

**Verhaltensbiologische Untersuchungen zur
Trachtnutzung und zum Sammelverhalten von Bienen
(Hymenoptera, *Apoidea*)**

Dissertation

zur Erlangung des Grades
eines Doktors der Naturwissenschaften
der Fakultät für Biologie
der Ruhr-Universität Bochum

angefertigt in der Arbeitsgruppe Verhaltensbiologie und
Didaktik der Biologie

vorgelegt von

Ingrid Illies

aus Lippetal

Bochum 2005

Gutachter: Prof. Dr. Wolfgang H. Kirchner
Prof. Dr. Henning Haeupler

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung.....	1
2. Unterschiede in der Trachtnutzung verschiedener <i>Tilia</i> -Arten durch Hummeln (<i>Bombus spec.</i>) und Honigbienen (<i>Apis mellifera</i> L.).....	3
2.1 Einleitung.....	3
2.2 Material und Methode.....	6
2.3 Ergebnisse.....	8
2.4 Diskussion.....	14
3. Einfluss von Sortenunterschieden in Sommerraps (<i>Brassica napus</i> L.) und Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i> L.) auf das Sammelverhalten von Bienen.....	17
3.1 Einleitung.....	17
3.2 Material und Methode.....	20
3.3 Ergebnisse.....	22
3.4 Diskussion.....	26
4. Trachtnutzung der Honigbiene (<i>Apis mellifera</i> L.) im Winterraps (<i>Brassica napus</i> L.).....	28
4.1 Einleitung.....	28
4.2 Material und Methode.....	30
4.3 Ergebnisse.....	35
4.4 Diskussion.....	42
5. Das Pollensammelverhalten der Honigbiene (<i>Apis mellifera</i> L.) im Flugraum.....	46
5.1 Einleitung.....	46
5.2 Material und Methode.....	48
5.3 Ergebnisse.....	51
5.4 Diskussion.....	54
6. Diskussion.....	56
7. Zusammenfassung.....	58
8. Literatur.....	60

1. Einleitung

Bienen (*Apoidea*) gehören zur Ordnung der Hautflügler (Hymenoptera) und sind in Mitteleuropa mit mehr als 1000 Arten vertreten. Im deutschsprachigen Raum ist das Vorkommen von 729 Arten belegt, die überwiegend solitär leben (WESTRICH 1990, MÜLLER et al. 1997). Die solitäre Lebensweise der Einsiedlerbienen steht der eusozialen Lebensweise der Hummeln (*Bombus spec.*) und Honigbienen (*Apis mellifera* L.) gegenüber. Die Weibchen der solitären Bienen bauen ihre Nester allein und versorgen die Brutzellen ohne Hilfe. Die Überwinterung erfolgt in der Regel als Larve.

Hummeln und Honigbienen dagegen bilden Staaten, in denen nur ein Weibchen, die Königin, Eier legt. Die einjährigen Hummelvölker brechen am Ende der Vegetationsperiode zusammen und nur die begatteten Jungköniginnen überwintern (HEINRICH 1979a). Im Frühjahr gründen diese Königinnen neue Völker. Auf Grund der solitären Gründungsphase werden Hummeln auch als „primitiv eusozial“ bezeichnet (GOULSON 2003). Die Honigbiene ist jedoch ein hoch eusoziales Insekt mit mehrjährigen Staaten, Kastenbildung, Arbeitsteilung und sozialem Futteraustausch (WILSON 1971). Die Überwinterung mehrerer tausend Tiere erfordert im Vergleich zu den solitären Bienenarten die Einlagerung großer, energiereicher Futtermittelvorräte.

Bienen nutzen ausschließlich Pflanzenprodukte zur Ernährung sowohl der adulten Tiere als auch der Brut. Nektar und, im geringeren Maße, andere Pflanzensäfte wie Honigtau dienen als Kohlenhydratquelle, der Proteinbedarf wird durch Pollen gedeckt. Das Nektar- und Pollenangebot wird auch als „Tracht“ bezeichnet (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Das Trachtangebot wird sowohl durch das Artenspektrum als auch die Entfernung und Verteilung der Blütenpflanzen bestimmt. Äußere Einflüsse wie Klima und Bodenverhältnisse können die Nektarsekretion und Pollendarbietung der Pflanzen und damit das Trachtangebot beeinflussen.

