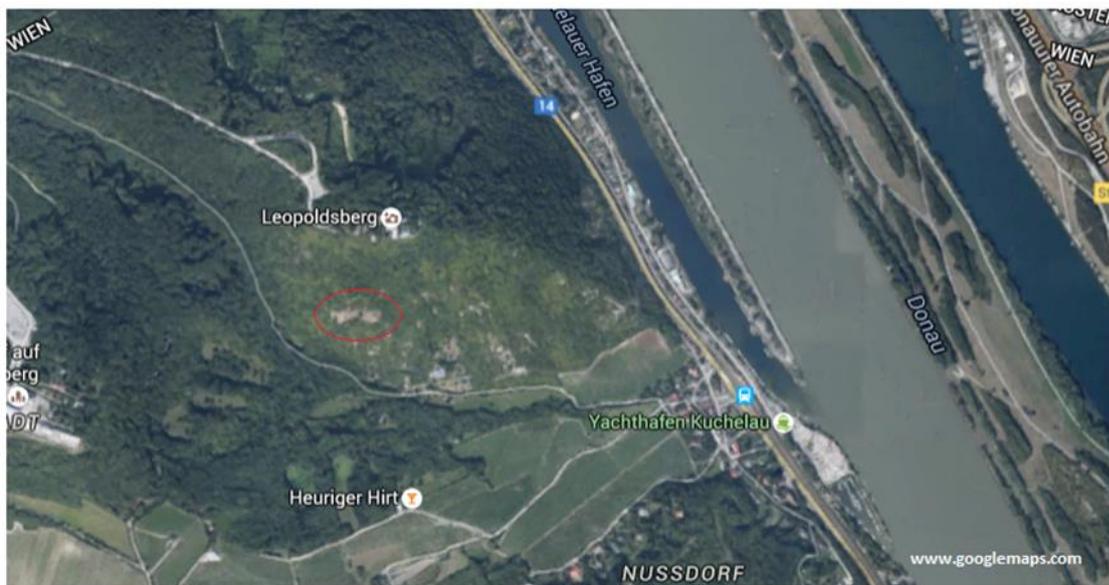


Abbildung 4: Leopoldsberg mit Untersuchungsgebiet (Quelle: www.googlemaps.com verändert)

Am Leopoldsberg wurden vier verschiedene Standorte betrachtet. Die große Wiese (Standort 1: **LB1**) als Hotspot mit *Orlaya grandiflora* als dominierende Art, eine Schutthalde (Standort 2: **LB2**) oberhalb der Wiese als Ruderalfläche, ein Trockenrasen am Rande eines Wanderweges (Standort 3: **LB3**) mit anthropogenen Störungen und eine kleine Fläche inmitten des Waldgebietes (Standort 4: **LB4**) als Standort mit Verbuschungspotential (Standorte siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Untersuchungsgebiet am Leopoldsberg mit Standorten LB1- LB4 (Quelle: www.googlemaps.com verändert)

3.2 Der Bisamberg

Der Bisamberg liegt an der Grenze zum Stadtgebiet Wiens am Rande der Gemeinde Langenzersdorf. Das Untersuchungsgebiet liegt von Langenzersdorf ausgehend im unteren Viertel des Jungfernteiges, einem schmalen Hohlweg in südwestlicher Exposition in einer Saumgesellschaft von Flaumeichenvorkommen mit Lössböden. Hier zeigt *Orlaya grandiflora* eine geringe Anzahl an Individuen und ist mit *Lamium maculatum* und *Geranium sanguineum* vergesellschaftet.

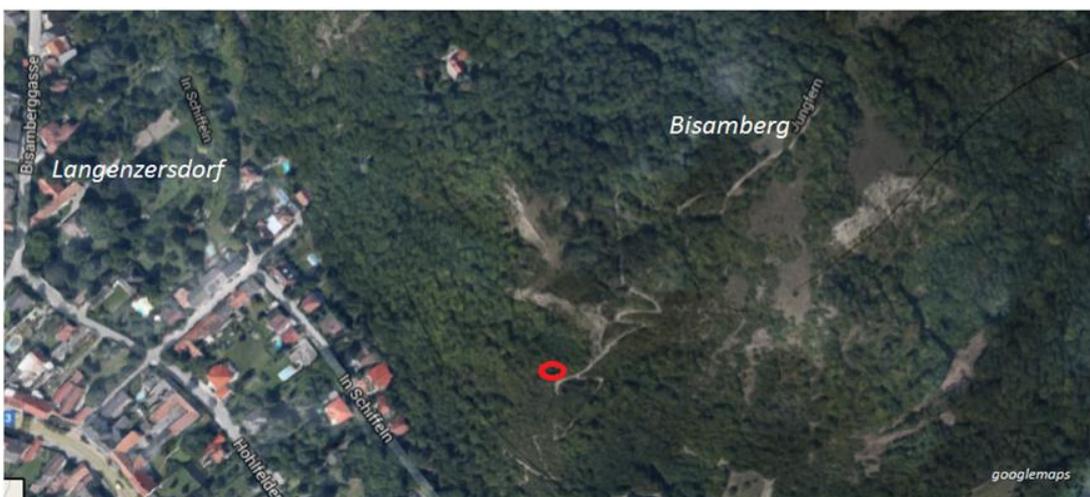


Abbildung 6: Untersuchungsgebiet am Bisamberg (Quelle: www.googlemaps.com, verändert)

4. Methoden

4.1 Beobachtung von Blütenbesuchern

Am Leopoldsberg werden einzelne Individuen von *Orlaya grandiflora* im Zeitraum vom 1. Juni 2015 bis zum 1. Juli 2015 einer Dauerbeobachtung mit Kamertechnik ausgesetzt, um Blütenbesucher und potentielle Bestäuber zu ermitteln. Die Beobachtung dreier Individuen (EB1, EB2 und EB3) erfolgt von der Öffnung der Blütenknospe bis hin zur Bildung einer Frucht über einen Zeitraum von sieben Tagen. Alle anderen 15 Individuen werden über einen Tag hinweg am Leopoldsberg an den Standorten LB1- LB4 und am Bisamberg beobachtet.

Die Standorte am Leopoldsberg wurden aufgrund ihres Vorkommens von *Orlaya grandiflora* und hinsichtlich ihrer Beschaffenheit gewählt. Einzelne Individuen innerhalb des Standortes wurden je nach Pflanzendichte gewählt. Die große Wiese (LB1) besitzt Hotspots von *Orlaya grandiflora*. In der Mitte eines Hotspots ist die Dichte der Individuen am höchsten mit 50-100 Individuen pro Quadratmeter, nach außen hin nimmt die Dichte ab mit 25-50 Individuen pro Quadratmeter für die erste Außenzone bis hin zur zweiten Außenzone von 0-25 Individuen pro Quadratmeter. Pro Hotspot wurde ein Individuum in der Mitte, der ersten und oder der zweiten Außenzone gewählt, um Unterschiede in der Besucherfrequenz zu ermitteln (siehe Tabelle 1 und Abbildung 7).

Tabelle 1: Lokalisation der gewählten Individuen von *Orlaya grandiflora* in Abhängigkeit zur Vegetationsdichte (Erläuterungen siehe Text)

Lfd. Nummer	Hotspot	Mittelzone	Außenzone 1	Außenzone2
EB1	1		x	
EB2	1	x		
EB3	1			x
EB4	2		x	
EB5	2			x
EB7	2	x		
EB4R	3	x		
EB5R	3		x	
EB6R	4		x	
EB7R	4			x

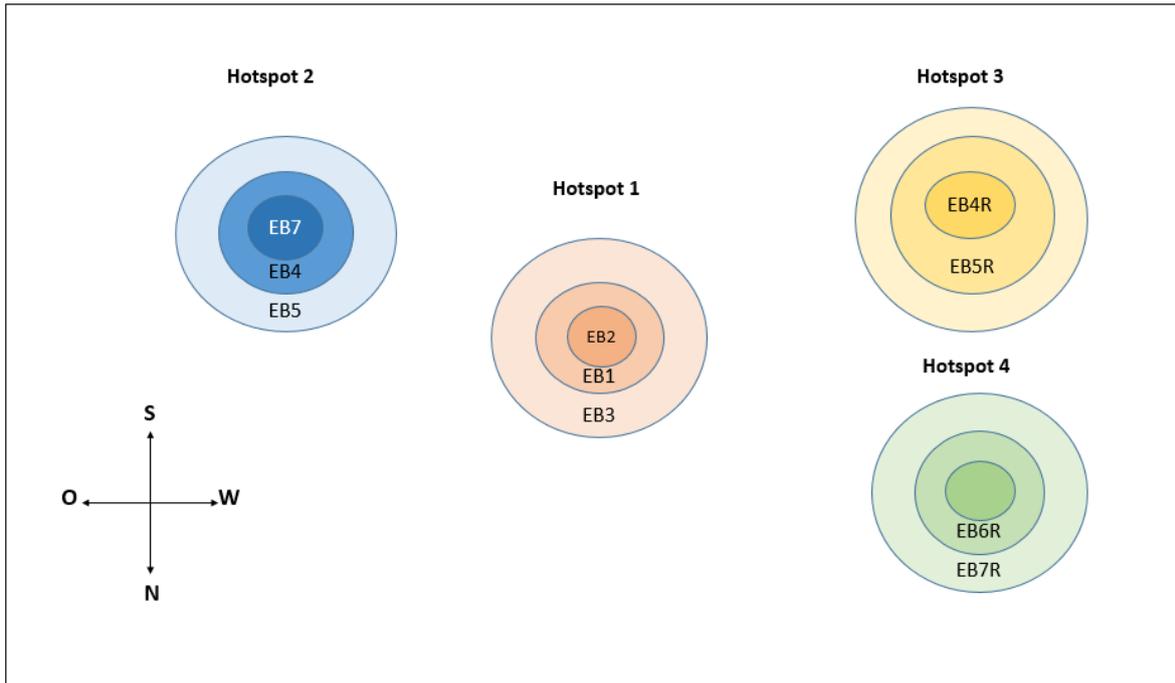


Abbildung 7: große Wiese am Leopoldsberg (LB1) mit vier Hotspots der *Orlaya grandiflora* und dort gewählte Individuen. Der innere Kreis (Mittelzone) symbolisiert die Höchste Dichte von *Orlaya grandiflora* mit 50-100 Individuen/qm, der zweite Kreis (Außenzone 1) symbolisiert eine Dichte von 25-50 Individuen/qm, der äußerste Kreis (Außenzone 2) eine Dichte von 0-25 Individuen/qm.

Die Endknospe eines Individuums wird mit einem Oganzasäckchen von der Umwelt isoliert, um den Blütenbesuch eines Insektes zu vermeiden. Sobald sich die Kronblätter entfalten, wird das Säckchen entfernt und die Blüte mit einer Kamera (Panasonic DMC-G6) auf einem Stativ montiert, in Zeitrafferaufnahmen über den Tagesverlauf hinweg beobachtet. Am ersten Tag (01.06.2015) wird das Zeitintervall auf drei Sekunden (20 Bilder/ Minute) gesetzt, ab dem zweiten Tag auf eine Sekunde (60 Bilder/ Minute). Die Kamera wird in einem Abstand von 30 cm zur Blüte an einer Stativstange befestigt, wobei die Blüte der natürlichen Windbewegung ausgesetzt bleibt. Pro Aufnahmetag werden drei unterschiedliche Blüten beobachtet.

4.2 Auswertung der Fotodaten

Zur Auswertung werden folgende Daten erhoben:

Tabelle 2: Datensammlung Kamerabeobachtung am Leopoldsberg und Bisamberg

Ort	Leopoldsberg, Bisamberg
Datum	01.06.2015 – 01.07.2015
Uhrzeit	08.30 Uhr – 16.30 Uhr

Anzahl der aufgenommenen Bilder	0-n (total)
Anzahl der Bilder mit Blütenbesuch	0-n (total, relativ)
Blütenbesucher	Bestimmung der Ordnung, Gattung, Art anhand der Aufnahme
Anzahl besetzter Aufnahmen	0-n (total, relativ)
Blühphase	vorandrözisch, andrözisch, andrözisch/gynözisch, gynözisch, gynözisch/befruchtet, befruchtet
durchschnittliche Tagestemperatur	Wetterdaten der Stadt Wien
gebildete Früchte	Ja (Anzahl total) / Nein

Für jedes aufgenommene Individuum werden die Daten (siehe Tabelle 2) gesammelt und ausgewertet. Insbesondere werden Standortunterschiede zwischen Leopoldsberg und Bisamberg hinsichtlich des Blütenbesucherspektrums erwartet. Innerhalb des Leopoldsberges werden die Daten der Standorte verglichen und in ihrer Gesamtheit den Daten des Bisamberges gegenübergestellt. Der Tagesverlauf mit Blütenbesuchern wird in Fünfzehnminutentaktung graphisch dargestellt, um das Aktivitätsmaximum der Besucher zu ermitteln. Hieraus werden gut abgrenzbare Tagesbesucherphasen festgelegt. Die Gesamtanzahl aller Bilder eines beobachteten Individuums wird ermittelt, die Anzahl der Bilder mit Blütenbesucher und die Anzahl der Bilder ohne Blütenbesucher. Da (ausgenommen am 1.6.2015) jede Sekunde ein Bild gemacht wird, kann die Anzahl der jeweiligen Bilder mit Dauer der Beobachtung in Sekunden gleichgesetzt werden. Die Blühphase (siehe Tabelle 2) wird in Abhängigkeit zur Anzahl von Blütenbesuchern gesetzt, um eine Präferenz des Besuchers hinsichtlich des Nektar- und Pollenangebotes zu ermitteln. Nach einer erfolgreichen Reproduktion, werden die Früchte geerntet und einem Keimtest unterzogen, der den Erfolg der Reproduktion repräsentiert..