Blütenpflanzen profitieren vom Blütenbesuch der Bienen, da diese zu ihrer Bestäubung beitragen. Die enge Beziehung zwischen Biene und Blüte hat zu einer hohen Arten- und Formenvielfalt auf beiden Seiten geführt (KUGLER 1970, BARTH 1982, HESS 1983).

Das Trachtangebot ist in Mitteleuropa in großem Maße durch die Land- und Forstwirtschaft geprägt. Massentrachten wie Obst, Raps, Sonnenblume, Robinie und Linde stellen große Nektar- und Pollenressourcen für Bienen dar. Die Ausbeutung solcher Trachten ist insbesondere für die Honigbiene wichtig, da sie große Vorräte zur Überwinterung benötigt. Imker bringen Völker zur Ertragssteigerung und zur Gewinnung von Sortenhonigen in diese Trachten (ZANDER und BÖTTCHER 1979).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Trachtnutzung von Bienen unter besonderer Berücksichtigung der Honigbiene an Raps, Sonnenblume und Linde untersucht. Raps stellt in Nordwestdeutschland die wichtigste Massentracht dar (MAURIZIO und SCHAPER 1994) und gewinnt neben der Sonnenblume als nachwachsender Rohstoff eine immer größere Bedeutung (MANN 2001). Die Pflanzenzucht hat eine Vielzahl von Sorten hervorgebracht. In einem Teil dieser Arbeit wurde die Attraktivität regional angebauter Raps- und Sonnenblumensorten für blütenbesuchende Insekten untersucht. Ziel war es,

das Sammelverhalten der Tiere mit möglichen Unterschieden in der Nektar- und Pollenverfügbarkeit zu korrelieren.

Neben Sortenunterschieden sollte auch der Einfluss der Bienendichte auf die Trachtnutzung im Raps untersucht werden. An zwei Rapsflächen mit ähnlichen Standortfaktoren wurde eine unterschiedliche Anzahl von Bienenvölkern aufgestellt, um eine unterschiedliche Bienendichte zu erzeugen. Beobachtungen in unterschiedlicher Entfernung vom Bienenstand sollten zeigen, ob die Sammelaktivität mit zunehmender Entfernung vom Bienenvolk abnimmt und ob eine solche Abnahme sich in der Nektarverfügbarkeit, im Blühverlauf und Bestäubungsergebnis widerspiegelt.

Ein weiterer Untersuchungspunkt dieser Arbeit ist die Trachtnutzung von Honigbienen und Hummeln an Linden. Linden stellen in Norddeutschland die letzte große Trachtquelle in der Vegetationsperiode dar. Seit Jahren wird unter spätblühenden Linden, insbesondere unter der Silberlinde (*Tilia tomentosa* L.) ein Hummelsterben beobachtet, dessen Ursachen nicht eindeutig geklärt sind. Verschiedene Erklärungsansätze wie geringe Nektarverfügbarkeit oder Toxizität des Nektars konnten nicht bestätigt werden (BAAL et al. 1994). Die späte Blüte der Silberlinde zu einer Zeit mit wenigen alternativen Trachten zieht viele blütenbesuchende Insekten an. Ziel der Arbeit war es, das Sammelverhalten von Hummeln und Honigbienen an früh- und spätblühenden Linden vergleichend zu untersuchen. Da nur Hummeln und nicht Honigbienen unter den Linden sterben, sollte eine mögliche Konkurrenz zwischen Hummel und Honigbiene überprüft werden. Die Bäume wurden während der gesamten Blühphase im Tagesgang beobachtet. Es wurde die Sammelaktivität von Hummeln und Bienen sowie die Anzahl toter Tiere unter den Baumkronen und die Nektarverfügbarkeit registriert.

Die Effektivität der Honigbienen bei der Ausbeutung von Massentrachten beruht im wesentlichen auf der Sammelleistung des einzelnen Tieres. Die Sammelleistung wird durch den Bedarf des Volkes, das Trachtangebot und die individuelle Sammelerfahrung beeinflusst. Untersuchungen von PAGE et al. (1995) haben gezeigt, dass auch der Genotyp das Sammelverhalten beeinflussen kann. In diesem Zusammenhang ist das Pollensammelverhalten der Honigbiene besonders interessant, da sich hier Sammelaktivität und Erfolg leicht beobachten lassen. Ein weiterer Aspekt war es, zu untersuchen, ob sich Arbeiterinnen unter standardisierten Bedingungen in einem Flugraum im Pollensammelverhalten unterscheiden und individuelle Strategien verfolgen. Wenn sich Sammlerinnen in der Anzahl der Sammelflüge und im Sammelerfolg unterscheiden, tragen dann Sammlerinnen, die häufig ausfliegen, leichtere Pollenladungen als Tiere mit geringerer Sammelaktivität?

Die verschiedenen Aspekte dieser Arbeit sind in einzelnen Kapiteln mit eigener Gliederung zusammengefasst. Dies erschien sinnvoll, um das Datenmaterial übersichtlich darzustellen. Zunächst sollen die Untersuchungen zur Trachtnutzung verschiedener *Tilia*-Arten durch Honigbienen und Hummeln vorgestellt werden. Dann folgen die Versuche zur Attraktivität verschiedener Raps- und Sonnenblumensorten und zur Trachtnutzung im Winterraps. Den Abschluss bilden die Versuche zum Pollensammelverhalten der Honigbiene im Flugraum.

2. Unterschiede in der Trachtnutzung verschiedener *Tilia*-Arten durch Hummeln (*Bombus spec.*) und Honigbienen (*Apis mellifera* L.)

2.1 Einleitung

Linden (*Tilia spec.*) sind in Nordwesteuropa eine wichtige Nahrungsquelle für nektarsammelnde Insekten im Spätsommer (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Die Bäume stellen auf Grund der Vielzahl an Blüten eine letzte große Massentracht dar, die von vielen Insekten genutzt wird. Die Blüten der Linden sind in einer Trugdolde angeordnet, deren Stiel mit einem Hochblatt verwachsen ist. Dieses dient dem Fruchtstand später als Flugorgan. Lindenblüten sind auf Grund von Proterandrie und Selbstinkompatibilität auf Insekten als Bestäuber angewiesen (ANDERSON 1976).

In Mitteleuropa sind Sommerlinde (*Tilia platyphyllos* MILL.) und Winterlinde (*Tilia cordata* SCOP.) endemisch (GODET 1987). Die spätblühenden Silberlinden (*Tilia tomentosa* MOENCH) und Krimlinden (*Tilia x euclora* KOCH) stammen ursprünglich aus Südosteuropa und werden seit Ende des 18. Jahrhunderts in Mitteleuropa angepflanzt (GODET 1987). *T. tomentosa* und *Tilia x euclora* werden bevorzugt im urbanen Bereich angepflanzt, da sie als sehr widerstandsfähig gegen Versiegelung und Luftverschmutzung gelten (POKORNY 1986). Die Lindenblüte beginnt mit der Sommerlinde Mitte Juni. Die Winterlinde blüht Ende Juni und mit den Krim- und Silberlinden endet die etwa sechswöchige Lindenblüte Ende Juli.

Zahlreiche Autoren (MAURIZIO 1943, GEISSLER und STECHE 1962, CRANE 1977, MADEL 1977, PINSDORF 1989, MÜHLEN et al. 1992, BAAL et al. 1994) berichten von einem Bienensterben unter den spätblühenden Silber- und Krimlinden. Bereits in den 40er Jahren wurden giftige Inhaltsstoffe im Nektar spätblühender Linden vermutet. MAURIZIO untersuchte 1943 die Toxizität von Lindenextrakten für Honigbienen im Labor und konnte zeigen, dass Bienen bei Fütterung mit Lindenextrakten früher starben als solche, die mit reiner Zuckerlösung gefüttert wurden. Auch GEISSLER und STECHE (1962) erstellten Extrakte aus Lindenblüten, fraktionierten diese und verfütterten die glykosidhaltige Fraktion in einer Saccharoselösung. Die Mortalität war im Vergleich zur Kontrolle (Fütterung mit reiner Saccharoselösung) höher. Der bienengiftige Zucker Rhamnose wurde ebenfalls in einem Gemisch mit Saccharose gefüttert und führte zu einer ähnlich hohen Mortalität wie das Extraktionsgemisch. Auf Grund dieser Ergebnisse vermuteten die Autoren einen bienengiftigen Zucker im Nektar der Linden. Allerdings konnte bei der chromatographischen Analyse des Nektars kein bekannter bienengiftiger Zucker nachgewiesen werden.