4.3 Auswertung der Blütenbesucher

Bei geöffneter Blüte wird den meisten Besuchern eine bestäubende Funktion zugeschrieben. Ausnahmen sind kleine Insekten wie Ameisen oder größere Insekten wie Hummeln. Die Insekten werden mindestens zur Ordnung Diptera, Coleoptera, Hymenoptera und Lepidoptera, nach Möglichkeit aber bis zur Gattung und zur Art bestimmt. Die Auswertung (siehe Tabelle 1) enthält eine Bestandsaufnahme aller Blütenbesucher mit Ordnungszugehörigkeit, Dauer des Aufenthaltes auf der Blüte und Bestäubungserfolg. Die

Tageszeit mit der höchsten Besucherfrequenz wird ermittelt. Zudem wird die Besucherfrequenz in Abhängigkeit zur Blühphase betrachtet. Der Bestäubungserfolg wird durch die Anzahl der gebildeten Früchte und deren Keimfähigkeit ermittelt. Ist somit ein Blütenbesucher bekannt, eine vorherige Bestäubung ausgeschlossen, da die Blüte von ihrer Umwelt separiert wurde und es wurde eine keimungsfähige Frucht gebildet, kann eine Aussage zum Bestäuber getroffen werden.

Die gebildeten Früchte werden einem Keimtest unterzogen. Hierzu werden herbstliche Bedingungen gewählt: 12 Tagesstunden bei Licht und 15°C, 12 Nachtstunden Dunkelheit und 5°C. Die Diasporen werden in Petrischalen feucht gehalten und täglich auf eine Keimung kontrolliert. Hier gilt als Keimerfolg, wenn die Primärwurzel durch die Testa bricht. Bei einem Keimungserfolg ist von einer fremdbestäubten Reproduktion und dem Erfolg des zugehörigen Bestäubers auszugehen.

4.4 Andere Reproduktionsstrategien

4.4.1 Autogamie

Zur Ermittlung von Autogamie, der Selbstbestäubung, werden nahe den beobachteten Individuen 20 einzelne Doldenknospen mit Oganzasäckchen verpackt, um einen Blütenbesuch bzw. eine Bestäubung durch Insekten zu verhindern. Hier wird erwartet, dass nach erfolgloser Insektenbestäubung der eigene Pollen auf die Narbe fällt und es zur Selbstbefruchtung kommt.

Gebildete Früchte werden ebenfalls einem Keimtest (Bedingungen s.o.) unterzogen. Bei Keimungsfähigkeit der Frucht, ist von einer autogamen Reproduktion auszugehen.

4.4.2 Apomixis

Im Gewächshaus werden Individuen von *Orlaya grandiflora* kultiviert. Endknospen werden durch Oganzasäckchen von ihrer Umwelt isoliert. Nach der Entfernung der Antheren unter dem Binokular, wird ein Pollenkonglomerat eines anderen Individuums für kurze Zeit auf die reife Narbe gelegt. Hier soll getestet werden, ob ein kurzer Reiz ausreicht, um eine Selbstbefruchtung auszulösen. Wenn es zur Fruchtbildung kommt, wird diese einem Keimtest (Bedingungen s.o.) unterzogen. Ist die Frucht keimungsfähig, kann von einer apomiktischen Reproduktionsstrategie ausgegangen werden.

4.5 Handbestäubung

Individuen die aus Keimlingen des letzten Jahres hervorgegangen sind, werden im Gewächshaus kultiviert. Hinzu kommen Individuen des Botanischen Gartens, die vollständig der Erde entnommen und in Töpfe gesetzt werden. Die Enddolden werden von ihrer Umwelt durch Oganzasäckchen isoliert. Sobald die andrözische Blühphase einsetzt, werden die Antheren vollständig unter dem Binokkular mit einer Pinzette entfernt. Sobald der Griffel ausgewachsen ist, wird er mit eigenem und Pollen eines anderen Individuums bestäubt. Die Handbestäubung soll die maximale Reproduktionsrate einer Blüte simulieren. Die gebildeten Früchte werden einem Keimtest (Bedingungen s.o.) unterzogen. Ist die Frucht keimungsfähig, ist von einem Reproduktionserfolg auszugehen. In allen Telexperimenten, wird davon ausgegangen, dass *Orlaya grandiflora* herbstkeimend ist.

4.6 Pflanzen- und Blütenmorphologie nach Bildung der ersten Frucht

Im Botanischen Garten der Universität für Bodenkultur (Gregor-Mendel Straße 33, 1180 A-Wien) wird ein Transekt gelegt, um einen Überblick über die Morphologie der Blüte nach der ersten Reproduktionsphase Anfang Juli zu erhalten.

100 Individuen werden aufgenommen, die nach der Transektmethode ausgewählt werden. Hierzu wird ein Maßband von 25 m ausgelegt. Alle 10 cm wird das Individuum gewählt, dass der Zentimetermarkierung am nächsten steht. Folgende Parameter werden ermittelt:

Tabelle 3: Parameter Pflanzenmorphologie Botanischer Garten

Parameter	angegeben in:
Wuchshöhe der Apikaldolde	cm
Abbruch der Apikaldolde	Ja/nein
Höhe aller folgenden Dolden	cm
Reduzierter Blütenstand	Ja/nein

Für jede Pflanze wird die Wuchshöhe, durch die Apikalolde repräsentiert, ermittelt. Wenn diese abgebrochen ist, wird die höchste Dolde als Wuchshöhe ermittelt. Hinzu kommt die

Höhe aller folgenden Dolden und der Zustand der Dolde, ist diese geöffnet oder geschlossen, handelt es sich um eine voll entwickelte oder eine reduzierte Dolde.

4.7 Statistische Auswertung

Mit dem Statistikprogramm Primer6© wird eine S17 Bray Curtis dissimilarity ermittelt (Bray & Curtis, 1957), eine Distanzanalyse zwischen allen nicht-metrischen Werten, ein Non-metric Multi-Dimensional Scaling (MDS). Zwei „fit-schemes“ nach Kruskal können gewählt werden. Die Kruskal Stressformel zeigt in zwei oder drei Dimensionen das Maß eines Kompromisses an, mit 0,01 als Minimum und 2 als Maximum. Die Analysis of Similarities ist eine One-Way Analysis, die R-Werte und Signifikanzniveaus ermittelt.

Die Daten der Frequenz der Blütenbesucher pro Tag und pro Individuen werden in einer Tabelle gesammelt und mit Primer6© geordnet. Zudem werden Daten von EB1, EB2, EB3 und EB4, die an mehreren Tagen aufgenommen wurden, zu je einem Datensatz zusammengefasst. Die Individuen bilden das Sampling, der Blütenbesucher die Variable und die Standorte LB1-LB4 (Leopoldsberg) und B1 (Bisamberg) den Faktor. Die Bray-Curtis-similarity-Analyse wird durchgeführt mit dem Ergebnis einer Similarity-Tabelle, die anschließend im Multi-Dimensional Scaling zu einem Graphen verarbeitet wird. Der Graph beinhaltet das Maß des Stresses. Die Analysis of Similarities wird im Anschluss durchgeführt.

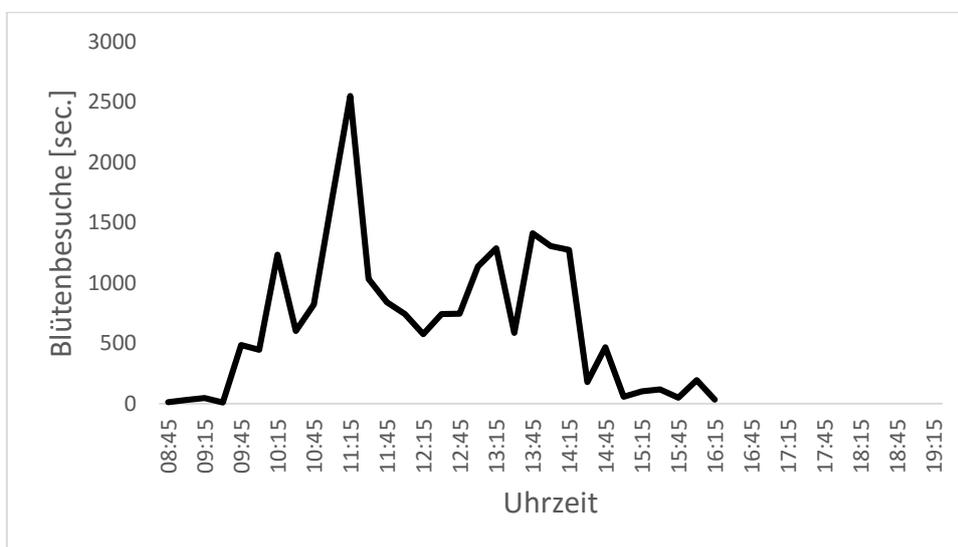
5. Ergebnisse

Im Zeitraum vom 01.06.2015 bis 01.07.2015 wurden von *Orlaya grandiflora* 15 Infloreszenzen und 500 Blütenbesuche mit Hilfe von Kamertechnik am Leopoldsberg fotografiert. Am Bisamberg, am Rande der Stadt Wien wurden am 18.06.2015 3 Infloreszenzen mit 87 Blütenbesuchern von *Orlaya grandiflora* fotografiert. Fünf von den insgesamt 18 beobachteten Individuen trugen Früchte und vier von 38 isolierten Blüten trugen autogam produzierte Früchte. Drei Ordnungen der Insekten konnten an allen Standorten beobachtet werden: Coleoptera, Diptera und Hymenoptera.

5.1 Blütenbesuche Leopoldsberg

5.2.1 Tagesverlauf

Die Gesamtheit aller Aufenthalte von Blütenbesuchern auf EB1, EB2 und EB3 wurden zeitlich betrachtet. In den Morgenstunden wurden keine Blütenbesucher beobachtet. Sie traten vermehrt mit zunehmender Temperatur auf, bis sich am Vormittag zwischen 11 und 13 Uhr ein Maximum einstellte.



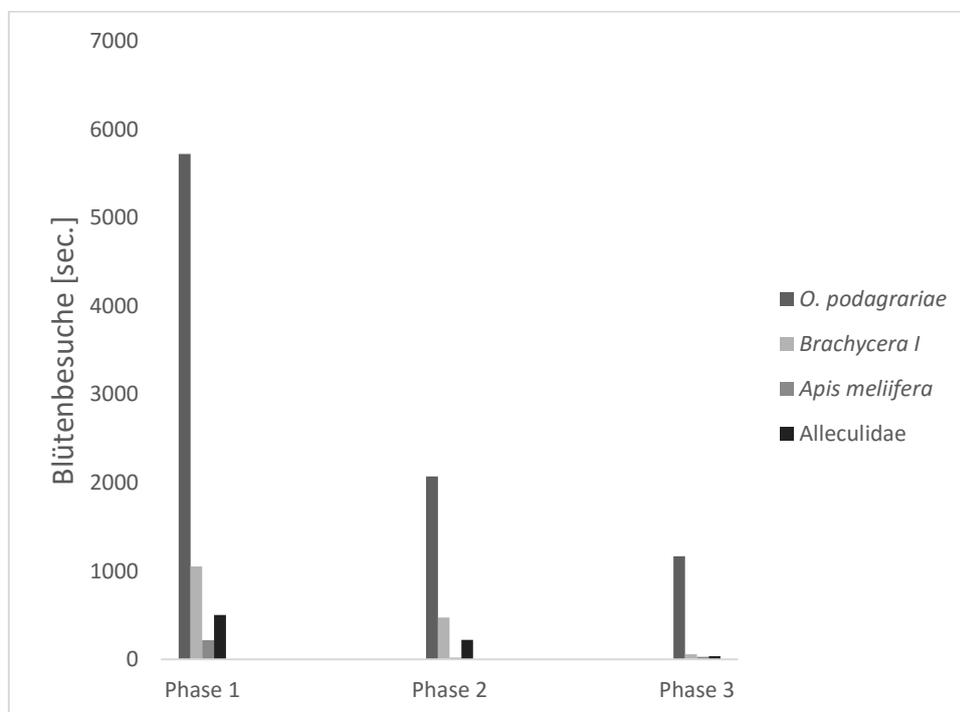
Graph 1: zeitlicher Aufenthalt aller Blütenbesucher auf den Individuen EB1, EB2 und EB3 am Leopoldsberg vom 1.6.2016 bis 3.6.2015

Einem Mittagstief folgte ein Maximalwert von 920 Sekunden Aufenthaltsdauer. Um 14.45 Uhr wurde ein Minimalwert an Aufenthaltsdauer gemessen, der zu den Nachmittagsstunden

wieder deutlich auf einen Wert von 500 Sekunden Aufenthaltsdauer anstieg. Ein letzter Maximalwert wurde um 16 Uhr mit 195 Sekunden Aufenthaltsdauer gemessen.

5.2.2 Tagesphasen mit Blütenbesuchern am Leopoldsberg

Aus dem Graphen (siehe Graph 3) resultierend wurden Tagesphasen der Blütenbesucher definiert: Phase 0: zwischen 17:00 Uhr und 09:00 Uhr, Phase 1: zwischen 09:00 Uhr und 11:00 Uhr mit 8168 Sekunden Aufenthaltszeit aller Blütenbesucher, Phase 2 zwischen 11.00 Uhr und 12:30 Uhr mit einer Aufenthaltszeit von 3236 Sekunden und Phase 3 zwischen 12:30 Uhr und 17:00 Uhr mit einer Aufenthaltszeit von 1570 Sekunden aller Blütenbesucher. Die Blütenbesucher zeigen je nach Taxon Präferenzen in der Tagesphase:



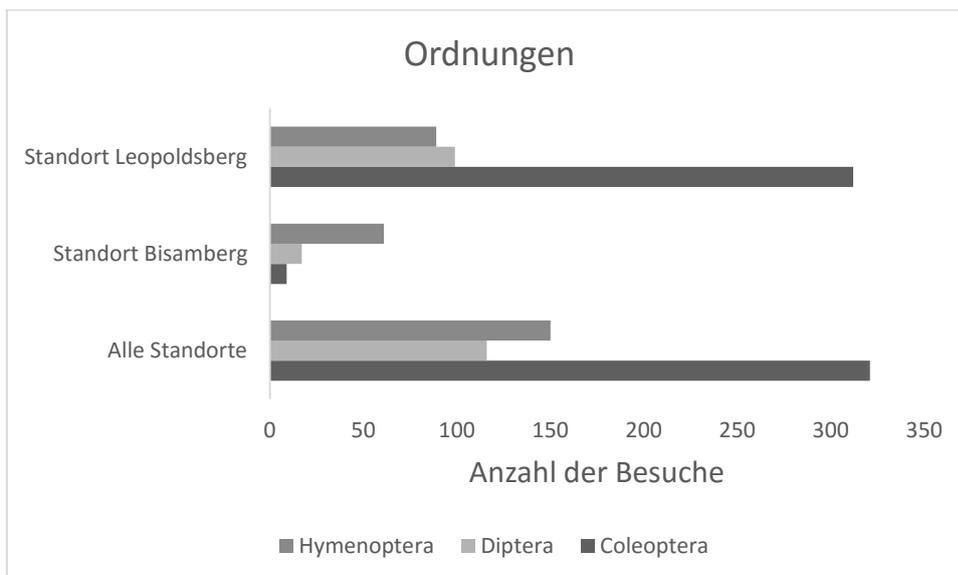
Graph 3: Tagesphasen mit Blütenbesuchen der häufigsten Taxa am Leopoldsberg (Beschreibung siehe Text).