MADEL (1977) vermutete ebenfalls einen bienengiftigen Zucker im Nektar der Silberlinde. Er führte papierchromatographische Untersuchungen durch und vermutete Mannose im Lindennektar, welche für Bienen giftig ist (v. FRISCH 1930, STAUDENMEYER 1939, SOLS et al. 1960). Mannose unterscheidet sich nur geringfügig von der Glucose (Epimere am C2-Atom, STRYER 1994). Die Verdauungsenzyme der Bienen können Mannose nicht umsetzen und die Tiere verhungern mit vollem Magen. Untersuchungen von BAAL et al. (1992) und DENKER et al. (1992) zeigten jedoch, dass weder

im Nektar der Silberlinde noch im Nektar der Krimlinde Mannose oder andere toxische Mono- oder Disaccharide enthalten sind.

MÜHLEN et al. (1992) analysierten 1990 und 1991 das Artenspektrum der unter verschiedenen spätblühenden Linden aufgefundenen Insekten. Hummeln bildeten mit 87 % den größten Anteil unter den 3505 Tieren. Honigbienen stellten mit etwa 12 % einen deutlich geringeren Anteil dar und weniger als 1 % der toten Tiere konnten anderen Arten (Schwebfliegen, Wespen) zugeordnet werden. Ermattete Hummeln, die unter den Baumkronen der Silberlinden aufgesammelt wurden, zeigten eine geringe Kohlenhydratkonzentration in der Hämolymphe und erholten sich nach Fütterung mit Zuckerlösung (BAAL 1993). Die Tiere verhungern, obwohl Silberlinden mit 30,5 mg Nektar je 10 Blüten und einer Zuckerkonzentration von 25,9 % (MAURIZIO und SCHAPER 1994) äußerst attraktive Trachtpflanzen sind. Auch zeigten Fütterungsversuche mit Hummeln im Labor, dass Silberlindennektar im Vergleich mit Zuckerlösungen zu keinen negativen Effekten führte. Dies steht im Widerspruch zu den Fütterungsexperimenten mit Honigbienen von MAURIZIO (1943) sowie GEISSLER und STECHE (1962). Allerdings wurden bei diesen Experimenten Extrakte vollständiger Lindenblüten verwendet, welche in Zuckerlösung angeboten wurden.

PINSdorf wies 1989 darauf hin, dass auch der natürliche Zusammenbruch der einjährigen Hummelvölker im Spätsommer das Hummelsterben unter den Linden erklären könnte. MÜHLEN et al. (1992 und 1994) zeigten jedoch, dass Hummelvölker auch noch nach der Blüte der Linden existieren. Gegen die Hypothese von Pinsdorf spricht auch die Tatsache, dass in den Aufsammlungen der toten Hummeln 85 % der Tiere der mittleren Altersklasse zugeordnet werden konnten.

Auch Prädatoren wie Wespen und Vögel scheiden als primäre Ursache für das Massensterben der Hummeln aus, da nur bereits ermattete Tiere angegriffen werden (SURHOLT et al. 1992). SURHOLT und BAAL (1995) verfolgten den Nahrungseintrag und die Sammelaktivität von Hummelvölkern während der Vegetationsperiode im botanischen Garten in Münster. Gleichzeitig analysierten sie die Nahrungsressourcen für nektarsammelnde Insekten im Flugradius der Völker. Sie registrierten mit Beginn der Silberlindenblüte im Juli eine deutliche Abnahme insektenblütiger Pflanzen und einen geringen Nahrungseintrag im Hummelvolk trotz hoher Sammelaktivität. Das Hummelsterben unter den spätblühenden Linden wurde von SURHOLT und BAAL auf diesen Nahrungsengpass zurückgeführt.