Oedemera podagrariae (Oedemeridae) aus der Ordnung der Coleoptera besucht die Blüten vermehrt in der ersten Tagesphase mit 5722 Sekunden Aufenthaltszeit, in Phase 2 wurde eine Aufenthaltszeit von 2069 Sekunden gemessen und in Phase 3 1167 Sekunden. Eine Art der Brachycera (*Brachycera I*: Unterordnung der Diptera) wurde nur in Phase 1 und 2 nachgewiesen, in den Nachmittagsstunden besucht sie die Blüte nicht, der Maximalwert in Phase 1 von 1050 Sekunden Aufenthaltszeit reduzierte sich in Phase 2 auf 220 Sekunden Aufenthaltszeit. Die Honigbiene *Apis mellifera* besuchte die Blüte vermehrt in Phase 1 mit 216 Sekunden, in Phase 2 mit 18 Sekunden und in Phase 3 mit 29 Sekunden. Eine Art aus der

Familie der Alleculidae (Ordnung Coleoptera) wurde in Phase 1 und Phase 2 stetig mit einer Aufenthaltszeit von 502 und 474 Sekunden beobachtet, in Phase 3 ist sie nicht anzutreffen.

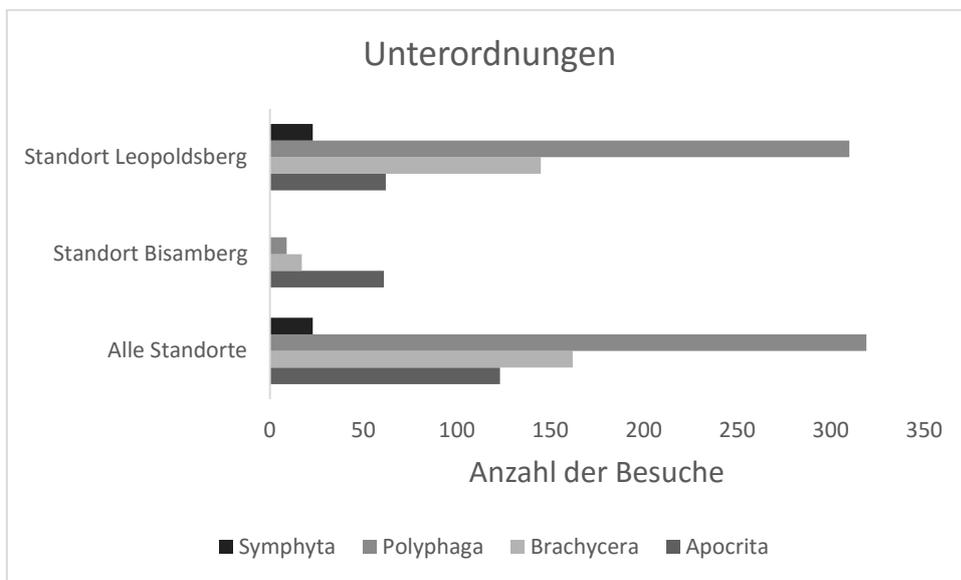
5.2 Taxonomische Einteilung der Blütenbesucher am Leopoldsberg und Bisamberg

Auf beiden Großstandorten Leopoldsberg und Bisamberg, wurden drei Insektenordnungen beobachtet: Coleoptera, Diptera und Hymenoptera (siehe Graph 4). Am Leopoldsberg wurden 500 Besuche beobachtet, am Bisamberg 87 Besuche. Am Leopoldsberg konnte die Ordnung der Coleoptera mit 312 Besuchen beobachtet werden und zeigt innerhalb der Ordnungen die höchste Besuchsrate. Am Bisamberg stellen die Coleoptera die kleinste Fraktion mit neun Blütenbesuchen, hier dominieren die Hymenoptera mit 61 Besuchen, gefolgt von den Diptera mit 17 Besuchen. Die Diptera stellen am Leopoldsberg die zweitgrößte Fraktion an Blütenbesuchern mit 99 Besuchen, dicht gefolgt von den Hymenoptera mit 89 Besuchen. In der Zusammenfassung beider Standorte dominieren die Coleoptera mit 321 Besuchen, gefolgt von den Hymenoptera mit 150 Besuchen und den Diptera mit 116 Besuchen.



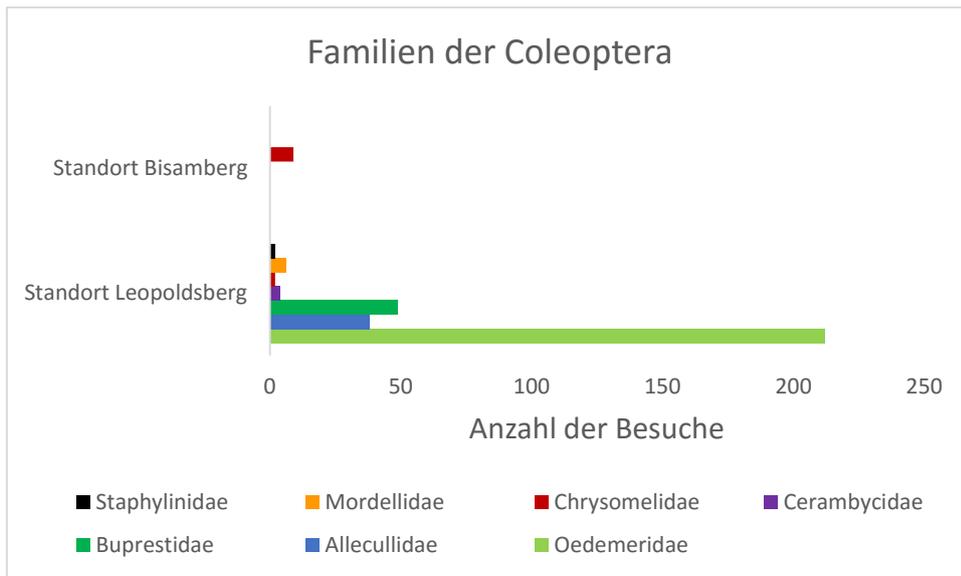
Graph 4: Anzahl totaler Besuche mit Ordnungszugehörigkeit der Insekten an den Standorten Leopoldsberg, Bisamberg und alle Standorte in ihrer Gesamtheit.

Die drei Insektenordnungen Coleoptera, Diptera und Hymenoptera können in vier Unterordnungen differenziert werden (siehe Graph 5): Symphyta und Apocrita, den Hymenoptera zugehörig, wobei die Symphyta nur am Leopoldsberg beobachtet wurden, Polyphaga, den Coleoptera zugehörig und die Brachycera, den Diptera zugehörig.



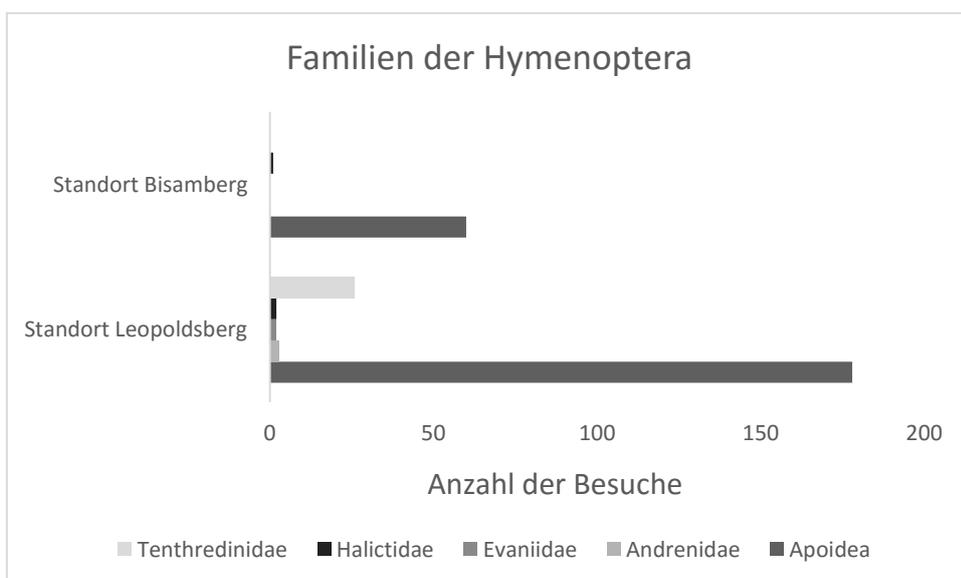
Graph 5: Anzahl totaler Besuche mit Unterordnungszugehörigkeit der Insekten an den Standorten Leopoldsberg, Bisamberg und alle Standorte in ihrer Gesamtheit.

Innerhalb der Ordnung Coleoptera und der Unterordnung Polyphaga konnten sieben Familienzugehörigkeiten identifiziert werden (siehe Graph 6): die Familie der Oedemeridae mit einem Blütenbesucher *Oedemeridae podagrariae* von 212 Ereignissen, die Familie Alleculidae mit 38 Blütenbesuchen und zwei Vertretern, Mordellidae mit sechs Blütenbesuchen und einem Vertreter, Staphylindae mit zwei Blütenbesuchen eines Vertreters, Buprestidae mit 49 Blütenbesuchen zweier Vertreter und Cerambycidae mit vier Blütenbesuchen eines Vertreters wurden nur am Leopoldsberg beobachtet. Die Familie der Chrysomelidae konnte an beiden Standorten beobachtet werden, wobei am Bisamberg neun Besuche und am Leopoldsberg zwei Besuche eines Vertreters beobachtet wurden.



Graph 6: Familienzugehörigkeiten innerhalb der Coleoptera am Leopoldsberg und Bisamberg, wobei am Bisamberg nur die Familie der Chrysomelidae vertreten ist.

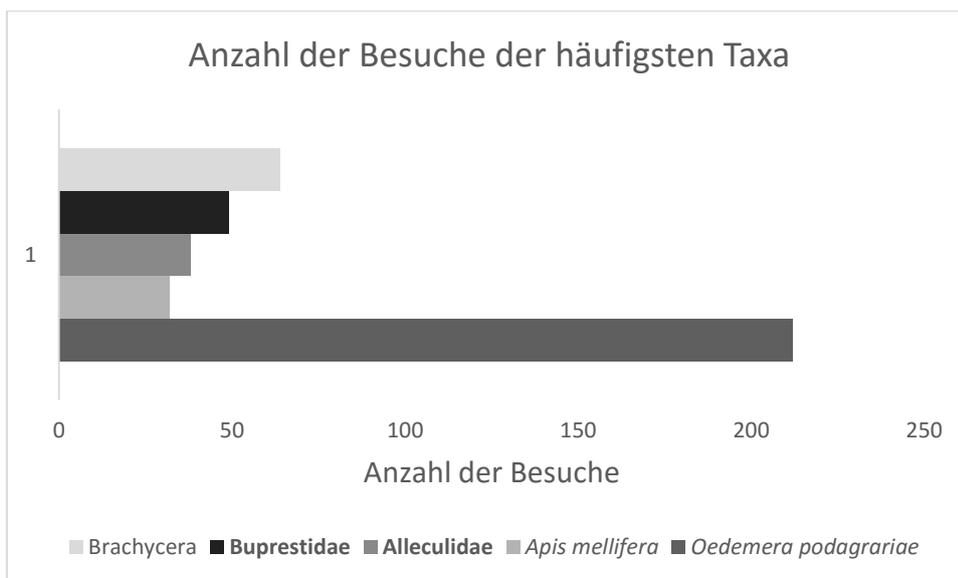
Innerhalb der Ordnung Hymenoptera, konnten fünf Familien als Blütenbesuchern identifiziert werden (siehe Graph 7): am Bisamberg wurde eine Art der Familien Halictidae und 60 Blütenbesuche der Familie Apoidea beobachtet. Beide Familien sind auch am Leopoldsberg vertreten. Die Apoidea mit 178 Blütenbesuchen und die Halictidae mit zwei Besuchen. Am Leopoldsberg traten zusätzlich die Familien Andrenidae mit drei Besuchen, Evaniidae mit zwei Besuchen und die Tenthredinidae mit 26 Besuchen auf.



Graph 7: Anzahl der Blütenbesuche der Familien der Hymenoptera am Leopoldsberg und Bisamberg.

5.3 Blütenbesuche am Standort Leopoldsberg

Auf dem Standort Leopoldsberg wurden 500 Insektenbesuche beobachtet mit einer Gesamtaufenthaltszeit von 18180 Sekunden. Fünf häufig auftretende Taxa besitzen einen Gesamtanteil aller Besuche von 77,60 % und einen Anteil der Gesamtaufenthaltsdauer von 86,94 %. Die Art *Oedmera podagrariae* wurde mit einem Auftreten von 212 Besuchen (siehe Graph 8) und einer Besuchszeit von 8958 Sekunden (siehe Tabelle 4) beobachtet. Die absoluten Besuche von *Oedemera podagrariae* besitzen einen Anteil von 41,65 %, zeitlich besitzt der Käfer einen Anteil von 49,27 %. Der Käfer besetzte die Blüte mit dem Zweck der Futtersuche von Pollen und Nektar. Zusätzlich konnte der Käfer bei der Paarung beobachtet werden. Eine Art der Brachycera wurde mit insgesamt 64 Besuchen und einer Besuchszeit von 1562 Sekunden beobachtet. Der Anteil der absoluten Besuche beträgt 12,57 %, der zeitliche Anteil 8,59 %.