Die vorliegenden Untersuchungen belegen, dass unter spätblühenden Silberlinden Hummeln verhungern, obwohl der Baum große Mengen Nektar produziert, welcher für Hummeln nicht giftig ist. Weder Prädatoren noch der natürliche Zusammenbruch der Hummelvölker kommen als Ursache für das Hummelsterben in Frage. Zur Zeit der Silberlindenblüte ist das Trachtangebot gering und es gibt nur wenige alternative Nektarquellen. Die Silberlinde wird sowohl von Honigbienen als auch Hummeln intensiv beflogen, aber es finden sich weniger tote Honigbienen unter den Bäumen als Hummeln.

Die deutlich geringere Anzahl toter Honigbienen im Vergleich zu Hummeln ist auffällig. MÜHLEN et al. (1992) konnten mehr als 90 % der toten Hummeln dem *Bombus terrestris* Typus zuordnen. Hummeln bilden einjährige Staaten, und die Nester von unterirdisch nistenden Arten wie *Bombus terrestris* können im Juli eine Größe von 300 bis 400 Tieren erreichen (WESTRICH 1990). Honigbienen hingegen bilden mehrjährige Staaten, die im Juli bis zu 30.000 Individuen zählen können (SEELEY 1997). Linden werden häufig von Imkern als Massentracht genutzt. Auch bei der von MÜHLEN et al. 1992 durchgeführten Untersuchung befanden sich mehrere Bienenstände in der Nähe der beobachteten Bäume und die Bäume wurden auch von Honigbienen befliegen. Die geringe Anzahl toter Honigbienen ist deshalb nicht auf fehlende Sammlerinnen zurückzuführen.

SURHOLT et al. (1995) formulierten die Hypothese, dass der Nahrungsengpass am Ende der Vegetationsperiode alle blütenbesuchenden Insekten an die spätblühenden Silberlinden führt, dort jedoch für die Hummeln nicht genügend Nahrung zur Verfügung steht. Die Vorräte der einjährigen Hummelvölker reichen nur für wenige Tage, die der Honigbienen jedoch für mehrere Monate.

Linden sezernieren die größte Nektarmenge vormittags zwischen 6:00 und 8:00 Uhr, sowie eine kleinere Nektarmenge nachmittags zwischen 16:00 und 18:00 Uhr (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Die proteandrischen Blüten durchlaufen zunächst eine ein- bis zweitägige männliche Phase und anschließend eine vier- bis achttägige weibliche Phase. Während der weiblichen Phase sezernieren die Blüten mehr Nektar mit höherer Zuckerkonzentration als in der männlichen Phase (MAURIZIO und SCHAPER 1994).

Die Honigbienen verfügen mit der Tanzsprache und dem Orts- und Zeitgedächtnis (v. FRISCH 1965) über sehr effektive Möglichkeiten, Massentrachten auszubeuten. Es ist denkbar, dass die Honigbiene die Silberlinde zum Zeitpunkt der Nektarsekretion absammelt und für die Hummeln nicht genügend Nektar übrigbleibt. Da alternative Nahrungsquellen während der Silberlindenblüte fehlen und der Baum weiterhin attraktiv duftet, befliegen die Hummeln den Baum bis zur Erschöpfung. Zur Blütezeit der frühblühenden Linden sind genügend Nektarquellen für alle blütenbesuchenden Insekten vorhanden, so dass erst zur Silberlindenblüte eine Konkurrenz zwischen Honigbiene und Hummel entsteht.

Ziel dieser Arbeit war es, das Sammelverhalten von Hummeln und Honigbienen an früh- und spätblühenden Linden zu vergleichen. Die Bäume wurden während der gesamten Blühphase im Tagesgang beobachtet. Es wurde die Sammelaktivität von Hummeln und Bienen sowie die Anzahl toter Tiere unter den Baumkronen und die Nektarverfügbarkeit registriert.

2.2 Material und Methode

Im Untersuchungsjahr 2000 wurden fünf Linden in Münster (Westfalen) beobachtet. Es wurden zwei Sommerlinden (*Tilia platyphyllos* MILL), eine Winterlinde (*Tilia cordata* SCOP) und zwei Silberlinden (*Tilia tomentosa* MOENCH) in der Grünanlage an der Promenade / Ecke Kanalstraße (siehe Abb. 1) untersucht. In Tab. 1 sind Angaben zu Standort, Alter und Größe der Bäume zusammengefasst.