Graph 8: Taxonomische Einheiten der Blütenbesucher am Leopoldsberg: Unterordnung = Brachycera, Familie= **Buprestidae**, **Alleculidae**, Art: *Apis mellifera*, *Oedemera podagrariae*

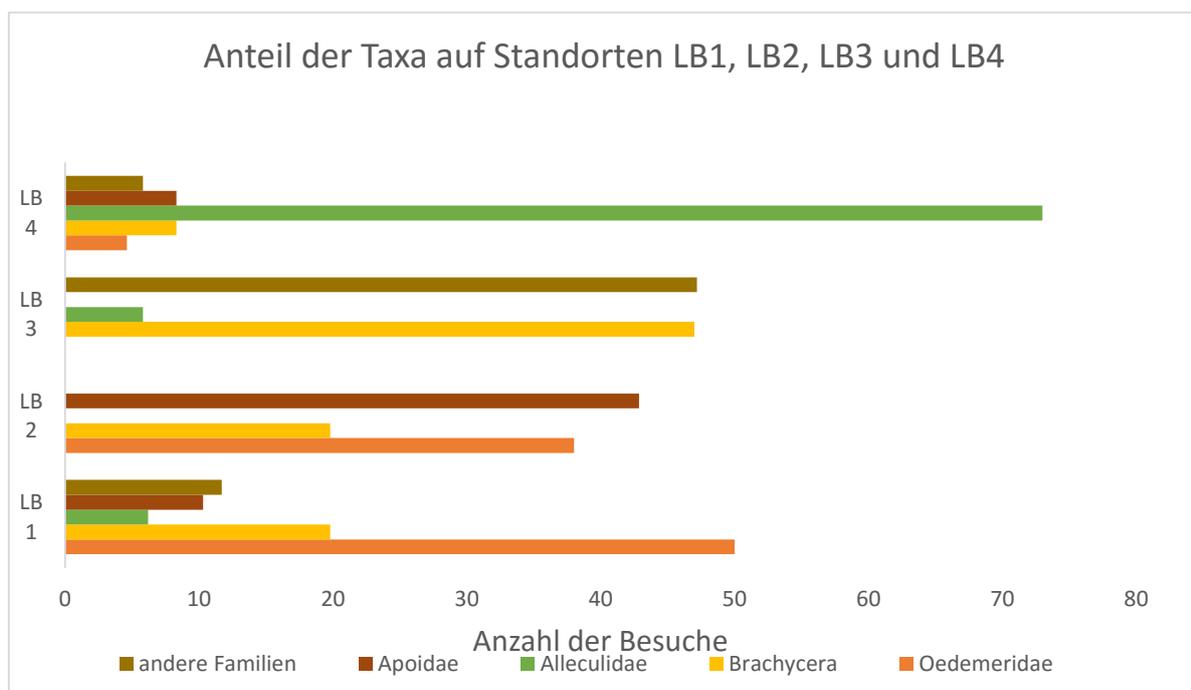
Tabelle 4: Die fünf häufigsten Taxa von Blütenbesuchern auf *Orlaya grandiflora* am Leopoldsberg

	Anzahl Besuche	Besuche [%]	Besuche [sec.]	Besuchszeit [%]
<i>Oedemera podagrariae</i>	212	41,65	8958	49,27
<i>Apis mellifera</i>	32	6,28	187	1,03
Alleculidae	38	7,47	928	5,11
Buprestidae	49	9,63	4171	22,94
Brachycera	64	12,57	1562	8,59
Gesamtbesuche	509	77,60	18180	86,94

Apis mellifera wurde 32 Mal beobachtet mit einer Gesamtaufenthaltsdauer von 187 Sekunden. Der Besucheranteil beträgt 6,28 %, der Anteil der Besuchszeit 1,03 %. Eine Art der Alleculidae besuchte die Blüten 38 Mal mit einem Besuchsanteil von 7,47%. Die Gesamtbesuchszeit betrug 928 Sekunden, mit einem Anteil der Besuchszeit von 5,11 %. Eine Art der Buprestidae wurde 49 Mal mit 4171 Sekunden auf der Blüte beobachtet. Der Besuchsanteil beträgt 9,63 %, der Anteil der Besuchszeit 22,94 %.

5.3.1 Unterstandorte am Leopoldsberg

Die vier Unterstandorte am Leopoldsberg variieren hinsichtlich ihres Besucherspektrums. Standort LB1 (Trockenrasen) weist ein Spektrum innerhalb der Oedemeridae, Alleculidae, Apoidea, Brachycera und einem Anteil von 11,7 % anderer Familien auf. Die Oedemeridae, repräsentiert durch *Oedemera podagrariae* besitzen einen Besuchsanteil von 50%. Am Standort LB2 (Trockenrasen) besitzen die Oedemeridae einen Anteil von 38 %. Am Standort LB3 (Geröllhalde) ist die Familie nicht vertreten, am Standort LB4 mit einem Anteil von 4,6%. Somit liegt das Hauptgebiet der *Oedemera* auf Standort LB1 und LB2. Die Brachycera besitzen auf LB1 und LB2 einen Anteil von 19,8 %, auf LB3 einen Anteil von 47 % und auf LB4 einen Anteil von 8,3 %. Die Alleculidae zeigen ihr stärkstes Auftreten auf L4 mit 73 % Besuchsanteil. Auf LB1 sind sie mit 6,2 % vertreten, auf LB3 mit 5,8% und auf LB3 wurden keine Besuche von Alleculidae beobachtet.



Graph 9: Anzahl Besuche von Taxa auf den Standorten am Leopoldsberg.

Tabelle 5: Prozentuale Anteile der besuchenden Taxa am Leopoldsberg.

	Oedemeridae (%)	Brachycera (%)	Alleculidae (%)	Apoidae (%)	andere Taxa (%)
LB1	50	19.8	6.2	10.3	11.7
LB2	38	19.8	0.0	42.86	0.0
LB3	0.0	47	5.8	0.0	47.2
LB4	4.6	8.3	73	8.3	5.8

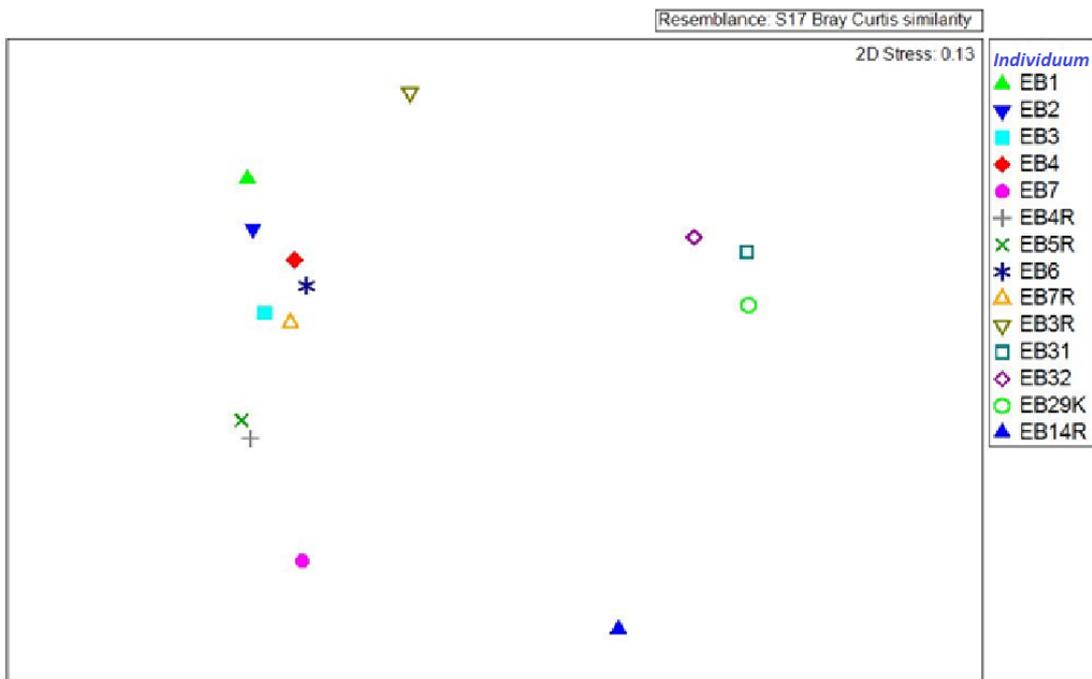
Die Apoidae wurden mit einem Anteil von 42,86 % als stärkste Gruppe am Standort L2 beobachtet, auf Standort L3 traten sie nicht auf, auf L1 mit einem Anteil von 10,3 % und auf L4 mit einem Anteil von 8,3 %. Auf Standort L1 sind alle in Tabelle XX aufgeführten Taxa vertreten, hinzukommen noch andere Taxa mit einem Anteil von 11,7 %. Standort L2 wurde nicht von Alleculidae besucht, hier waren Oedemeridae und Apoidae am häufigsten vertreten, andere Taxa wurden nicht beobachtet. Auf L3 blieb die Familie der Oedermidae aus, die Brachycera und andere Taxa zeigen hier das häufigste Auftreten. Auf L4 wurden die Alleculidae mit einem Anteil von 73 am häufigsten beobachtet, alle anderen Taxa wurden mit einem einstelligen Anteil beobachtet.

Die Variation der Zusammensetzung der verschiedenen Blütenbesucher wurde statistisch untersucht und es können Unterschiede in den Unterstandorten am Leopoldsberg festgestellt werden. Der Standort am Bisamberg wird hier im letzten Graphen berücksichtigt.

5.4 Statistische Untersuchungen der Standorte in Bezug auf die Variation der Blütenbesucher

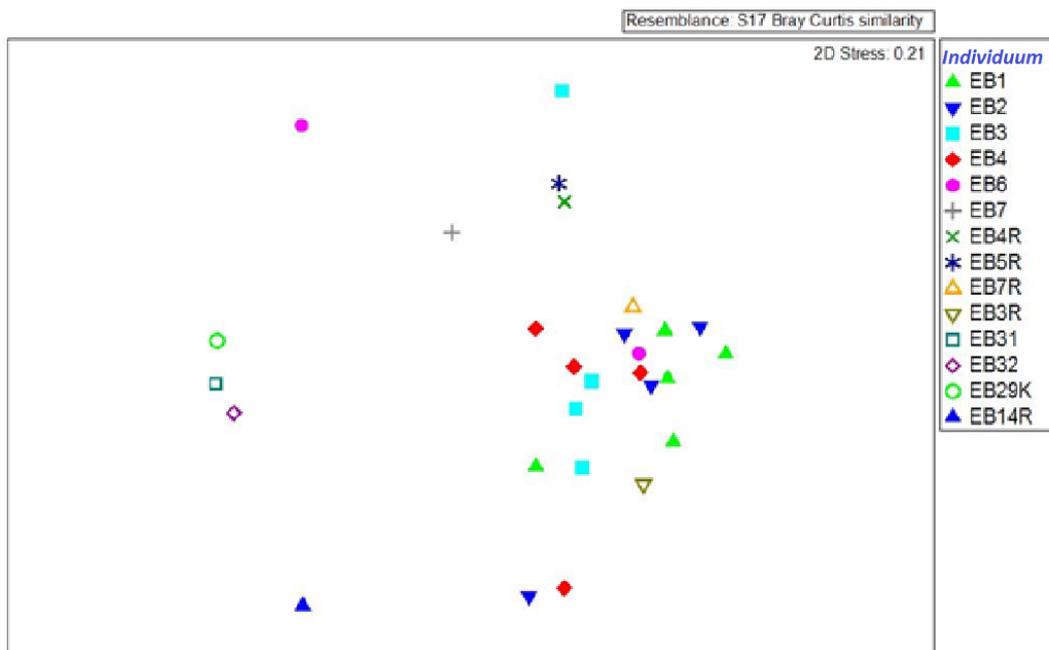
Die Bray-Curtis-Similarity-Analyse zeigt mit einem Stressmaß von 0,13 die Distanz der verschiedenen Individuen hinsichtlich ihrer Blütenbesucher an, wobei die Standorte am Leopoldsberg differenziert werden können. Die Individuen EB1, EB2, EB3 und EB4 sind in ihrer Gesamtheit von Blütenbesuchern betrachtet, der Mittelwert aller Beobachtungstage wurde in die statistische Auswertung aufgenommen. Graph 10 zeigt, dass EB1, EB2, EB3, EB4, EB7R und EB6 clustern und damit eine große Übereinstimmung in ihrem Besucherspektrum besteht. EB31, EB32 und EB29K werden als separate Gruppe betrachtet,

genau wie EB4R und EB5R. EB3R, EB7 und EB14R bilden Außengruppen.



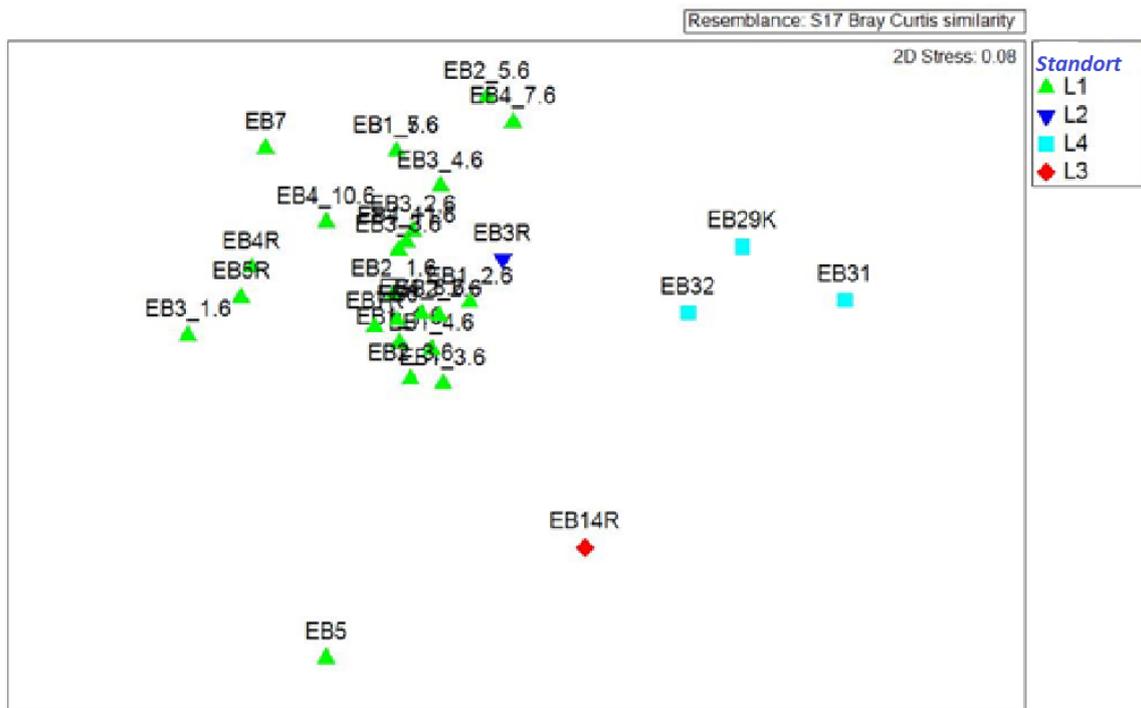
Graph 10: Bray-Curtis-dissimilarity: Blütenbesucher-Clustering der Standorte am Leopoldsborg. EB1, EB2 und EB3, die über mehrere Tage beobachtet wurden, sind zu je einem Wert zusammengefasst.