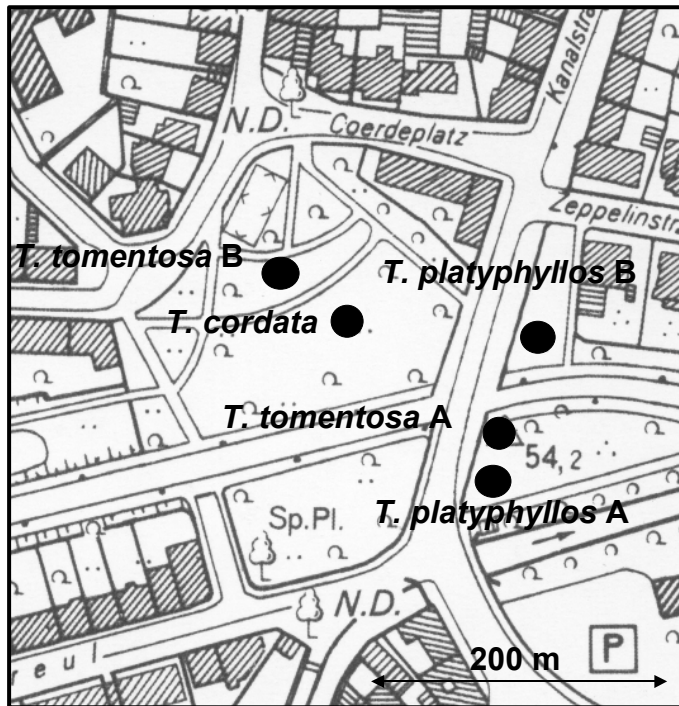


Abb. 1: Standort der untersuchten Linden im Stadtgebiet Münster (Quelle: Deutsche Grundkarte 1:5000, Ausgabe 1996, Stadt Münster, Vermessungs- und Katasteramt; verändert)

Die Datenaufnahme erfolgte vom 06.06. bis zum 14.07.2000 täglich in zweistündigen Intervallen von 6:00 Uhr morgens bis 18:00 Uhr abends (MEZ). Bei jeder der sieben Datenaufnahme wurden die folgenden Parameter aufgenommen.

Sammelaktivität blütenbesuchender Insekten: Die Sammelaktivität wurde an jedem Baum an jeweils drei festgelegten Beobachtungsflächen von einem Quadratmeter Größe aufgenommen. Die Beobachtungsflächen befanden sich in fünf Meter Höhe und wiesen in verschiedene Himmelsrichtungen. Die Beobachtung erfolgte mit Hilfe eines Fernglases (CANON Lichtstärke x Vergrößerung: 10 x 40). Das benutzte Glas verfügt über einen Bildstabilisator, welcher es ermöglicht, blütenbesuchende Insekten auf eine Entfernung von 5 bis 8 m zu identifizieren und zahlenmäßig zu erfassen. Erfasst wurde die Anzahl an Honigbienen und Hummeln sowie anderer blütenbesuchender Insekten (Schwebfliegen, Schmetterlinge etc.).

Aufsammlung und Bestimmung der toten Tiere: Es wurden alle toten Insekten aufgesammelt, die unterhalb der Baumkronen lagen. Die Tiere wurden eingefroren, Art und Kaste später im Labor bestimmt. Die Bestimmung der Hummeln erfolgte nach dem „Bestimmungsschlüssel für Hummeln“ von MAUS (1994). Da viele der Tiere Fraßspuren aufwiesen, war es nicht immer möglich, Art und Kaste eindeutig zu bestimmen.

Entwicklungszustand und Nektarverfügbarkeit der Blüten: Die Blühphase der Linden wurde anhand des Entwicklungszustandes der Blüten protokolliert. Zu jeder Messung wurden jeweils fünf Dolden abgeschnitten und die Anzahl der Blüten je Dolde und ihr Entwicklungszustand aufgenommen. Der Entwicklungszustand der Blüten wurde in die Kategorien „Knospe“, „männlich“, „weiblich“, „verblüht“ oder „Frucht“ eingeteilt (siehe Abb. 2).

Der Nektar wurde mit Mikrokapilletten (5µl-Kapilletten mit Ringmarke) pipettiert. Es wurde die Nektarmenge und die Anzahl nektarführender Blüten je Dolde protokolliert. Die Proben wurden beschriftet und eingefroren. Hier muss darauf hingewiesen werden, dass die Nektarverfügbarkeit gemessen wurde, nicht die Nektarsekretion. Verdunstung und Verlust durch blütenbesuchende Insekten verringern die sezernierte Nektarmenge.