Schlüsselt man die Individuen EB1-EB4 nach Aufnahmezeit auf ($p=0,004$; $R=0,347$), zeigen EB2, EB3 und EB4 je einmal eine größere Distanz an. EB1 clustert eng miteinander. Das Stressmaß beträgt 0,21.



Graph 11: Bray-Curtis-Dissimilarity: Einzeldaten aller Individuen am Leopoldsborg.

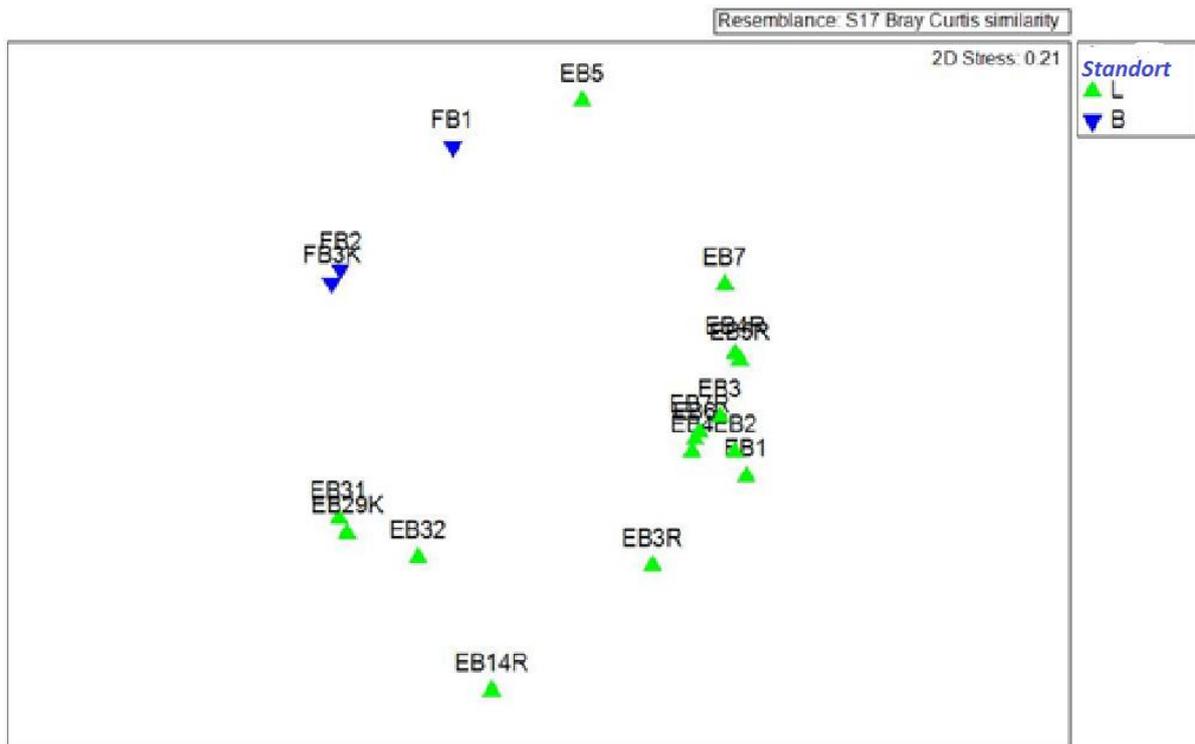
Erweitert man den Datensatz um Standortangaben als Faktor ($p= 0,005$; $R=0.667$), wird die Clusterung deutlich (siehe Graph 12). Standort LB1 zeigt eine geringe Distanz innerhalb aller beteiligten Individuen, Standort LB2, repräsentiert durch EB3R liegt zwischen LB1 und LB4, LB3 ist deutlich mit EB14R separiert. Das Stressmaß liegt bei 0,08. EB5, dem Standort LB1 zugehörig, liegt weit abseits der andren Individuen und zeigt ein abweichendes Besucherspektrum.



Graph 12: Bray-Curtis-Dissimilarity nach dem Faktor: Standort (LB1, LB2, LB3, LB4) am Leopoldsberg.

Die Bray-Curtis-Distanzanalyse von Leopoldsberg und Bisamberg (siehe Graph 13) zeigt zwischen den beiden Standorten eine deutliche Trennung ($p= 0,002$; $R= 0,491$) mit einem Stressmaß von 0,21.

Bei der Zusammenfassung aller Daten des Bisamberges zu einem Spot steigt der p -Wert auf 0,12 und zeigt keine Signifikanz an.



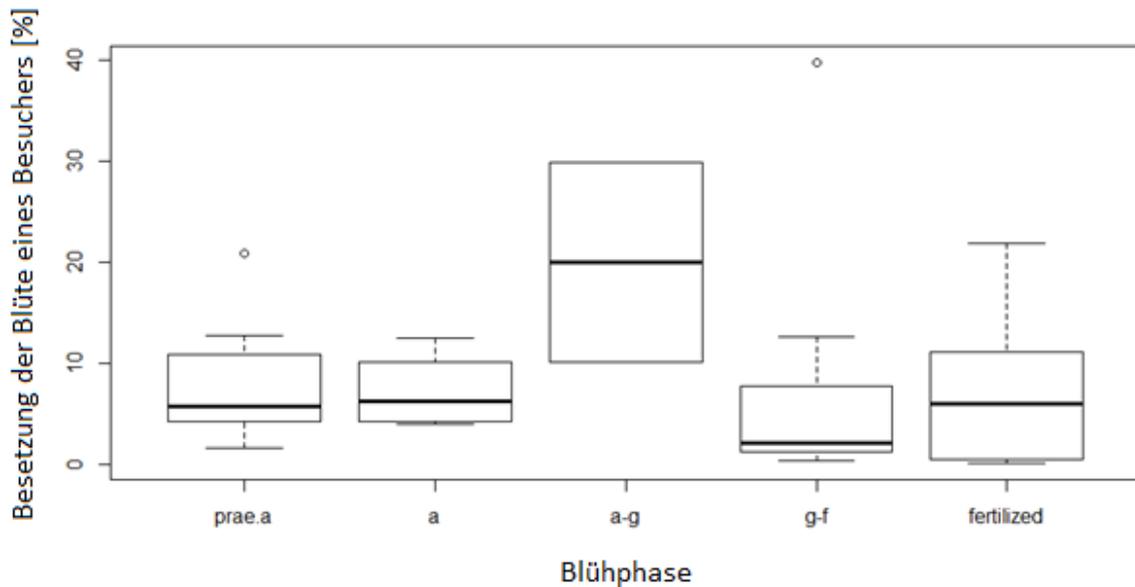
Graph 13: Bray-Curtis-Dissimilarity: Zusammenfassung aller Daten des Leopoldsberges (L) und Bisamberges (B)..

5.5 Individuendichte und Besucher am Leopoldsberg

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass es keinen signifikanten Zusammenhang ($p=0,2803$; $X^2=5,0687$) zwischen der Dichte der Pflanzengesellschaft gemessen in 10, 50, 75 und 100 Individuen pro qm^2 und der Anzahl von Blütenbesuchern gibt.

5.6 Blühphase und Anzahl der Blütenbesucher

Für jedes Individuum wurde vor der Beobachtung die Blühphase identifiziert, um die Abhängigkeit der Blühphase zur Besuchsfrequenz zu ermitteln. Graph 14 zeigt die anteilige Besetzung einer Blüte in einer definierten Blühphase und somit die Präferenz der Blütenbesucher hinsichtlich der Blühphase. In der andrözisch/gynözischen Blühphase wurden im Vergleich zu anderen Blühphasen mit einem nicht signifikanten Unterschied ($p > 0,05$) anteilig die meisten Besuche verzeichnet.



Graph 14: Boxplot (Kruskal-Wallis chi-quadrat = 4.262, df = 4, p-Wert = 0.3717) Blühphase prae a = präandrozisch, a = androzisch, a-g = androzisch/gynözisch, g-f = gynözisch/befruchtet, fertilized = befruchtet

5.7 Fruchtbildung

5.7.1 Fruchternte

Von den 18 beobachteten Individuen, bildeten fünf Individuen Früchte: EB1 mit einem Diaspore, EB2 mit acht Diasporen, EB5 mit einer Diaspore, EB6 mit sieben Diasporen und EB7 mit 21 Diasporen. Vier von 38 Individuen, die in der Blühphase isoliert wurden, um Autogamie zu testen, trugen Früchte: EA3 mit zwei Diasporen, EA7 mit vier Diasporen, EA9 mit 22 Diasporen und EA32 mit sechs Diasporen. Alle Früchte wurden auf dem Leopoldsberg geerntet, am Bisamberg konnte keine Fruchtbildung beobachtet werden.

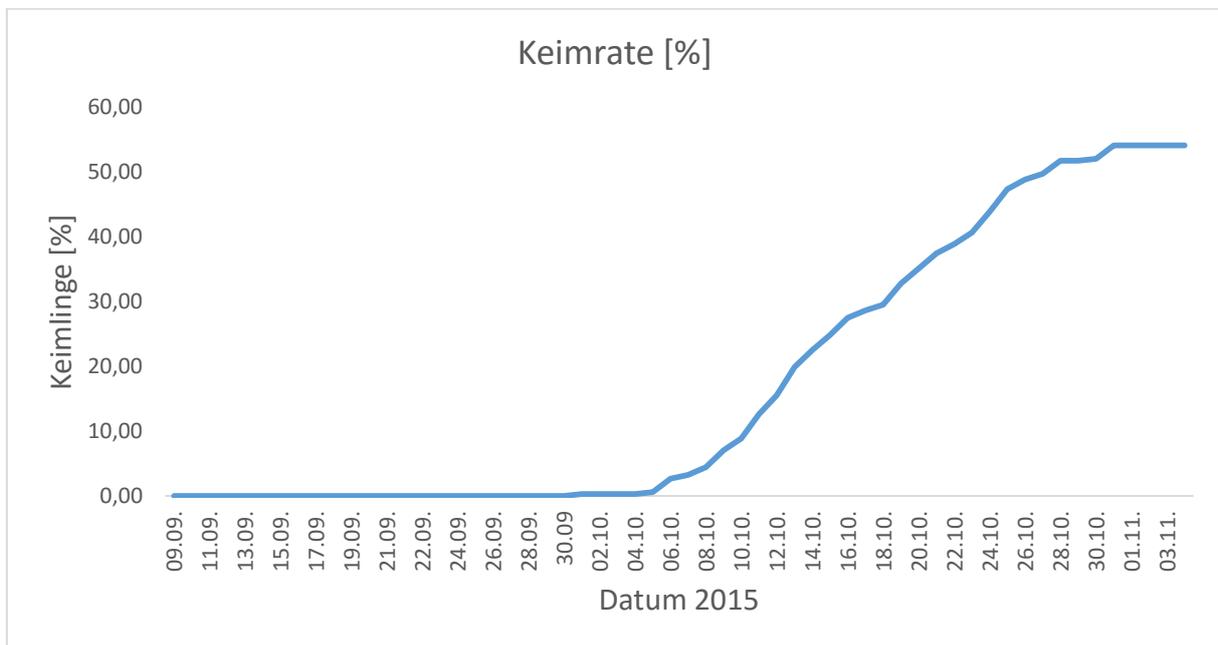
Zusätzlich wurden 125 Früchte mit 250 Teilfrüchten = Diasporen von zufällig ausgewählten Pflanzen aus dem Botanischen Garten und alle Früchte mit 84 Diasporen von A4, einem kultivierten Individuum aus dem Gewächshaus entnommen.

5.7.2 Keimtest

Insgesamt wurden 171 Früchte geerntet und 342 Diasporen dem Keimtest unterzogen. Davon keimten 126 Diasporen. Von Individuum A4 wurden alle gebildeten Früchte mit 84 Diasporen entnommen, 13 keimten davon. EB1 mit einer Frucht zeigte keine keimungsfähigen Diasporen. EB2 mit acht Diasporen besaß zwei Keimlinge, beide Diasporen von EB5 keimten, EB6 mit acht Diasporen erzeugte zwei Keimlinge, keiner der 22 Diasporen von EB7

keimte und auch kein Same von EA3 und EA7. Bei EA9 keimten elf von 22 Diasporen, bei EA32 drei von sechs Diasporen. 71 Diasporen aus dem Botanischen Garten wurden unter modifizierten Konditionen behandelt von denen 69 Diasporen keimten mit einer Keimrate von 97,2 %. Von 250 Diasporen aus dem Botanischem Garten keimten 94 mit einer Keimrate von 37,6 %.

Die erste Keimung der Diasporen erfolgte nach 21 Tagen, die Methode wurde am 2.10 modifiziert und die Keimung stieg kontinuierlich ab dem 10.10 an, bis sie ab dem 25.10 wieder sank.



Graph 15: Keimungserfolg in %. Beginn des Versuches am 9.9.2015, Abschluss des Versuches am 3.11.2015.

5.8 Andere Reproduktionsstrategien

5.8.1 Autogamie Auswertung

Zur Ermittlung, ob *Orlaya grandiflora* selbstkompartibel ist und zur Autogamie befähigt, wurden Blüten isoliert, um Bestäubung auszuschließen. Vier von $i = 38$ Individuen trugen am Leopoldsberg insgesamt 12 Früchte mit $s_L = 24$ Diasporen. Die durchschnittliche Diasporenproduktion liegt am Leopoldsberg pro Individuum bei $s_{Ld} = 57$ Diasporen als Kontrollwert k . Die maximale Diasporenproduktion s_{Lm} autogamer Reproduktion kann folgendermaßen berechnet werden: $s_{Lm} = i * s_{Ld} = 2166$. Die Anzahl der autogam gebildeten Früchte variierte stark zwischen einer Frucht mit zwei Diasporen und 11 Früchten mit 22

Diasporen pro Blütenstand. 24 Diasporen wurden produziert und somit ergibt sich eine autogame Reproduktion von $s_L = (s_a / (i * s_d) / 100) / 100 = 0,01$. Nach Karron (1987) wird Selbstkompartibilität wie folgt kategorisiert: selbstinkompartibel: 0-3 % der Früchte selbstbestäubt produziert mit $s \leq 0,03$, leicht selbstkompartibel: 3-30 % der Früchte selbstbestäubt produziert mit $0,03 < s \leq 0,30$ und stark selbstkompartibel mit mehr als 30% selbstbestäubt produzierten Früchten $s > 0,3$. Am Bisamberg konnten keine autogam produzierten Diasporen geerntet werden, daher ist $s_B = 0$. Der Kategorisierung Karrons folgend, ist *Orlaya grandiflora* mit $s_L = 0,01$ und $s_B = 0$ in die Kategorie nichtkompartibel einzustufen, von den insgesamt 24 Diasporen, keimten 14 im Keimtest, wobei $s < 0,01$ ist.

5.8.2 Auswertung Apomixis

Zehn Narben hermaphroditer Blüten wurden für kurze Zeit mit Pollen behandelt. Es konnte keine Fruchtbildung beobachtet werden.

5.9 Auswertung der Pflanzen- und Blütenmorphologie nach Bildung der ersten Frucht

Im Botanischen Garten der Universität für Bodenkultur wurden n=110 Individuen nach der Transektmethode hinsichtlich der Höhe der Apikaldolde und folgender offener und entwicklungsreduzierten Dolden vermessen. Bei 47 Individuen fehlt die Apikaldolde, bei 63 Individuen ist sie erhalten. Die maximale Anzahl an Dolden beträgt 11, die minimale 1 pro Individuum. Zur Testung eines signifikanten Zusammenhanges zwischen abgebrochener Apikaldolde und Auftreten von entwicklungsreduzierten Nebendolden, wurde der Kruskal Wallis-Test (Rank Sum Test) mit einer starke Unterstützung des Zusammenhanges mit $p <$

0,001 an, durchgeführt.

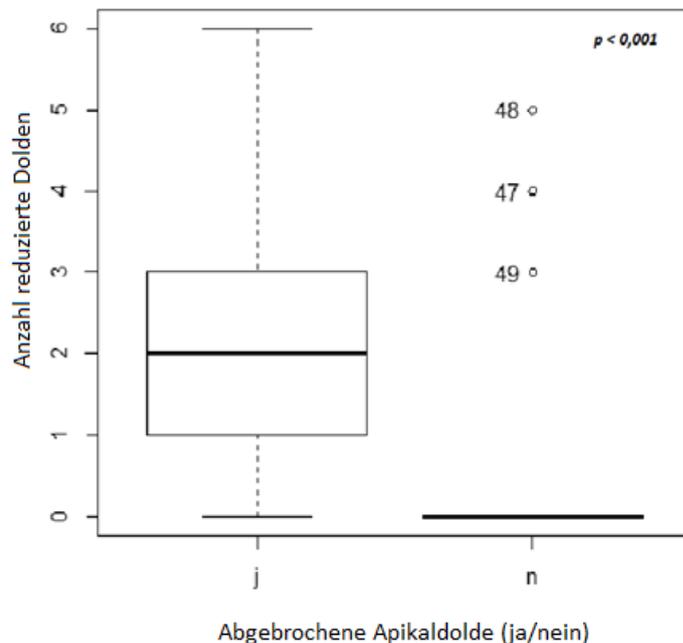
Graph 16: x-Achse: abgebrochene Apikaldolde ja/nein. y-Achse: Anzahl reduzierter Nebendolden im Kruskal-Wallis-Test.

6. Diskussion

Mithilfe von Kamertechnik wurden Insekten aufgenommen, die den geöffneten Blütestand von *Orlaya grandiflora* am Leopoldsberg und Bisamberg

besuchten. Die Bilder dienten der Identifikation der blütenbesuchenden Taxa und der Anzahl ihrer Besuche. 500 278 Sekunden Bildmaterial wurden aufgenommen und 129 239 Sekunden Bildmaterial zeigten Besuche von Insekten. 75 Arten konnten unterschieden werden, die zu den Ordnungen Coleoptera, Hymenoptera und Diptera zählen. Durch die laufende Beobachtung der Blüte kann ein repräsentatives Bild des Besucherspektrums ermittelt werden und inkludiert zudem das Besucherverhalten, das sich in der Dauer des Aufenthaltes niederschlägt. Zur Identifikation kleinerer Insekten empfiehlt es sich ein Makroobjektiv mit erhöhter Schärfentiefe zu verwenden, das die Konturen des Objektes scharf darstellen lässt, was die Bestimmung des Insektes maßgeblich unterstützt.

Es erwies sich als Schwierigkeit einen Bestäuber anhand eines Besuches gekoppelt mit einer Fruchtbildung zu identifizieren. Mehrere Insekten besuchten die Blüte, die später eine Frucht bildete und kein Besucher konnte eindeutig als Bestäuber benannt werden. Hierzu empfiehlt es sich die Blüte bei festgestellter Fertilität nach dem Besuch wieder mit einem



Organzasäckchen zu verpacken. Bildet sich keine Frucht, ist der Besucher als Bestäuber ausgeschlossen. Bei einer Fruchtbildung hingegen, kann er als Bestäuber identifiziert werden.

Der Keimversuch zeigte, dass die Bedingungen zur erfolgreichen Keimung der geernteten Diasporen nicht optimal gewählt waren. Nach einer Modifizierung des Versuches, indem der Diasporen mit Substrat bedeckt und bei Zimmertemperatur gehalten wurde, zeigten sich nach neun Tagen die ersten Keimlinge.

6.1 Identifizierung von Bestäubern

Zwei der 18 beobachteten Individuen trugen Früchte: EB1 und EB2. Ihre gemeinsamen Diasporen Blütenbesucher sind: *Oedemera podagrariae*, eine Art der Brachycera, Alleculidae und *Apis mellifera*.

Zwei Möglichkeiten sind zu diskutieren:

1. Einer oder mehrere Blütenbesucher fungieren als Fremdpollenvektoren und bestäuben die Blüte erfolgreich
2. Der Blütenbesucher fungiert als Pollenvektor innerhalb der Blüte und trägt somit zur Selbstbestäubung und zur Reproduktion bei

Orlaya grandiflora besitzt einen flachen Blütenstand mit einer großen Anflugfläche für Besucher und einem Angebot an leicht zugänglichen Nektarien. Die Blütenmorphologie und das Futterangebot sind für Käfer daher sehr attraktiv (Müller, 1883; Proctor et al., 1996). Allgemein wird die Familie der Apiaceae als Käferblumen bezeichnet. Kugler (1984) führte eine Studie mit Apiaceen durch, in der er alle Blütenbesucher nach Ordnungen kategorisierte. Er kam zu dem Ergebnis dass Käfer nur 2,4 % aller Blütenbesucher stellen, hingegen Diptera und Apiden am häufigsten anzutreffen sind. Der Käfer *Oedemera podagrariae* aus der Familie der Oedemeridae wurde in Zeit zu 64 % auf den beobachteten Blüten und in absoluten Besuchen zu 46% identifiziert und gilt in der vorliegenden Studie als dominanter Blütenbesucher. Auch andere Käfer wie Angehörige der Alleculidae konnten identifiziert werden. Hier soll nun diskutiert werden ob die Art *Oedemera podagrariae* als Pollenvektor und als Bestäuber dienen kann. Pollenvektoren sind Insekten, die befähigt sind, den Pollen von der einen zur anderen Blüte zu transportieren und ihn dort zu platzieren. Die Voraussetzung dafür ist ein Wechsel der Blüte und eine Befähigung den Pollen in gewisser Quantität (Herrera, 1987) auch zu transportieren was eine Körpermorphologie voraussetzt beispielsweise ein mit Haaren besetzter Körper (Kendall & Solomon, 1973). Der Käfer

Oedemera podagrariae besitzt auf den Flügeldecken Haare, an denen Pollen haften kann. Zusätzlich sind Kopf und Thorax borstig behaart (Fuchs, 1974). Kugler führt *Oedemera podagrariae* als erfolgreichen Bestäuber in *Achillea millefolium* an (Kugler, 1984), eine Art, die auf dem Leopoldsberg mit *Orlaya grandiflora* vergesellschaftet ist und in direkter Nachbarschaft zu ihr vorkommt. Jedoch konnte nur ein geringer Wechsel zwischen den Blüten beobachtet werden (eigene Beobachtungen,), da er für einige Minuten oder sogar Stunden die Blüte nicht verlässt. Dieses Verhalten kann stark zum Effekt der Selbstbestäubung in der androeizisch/gynoeizischen Blühphase beitragen, da der Käfer den Eigenpollen auf die fertile Narbe bringt und es zur Befruchtung kommen kann. So im Fall von Individuum EB1, das in der Reproduktionsphase, der androeizisch/gynoeizischen Blühphase beobachtet wurde. Mit 81 Käferbesuchen der Art *Oedemera podagrariae* wurde jedoch nur eine Frucht gebildet. Wenn hier der Mechanismus der Selbstbestäubung gewirkt hat und man *Orlaya grandiflora* eine Selbstkompatibilität der Kategorie C+ zuschreibt, wo es zu einer verminderten Fruchterzeugung kommt, kann der Käfer nicht als Pollenvektor und Fremdbestäuber benannt werden, sondern dient der Pflanze als Pollenvektor innerhalb der Blüte und somit als Selbstbestäuber mit geringer Erfolgschance, da das Maß zum Erfolg der Selbstbestäubung in der Selbstkompatibilität beruht, die $< 0,01$ beträgt. Bei dem beobachteten Individuum EB2 fallen die Besuche von *Oedemera podagrariae* mit 57 Besuchen geringer aus und die Fruchtproduktion mit 8 Früchten liegt deutlich höher als bei EB1. EB2 wurde zudem häufiger von *Apis mellifera* und anderen Wildbienen und auch einer nicht identifizierten Fliegenart der Brachycera besucht. *Apis mellifera* wurde für max. zwei Sekunden auf einem Blütenstand beobachtet und besitzt ein hohes Potential als Pollenvektor zu fungieren. Die Ergebnisse leiten daher zu der Annahme, dass Fliegen und Bienen als Bestäuber in Betracht gezogen werden können und Besuche von Käfern nicht zu einer Reproduktion beitragen. Die hohe Diversität an Blütenbesuchern und der Ausschluss dass nur eine kleine Gruppe die Blüte tatsächlich bestäubt, zeigen, dass das Bestäubungssystem als ein generalisiertes bezeichnet werden kann. Hiermit wird die Hypothese I. *Orlaya grandiflora* wird spezialisiert bestäubt, abgelehnt. Hypothese II. das Bestäuberspektrum ist limitiert, kann insofern unterstützt werden, da die beobachteten Individuen eine geringe Anzahl an Früchten trugen und keinem Blütenbesucher ein eindeutiger Bestäubungseffekt zu beweisen ist. Bei einer Wiederholung der Untersuchung kann der Blütenstand nach einem Besuch eines potentiellen Bestäubers in der reproduktiven Blühphase wieder mit einem Oogoniasäckchen verschlossen werden, um eine Aussage über den Effekt des Blütenbesuchers anhand von gebildeten Früchten treffen zu können.

6.2 Blütenbesucheraktivität

Im Tagesverlauf wurden Phasen niedriger und erhöhter Besucheraktivität beobachtet. Herrera beschreibt den Aktivitätsverlauf der blütenbesuchenden Diptera im mediterranen Raum mit einem Maximum am Vormittag und einem leichten Anstieg am späten Nachmittag (Herrera, 1990). Der überdurchschnittlich warmen Sommer 2015 und die klimatischen Bedingungen, die für *Orlaya grandiflora* am Leopoldsberg galten, können bedingt mit einem mediterranen Klima verglichen werden. Auf *Angelica sylvestris* (Apiaceae) eine Art der mitteleuropäischen Flora, wurde die Besuchsaktivität der Diptera mit einem Maximalwert in der Tagesphase 3 beschrieben (Niemirski & Zych, 2011), der Tagesverlauf der Aktivität verhält sich hier jedoch recht regelmäßig mit einem leichten Anstieg bis zur Mittagszeit und einem Maximum zwischen 14.00 Uhr und 16.30 Uhr. Die Aktivität der Hymenoptera wird von Herrera (1987) mit drei Maximalwerten am Tag beschrieben, diese treten regelmäßig in jeder Tagesphase auf. Am Leopoldsberg zeigten die Hymenoptera eine erhöhte Aktivität in der Tagesphase 1 mit 216 Besuchen, in Phase 2 18 Besuche und in Phase 3 mit 29 Besuchen. Hier liegt der Tagesmaximalwert an Aktivität deutlich am Vormittag. Die Blütenbesucher von *Orlaya grandiflora* zeigten am Leopoldsberg einen deutlichen Trend mit einer bevorzugten Tageszeit an. Ein Aktivitätsmaximum der Blütenbesucher kann durch die Temperatur bedingt sein, die durchschnittlichen Tagestemperaturen lagen Anfang Juni bei 27- 31°C. Vergleichende Untersuchungen hinsichtlich der Besucherrate wurden an alpinen Pflanzen in Norwegen durchgeführt. Hier lag das Aktivitätsmaximum um 12 Uhr (Totland, 1994). Die Abhängigkeit der Besuchsaktivität und der Temperatur zeigen Studien an *Apis mellifera* in Großbritannien, Neuseeland und Portugal. Die Honigbiene zeigt ein Aktivitätsmaximum bei 30 °C und eine bevorzugte Tageszeit um 11.30 Uhr (Corbet et al., 1993).

6.3 Diversität der Blütenbesucher

6.3.1 Variation von Blütenbesuchern am Leopoldsberg und Bisamberg

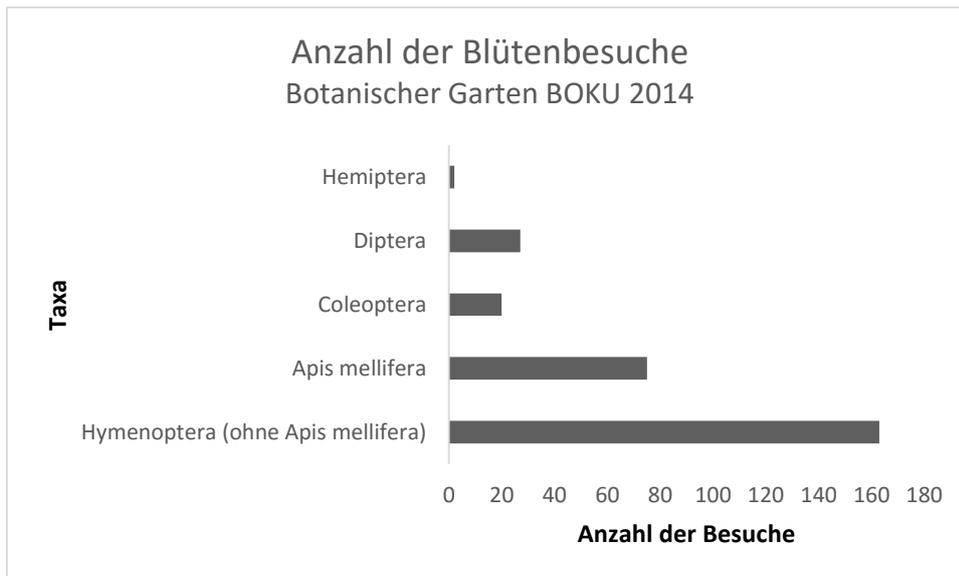
Die Bray-Curtis-Dissimilarity zeigt einen deutlichen Unterschied der verschiedenen Standorte innerhalb des Leopoldsberges und seine Gesamtheit gegenüber dem Bisamberg an. Alle Individuen, ausgenommen EB5 zeigen am Standort 1 (LB1) des Leopoldsberges eine

sich überschneidende Variation des Besucherspektrums. LB2 liegt in der Distanzanalyse und auch geographisch zwischen LB1 und LB4, LB3 ist klar separiert. Der Unterschied im Spektrum der Blütenbesucher wird somit in randlich gelegenen Individuen besonders deutlich. Hier reduzieren sich Übereinstimmungen der Diversität von Insekten mit der vermuteten Konsequenz einer Separation und einhergehenden Isolation einzelner Individuen. Der Waldsaum, der sich zwischen LB3 und den übrigen Standorten befindet, fungiert somit als Barriere für die Blütenbesucher, verhindert allerdings nicht die Ausbreitung der Früchte durch am Leopoldsberg lebende Rehe und Hasen.

Die Gesamtstandorte Leopoldsberg und Bisamberg werden in der Distanzanalyse ohne Übereinstimmung des Besucherspektrums und daher als deutlich separiert interpretiert. Dies bedeutet, dass kein durch die Blütenbesucher repräsentierter Austausch von Pollen zwischen den Standorten stattfindet, eine Ausbreitung der Früchte jedoch möglich erscheint. Eine genetische Analyse, beispielsweise die Methode der AFLPs (Amplified fragment length polymorphism) (Thomas et. al, 1995), die genetische Unterschiede innerhalb einer Art detektiert, kann im Fall der *Orlaya grandiflora* die Frage beantworten, ob beide Standorte am Leopoldsberg und Bisamberg im genetischen Austausch stehen.

6.3.2 Standortvariationen im Vergleich zum Botanischen Garten der BOKU

Die Blütenbesucher der *Orlaya grandiflora* sind am Leopoldsberg und Bisamberg in die Ordnungen Coleoptera, Diptera und Hymenoptera einzuteilen. Im Jahr 2014 wurde eine vergleichbare Arbeit im Botanischen Garten der BOKU an einem Feld der Ackerbegleitflora durchgeführt, in dem *Orlaya grandiflora* mit einer hohen Individuendichte vertreten war. Am Leopoldsberg machten die Coleoptera die größte Fraktion aus, am Bisamberg und im Botanischen Garten der BOKU (Masterarbeit Clara Peters, 2015) hingegen die Hymenoptera. Im Botanischen Garten konnten 2014 zusätzlich noch zwei Arten der Hemiptera beobachtet werden. *Apis mellifera* besaß im Botanischen Garten einen Anteil an 26 %, da im Garten Bienenkörbe aufgestellt wurden.



Graph 17: Diversität der Blütenbesucher auf *Orlaya grandiflora* im Botanischen Garten der Universität für Bodenkultur, (Peters, 2014) in Anzahl der Blütenbesuche dargestellt.

Die Standorte vermitteln daher zwei unterschiedliche Eindrücke des Besucherspektrums und zeigen, dass *Orlaya grandiflora* nicht auf eine Ordnung von Blütenbesuchern spezialisiert ist. Zych und Niermczyk untersuchten das Besucherspektrum der Apiaceen *Anthriscus sp.*, *Daucus sp.*, *Angelica sp.*, und *Heracleum sp.* Alle vier Arten zeigten einen deutlichen Trend in ihren Blütenbesuchern, so wurde *Daucus sp.* vermehrt von den Hymenoptera besucht, *Heracleum sp.* und *Angelica sp.* von den Diptera. *Anthriscus sp.* hingegen zeigte ein ausgeglichenes Spektrum an allen drei Ordnungen. Die Coleoptera wurden am häufigsten auf *Anthriscus sp.* gesichtet (Niermczyk & Zych, 2007). Die Daten des Besucherspektrums der Arten *Daucus sp.*, *Anthriscus sp.*, *Heracleum sp.*, *Angelica sp.* und *Orlaya grandiflora* vermitteln daher ein Bild einer unspezifischen Bestäubung innerhalb der Apiaceen. *Orlaya grandiflora* stellt eine Futterquelle für unterschiedliche unspezialisierte Insekten dar, die nicht in funktionale taxonomische Gruppen eingeteilt werden können, die das große Pollenangebot nutzen und die flach gelegenen Nektarien ausbeuten. Der Nektar kann sowohl mit einem Rüssel, als auch mit flach anliegenden Mandibeln gewonnen werden. Das breite Besucherspektrum zeigt sich in den vier identifizierten Unterordnungen. Sieben Familienzugehörigkeiten der Coleoptera, fünf Familien der Hymenoptera und weitere Zugehörigkeiten nichtidentifizierter Diptera. Hierbei zeigen alle drei Standorte unterschiedliche Zusammensetzungen des Besucherspektrums und eine damit gegebene Variation. Die Variation der Blütenbesucher wurde in *Daucus carota* untersucht (Lamborn & Ollerton, 2000) und zeigte ein inhomogenes Bild in zwei verschiedenen Aufnahmejahren an. Auch hier wurde eine Variation der Blütenbesucher innerhalb der Apiaceen festgestellt,

funktionale taxonomische Gruppen konnten nicht identifiziert werden und die Ergebnisse weisen auf ein unspezialisiertes Besucherspektrum hin. Betrachtet man die Blütenbesuchsvariation der Unterstandorte am Leopoldsberg, so wird auch hier ein inhomogenes Bild deutlich. L1 wird von vier identifizierten taxonomischen Gruppen und einer Reihe unbekannter Taxa besucht, die einen Anteil von 11,7 % besitzen, an L2 hingegen treten Oedemeridae, Brachycera und Apoidea alleinig auf, L3 wird zu 47,2 % anderer Taxa, von Brachycera und Alleculidae besucht und besitzt damit eine hohe Diversität an Blütenbesuchern. Die Attraktion unspezialisierter Taxa durch die Blüte variiert somit stark zwischen den Standorten.

6.4 Individuendichte

Der Kruskal-Wallis Test zeigt an, dass auf der großen Wiese des Leopoldsberges (LB1) kein Zusammenhang zwischen der Individuendichte und der Anzahl der Blütenbesucher besteht. Die Dichte der Individuen ist daher kein Maß für die Attraktion der Blütenbesucher. Betrachtet man kleinere Unterstandorte mit einer geringeren Individuendichte, so werden sie nicht minder von Insekten besucht, es kommt somit zu keiner Limitation an Blütenbesuchern, die auf die Anzahl der Individuen innerhalb eines Standortes zurückzuführen ist.

6.5 Auswirkungen der Selbstinkompatibilität auf die Fitness der Population

Der Kategorisierung Karrons folgend, ist *Orlaya grandiflora* mit $s_L = 0,01$ und $s_B = 0$ in die Kategorie selbstinkompatibel einzustufen, von den insgesamt 24 Diasporen, keimten 14, wobei $s < 0,01$ ist. Die Hypothese IV: *Orlaya grandiflora* ist selbstinkompatibel und reproduziert sich autogam, wird somit abgelehnt.

Die Variabilität des genetischen Pools innerhalb einer Population wird anhand von Allelen repräsentiert und ist die Grundlage für das Fortbestehen und den Erfolg einer Population. Die Selbstinkompatibilität, das Ausschließen der Reproduktion innerhalb eines Individuums, ist ein Maß für den Erfolg einer Population, die sich in der Anzahl verschiedener S-Allele widerspiegelt (Byers & Meagher, 1992). Es kann nur zu einer erfolgreichen Reproduktion führen, wenn beide Gameten ein unterschiedliches S-Allel aufweisen. Durch den Beweis der Selbstinkompatibilität der *Orlaya grandiflora* im Raum Wien, kann daher auf eine gegebene Fitness der Population rückgeschlossen werden, die eine gewisse Anzahl an unterschiedlichen

S-Allelen enthalten muss. Es wird daher vermutet, dass die Population am Leopoldsberg als stabil gilt und eine genetische Variabilität besitzt. Das große Angebot an blütenbesuchenden und bestäubenden Insekten unterstützt die These eines ausgekreuzten Bestäubungssystems.

Durch die geringe Rate an selbstkompartibel erzeugten Früchten und einem hohen Anteil an keimungsfähigen fremdbestäubt produzierten Nachkommen, besitzt *Orlaya grandiflora* ein ausgekreuztes Reproduktionssystem. Durch die Selbstinkompatibilität kann die Pflanze Kontrolle über den Prozess der Befruchtung ausüben (Stone & Goring, 2001), die genetische Diversität liegt bei selbstinkompatiblen Arten höher als bei selbstkompartiblen Arten und die Fitness der Population ist gewährleistet (Uyenoyama, 2000). Dem Reproduktionssystem liegt somit nicht zugrunde, dass die Bestände von *Orlaya grandiflora* im Wiener Raum rückläufig sind. Da die Pflanze als ackerbegleitend vom Menschen kultiviert wurde und zudem in Weinbergen und Olivenhainen des Mittelmeerraumes immer unter der Kontrolle der Menschen stand, müssen hier Gründe für den Rückgang der Bestände gesucht werden. *Orlaya grandiflora* befindet sich im Pannonikum am Rande ihres geographischen Verbreitungsgebietes, der Leopoldsberg und Bisamberg bilden ökologische Nischen mit Gegebenheiten wie Trockenrasen und Schutthalden, die günstig erscheinen. Solange diese Habitate erhalten bleiben und nicht durch konkurrenzstärkere Pflanzengesellschaften wie Gebüsche und Waldbestände erobert werden, kann die Population eine stabile Individuendichte erhalten, allerdings nicht expandieren.

6.6 Auswirkungen der männlichen und weiblichen Blühphase auf das Besucherspektrum

Der statistische Kruskal-Wallis Test zeigt mit einem p-Wert von 0,3717 keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Blühphase und der Anzahl der Blütenbesuche an. Die Hypothese III: Blütenbesucher zeigen Präferenzen in der andrözischen und gynözischen Blühphase, muss daher abgelehnt werden. Der Stichprobenumfang innerhalb der Blühphase andrözisch/gynözisch, also die Blühphase der Fertilität, liegt bei 2, der Stichprobenumfang anderer Blühphasen lag zwischen 5 und 10 Stichproben, weshalb die statistische Aussage schwach belegt ist. Die meisten Blütenbesucher wurden jedoch in der androeizisch/gynoezischen Blühphase mit einer durchschnittlichen Besetzung der Blüte von 20 % der Beobachtungszeit ermittelt. Die durchschnittliche Besetzung der Blüte in der

Beobachtungszeit, fiel in den anderen Blühphasen geringer mit <10 aus. Hier kann daher nur ein Trend hin zur fertilen Blühphase skizziert werden. Blütenbesucher und Bestäuber können in einer höheren Frequenz angelockt werden, die als Pollenvektoren dienen.

6.7 Auswirkungen des Verlustes der Apikaldolde auf die Nebendolden

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem Abbruch der Apikaldolde, die Anzahl der reduzierten Seitendolden zunimmt. Durch den Verlust der Apikaldolde werden die Seitentriebe anlässlich der fehlenden Apikaldominanz begünstigt, was zu einer vermehrten Blütenbildung an den Seitentrieben führt. Durch den Hitze- und Trockenstress zog die Pflanze jedoch ihre Ressourcen an den Seitentrieben ab, und die Blüten verblieben unterentwickelt im Knospenstadium. Beim Öffnen der reduzierten Blüten, wurden Früchte mit wohlentwickelten Borsten sichtbar, die jedoch keinen Keimerfolg zeigten. Diese Beobachtung zeigt, dass der Blütenboden vor der erfolgreichen Bestäubung Ansätze einer Frucht entwickelt, obwohl diese noch keinen Embryo beinhalten.

6.8 Optimierung der Keimbedingungen

Die Diasporen, die direkt unter der modifizierten Methode behandelt wurden, also mit Substrat bedeckt und unter Zimmertemperaturen gehalten wurden, zeigten eine Keimrate von 97,2%. Bei einem Keimerfolg von 97,2 % ist eine Dormanz der Diasporen von *Orlaya grandiflora* ausgeschlossen. Die Diasporen, die erst später unter modifizierten Bedingungen standen, zeigten eine Keimrate von 37,6%.. Der Keimrate zur Folge sind die Bedingungen der zweiten Keimkondition für *Orlaya grandiflora* günstiger mit der Voraussetzung, dass die Keimung im Anschluss zur Vegetationsperiode ohne Dormanz der Diasporen erfolgt. Nun gilt es zu diskutieren, inwieweit die Temperatur bzw. die Bedeckung mit Substrat eine Keimung begünstigen. Für *Achillea millefolium* die mit *Orlaya grandiflora* vergesellschaftet ist, werden identische Keimbedingungen auf www.magicgardenseeds.at (24.03.2016) empfohlen, leichte Substratbedeckung und Temperaturen von 20°C. Allison führte erfolgreiche Keimversuche mit *Achillea millefolium* bei 20°C durch (Allison, 2002). Für *Daucus carota* wurden die optimalen Keimbedingungen hinsichtlich der Temperatur ermittelt, wobei diese bei 19°C liegt (Rowse & Finch-Savage, 2003). Die Bedeckung der Diasporen mit feuchtem Substrat schließt den Faktor der Lichtstunden aus und nimmt den Faktor des osmotischen Wasserpotentials hinein. Bei der ausgehenden Methode zur Keimung wurde de-

ionisiertes Wasser mit einem Minimum an osmotischem Wasserpotential verwendet. Die modifizierte Methode verwendete auch de-ionisiertes Wasser, allerdings kam es in Kombination mit dem Substrat zur Ionisierung und zum Anstieg des osmotischen Wasserpotentials. Da Temperatur (Roberts, 1987; Probert, 2000) und Wasserpotential, das das osmotische Wasserpotential enthält die Keimung beeinflussen (Bradford, 1990, 1995), muss davon ausgegangen werden, dass die erste Keimmethode die Keimung negativ beeinflusst hat und die Keimrate dadurch geringer ausfiel.

Aufgrund der fehlenden Bedingungen eines optimalen Keimmilieus, kann keine Aussage zu einem Reproduktionserfolg der autogam produzierten Früchte getroffen werden. Die 84 geernteten Diasporen von A4, einem im Gewächshaus kultivierten Individuums zeigten einen Keimerfolg von 13 Diasporen unter fehlenden optimalen Bedingungen. Auch hier kann keine Aussage zum optimalen Reproduktionserfolg getroffen werden. Allerdings produzierte dieses Individuum weitaus mehr Früchte als Individuum am Leopoldsberg mit durchschnittlich 57 Diasporen und Individuum aus dem Botanischen Garten mit durchschnittlich 25 Diasporen (Peters, 2014). Die Diasporen, die unter optimalen Keimbedingungen mit einer Keimrate von 97,2 % behandelt wurden, weisen auf einen hohen Reproduktionserfolg der Pflanzen im Botanischen Garten der BOKU hin.

7. Fazit

Orlaya grandiflora besitzt ein inkompatibles Reproduktionssystem und ein generalisiertes Besuchersystem mit Insekten, die zu den Ordnungen Diptera und Hymenoptera und zu den Unterordnungen Brachycera und Apoidea zählen. Die Verfügbarkeit von besuchenden Insekten sind an den Standorten Leopoldsberg und Bisamberg ausreichend gegeben. Die ausreichende Verfügbarkeit von bestäubenden Insekten, konnte nicht bewiesen werden, es wird allerdings aufgrund der hohen Variabilität der Besucher ein generalisiertes Bestäubersystem vermutet. Die Besucheranzahl von Insekten auf der Blüte ist unabhängig von der Dichte der Individuen und ein Trend ist ersichtlich, dass Insektenbesuche vermehrt in der fertilen Blühphase auftreten. Die Population wird auf der Basis der Selbstinkompatibilität argumentierend als stabil eingestuft. Als Standort wird der Trockenrasen bevorzugt und zeigt

hier ein stabiles Habitat an, allerdings kann durch Verbuschung der Standort am Leopoldsberg gefährdet sein.

Literaturverzeichnis

Aigner P. A., 2004. Ecological and genetic effects on demographic processes: pollination, clonality and seed production in *Dithyrea maritima*. *Biological Conservation* 116: 27-47

Aigner P. A., 2006. The evolution of specialized floral phenotypes in a fine-grained pollination environment. *Plant-pollinator interactions: From specialization to generalization*: 23-46. University of Chicago Press

Allison V., 2002. Nutrients, arbuscular mycorrhizas and competition interact to influence seed production and germination success in *Achillea millefolium*. *Functional Ecology* 16:742-749

Armbruster W. S., Di Stilio V. S., Tuxill J. D., Flores T. C., Runk, J. L. V., 1999. Covariance and decoupling of floral and vegetative traits in nine Neotropical plants: a re-evaluation of Berg's correlation-pleiades concept. *American Journal of Botany* 86: 39-55

Baker H. G., Paul D. H., 1968. Intrafloral Ecology. *Annual Review of Entomology* 13: 385-414

Bell R. C., Lindsey A. H., 1978. The umbel as a reproductive unit in the Apiaceae. In *Actes du 2eme Symposium international sur les Ombelliferes--Contributions pluridisciplinaires a la Systematique*: 739- 747

Bradford K. J., 1990. A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology* 94: 840 – 849

Bradford K. J., 1995. Water relations in seed germination. *Seed development and germination* 1: 351-396

Bray J. R., Curtis J. T., 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27: 325- 349

Burger W. C., 1981. Why Are There So Many Kinds of Flowering Plants? *BioScience* 31: 572-581

Byers D. L., Meagher T. R., 1992. Mate availability in small populations of plant species with homomorphic sporophytic self-incompatibility. *Heredity*: 68, 353–359

Charlesworth D., 2006. Evolution of Plant Breeding Systems. *Current Biology* 16: 726–735

Corbet S. A., Fussell M., Ake R., Fraser A., Gunson C., Savage A., Smith, K., 1993. Temperature and the pollinating activity of social bees. *Ecological Entomology* 8: 17-30

Corbet S. A., 2006. A typology of pollination systems: implications for crop management and the conservation of wild plants. *Plant-pollinator interactions. From specialization to generalization*. The University of Chicago Press: 315-340

Cruden R. W., 1977. Pollen-Ovule Ratios: A Conservative Indicator of Breeding Systems in Flowering Plants. *Evolution* 31: 32-46

Davila Y. C., Wardle G. M., 2002. Reproductive ecology of the Australian herb *Trachymene incisa subsp. incisa* (Apiaceae). Australian journal of botany 50: 619-626

Drabble E., Drabble H., 1927. Some flowers and their dipteran visitors. New Phytologist 26: 115-123

Ellis W. N., Ellis-Adam A. C., 1993. Fossil brood cells of solitary bees on Fuerteventura and Lanzarote, Canary Islands (Hymenoptera: Apoidea). Entomologische Berichte 53: 161-173

Ellis W. N., Ellis-Adam A. C., 1994. Umbels are not alike, Entomologische Berichte 54: 191-199

Endress P. K., 2010. The evolution of floral biology in basal angiosperms. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 365: 411-421

Fenster C. B., Scott Armbruster W., Wilson P., Dudash M. R., Thomson J. D., 2004. Pollination Syndromes and Floral Specialization. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 35: 375-403

Fischer M. A., Oswald K., Adler W., 2008. Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. Verlag des Naturhistorischen Museums Linz, 3. Auflage

Fuchs, G., 1974. Die Gewinnung von Pollen und Nektar bei Käfern. Natur und Museum 104, 45-54

Gómez J. M., Zamora R., 1999. Generalization vs. specialization in the pollination system of *Hormathophylla spinosa* (Cruciferae). Ecology 80: 796-805

Grant V., 1949. Pollination systems as isolating mechanisms in angiosperms. Evolution 3: 82-97

Herrera C. M., 1987. Components of pollinator "quality": comparative analysis of a diverse insect assemblage. Oikos: 79-90

Johnson S. D., Steiner K. E., 2000. Generalization versus specialization in plant pollination systems. Trends in Ecology and Evolution 15: 140-143

Karron J.D., 1987. A comparison of levels of genetic polymorphism and self-compatibility in geographically restricted and widespread plant congeners. Evolutionary ecology 1: 47-58

Kendall D. A., Solomon M. E., 1973. Quantities of pollen on the bodies of insects visiting apple blossom. *Journal of Applied Ecology*: 627-634

Kugler H., 1984. Die Bestäubung von Blüten durch den Schmalkäfer *Oedemera* (Coleoptera). *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 97: 383-390

Lamborn E., Ollerton J., 2000. Experimental assessment of the functional morphology of inflorescences of *Daucus carota* (Apiaceae): testing the 'fly catcher effect'. *Functional Ecology* 14: 445-454

Levin D. A., 1972. Competition for pollinator service: a stimulus for the evolution of autogamy. *Evolution* 26: 668-669

Lindsey A. H., 1984. Reproductive biology of Apiacea. I. Floral visitors to *Thaspium* and *Zizia* and their importance in pollination. *American Journal of Botany*: 375-387

Müller H., 1883. *The Fertilization of Flowers*. Thompson. London: Macmillan: p 669

Niemirski R., Zych M., 2011. Fly pollination of dichogamous *Angelica sylvestris* (Apiaceae): how (functionally) specialized can a (morphologically) generalized plant be? *Plant Systematics and Evolution* 294: 147-158

Oberdorfer E., 2001. *Pflanzensoziologische Exkursionsflora für Deutschland und angrenzende Gebiete*. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart

Ollerton J., Winfree R., Tarrant S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 12: 321-326

Pavlova D., 2004. The serpentine flora in the central Rhodopes Mountains, Southern Bulgaria, Proceedings of the IInd Congress of Ecologists of the Republic of Macedonia with International Participation. *Special Issues of Macedonian Ecological Society* 6

Peters C., 2015. Bestäubung der Modellpflanzenart *Orlaya grandiflora* in der Schutzsammlung für Ackerbegleitflora des botanischen Gartens der Universität für Bodenkultur. Diplomarbeit / Masterarbeit - Institut für Botanik (Botany), BOKU-Universität für Bodenkultur

Pohl F., 1937. Die Pollenenzeugung der Windblütler. Eine vergleichende Untersuchung mit Ausblicken auf die Bestäubung der tierblütigen Gewächse und die pollenanalytische Waldgeschichte. Untersuchung zur Morphologie und Biologie des Pollen VI. Beihefte zum botanischen Zentralblatt 56A: 365- 470

- Probert R. J., 2000. The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities* 260: 292
- Proctor M., Yeo P., Lack A., 1996. *The Natural History of Pollination*. Harper Collins Publishers, London
- Rexhepi F., 1997. Mediterranean, Submediterranean and illyric floristic elements in the Kosovo's flora (Yugoslavia). *Boccone* 5: 451-456
- Roberts, E. H., 1987. Temperature and seed germination, *Symposia of the Society for Experimental Biology* Vol. 42
- Rowse H. R., Finch-Savage W. E., 2003. Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. *New Phytologist* 158: 101–108
- Sargent R. D., Otto S.P., 2006. The role of local species abundance in the evolution of pollinator attraction in flowering plants. *The American Naturalist* 167: 67–80
- Stebbins G. L., 1970. Adaptive Radiation of Reproductive Characteristics in Angiosperms, I: Pollination Mechanisms. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1: 307-326
- Stebbins G. L., 1981. Why Are There So Many Species of Flowering Plants? *BioScience* 31: 573-577
- Stone S. L., Goring D. R., 2001. The molecular biology of self-incompatibility systems in flowering plants. *Plant cell, tissue and organ culture* 67: 93-114
- Thomas C. M., Vos P., Zabeau M., Jones D. A., Norcott K. A., Chadwick B. P., Jones, J. D., 1995. Identification of amplified restriction fragment polymorphism (AFLP) markers tightly linked to the tomato Cf-9 gene for resistance to *Cladosporium fulvum*. *The Plant Journal*, 8: 785-794
- Totland Ø., Schulte-Herbrüggen B., 2003. Breeding system, insect flower visitation, and floral traits of two alpine *Cerastium* species in Norway, Arctic, Antarctic, and Alpine *Research* 35: 242-247

Uyenoyama M. K., Newbigin E., 2000. Evolutionary dynamics of dual-specificity self-incompatibility alleles. *The Plant Cell* 12: 310-312

Zukrigl K., 2005. Die Vegetation des Wiener Leopoldsberges. Vol. 35. Verlag der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich

Zych M., 2004. Pollination biology of Apiaceae- old myths and new perspectives. *Wiad. Bot. (Bot. News)* 48: 7–15

Zych M., 2007. On flower visitors and true pollinators: The case of protandrous *Heracleum sphondylium* L. (Apiaceae). *Plant Systematics and Evolution* 263: 159-179

Weblinks von Literaturangaben:

<http://www.floraweb.de/pflanzenarten/artenhome.xsql?suchnr=4001>, 24.3.2016

<http://www.magicgardenseeds.at/article/ACH02/Schafgarbe-%28Achillea-millefolium%29.xhtml>, 24.3.2016

Anhang

Zusammenfassung

Der Strahlenbreitsame (*Orlaya grandiflora*, Apiaceae) ist in Österreich und Deutschland stark gefährdet und zeigt im Spektrum seiner Blütenbesucher eine hohe Variabilität. Am Rande der Stadt Wien konnten am Leopoldsberg und Bisamberg 75 verschiedene Insektenbesuche in Dauerbeobachtung mit Hilfe von Kameras identifiziert werden, fünf von 18 beobachteten Individuen trugen Früchte. Die Blütenbesucher bilden eine funktionelle Einheit mit kleinen bis mittelgroßen Körper und morphologischen Merkmale wie Rüssel und Mandibeln, die zu den Ordnungen

Coleoptera, Diptera und Hymenoptera zählen. Außer der Honigbiene *Apis mellifera* und nicht identifizierter Arten der Brachycera (Diptera), konnte kein eindeutiger Bestäuber identifiziert werden, die hohe Variabilität der Blütenbesucher weist jedoch auf ein generalisiertes Bestäubungssystem hin. Die Befähigung zur autogamen Reproduktion wurde im Feldversuch an 38 Individuen untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass *Orlaya grandiflora* ein selbstinkompatibles Reproduktionssystem besitzt.

Summary

The White Finch (*Orlaya grandiflora*, Apiaceae) is an endangered plant in Austria and Germany and shows a high variability in terms of flower visitors. 75 species of insect visitors could be identified on two locations peripheral to the city of Vienna on Leopoldsberg and Bisamberg with the technique of cameras in continuous observations. 18 individuals have been observed and five individuals produced fruits. A functional group of small-sized and medium-sized flower visitors with morphological traits of mandibles and probosces could be specified in coleopteran, dipteran and hymenopteran orders. The honeybee *Apis mellifera* as well as a species of the dipteran order have been identified as efficient pollinators. The high variability of flower visitors indicates a generalized pollination system. The investigation of an autogamous reproductive system in 38 individuals shows that *Orlaya grandiflora* is self-incompatible.