Die Analyse der im Nektar enthaltenen Zucker (HPLC-Saccharidanalyse) wurde am Niedersächsischen Landesinstitut für Bienenkunde von Herrn Dr. von der Ohe durchgeführt.

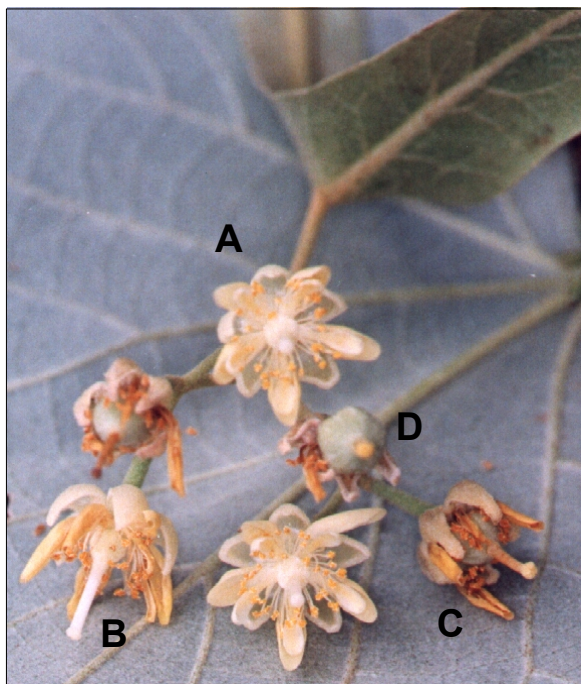


Abb. 2: Entwicklungsstadien der Lindenblüten: A = männliches Stadium, B = weibliches Stadium, C = verblüht, D = Frucht

2.3 Ergebnisse

Die Blühphasen der Linden waren sehr unterschiedlich (siehe Tab. 1). Die Blüte der Silberlinden dauerte fast doppelt so lang wie die der anderen Lindenarten. Die Beobachtung wurde beendet, wenn mehr als 80 % der Blüten als Frucht bewertet wurden. Die kurzen Blühphasen der Sommer- und Winterlinden sind vermutlich auf die Witterung zurückzuführen. Die mittlere Tagestemperatur war während der Sommer- und Winterlindenblüte mit 14,9 °C fast vier Grad niedriger im Vergleich zur Silberlindenblüte (19,6 °C).

Tab. 1: Alter, Größe und Beobachtungszeiträume der untersuchten Linden.

Linden	<i>Tilia platyphyllos</i> A	<i>Tilia platyphyllos</i> B	<i>Tilia cordata</i>	<i>Tilia tomentosa</i> A	<i>Tilia tomentosa</i> B
Höhe [m]	24	26	22	19	21
Stammumfang [m] in 1,5 m Höhe	2,3	3,2	2,4	1,6	2,5
Alter [Jahre]	60 – 70	> 70	60 – 70	> 50	60 – 70
Beobachtungszeitraum	06.06-15.06	06.06-14.06	12.06-22.06	22.06-14.07	26.06-14.07
Beobachtungstage	10	9	11	20	19
mittlere Blütenzahl je Dolde	3,3	3,5	7,3	4,3	5,5
Nektarverfügbarkeit [µl] (Summe alle Messungen)	222,3	399,2	108,2	459,8	847,1
Nektarverfügbarkeit [µl] je nektarführender Blüte Mittelwert ± Standardabweichung	0,55 ± 0,29	0,49 ± 0,20	0,32 ± 0,18	0,64 ± 0,48	0,83 ± 0,75
Anzahl beobachteter Honigbienen	30	155	308	322	133
Anzahl beobachteter Hummeln	157	133	11	361	89
Anzahl anderer blütenbesuchender Insekten	89	66	100	85	115
Anzahl toter Honigbienen	8	1	2	148	136
Anzahl toter Hummeln	16	15	8	1122	531

Alle untersuchten Linden produzierten Nektar, jedoch gab es große Schwankungen zwischen den einzelnen Bäumen und innerhalb der Blühphasen. Die Nektarverfügbarkeit war bei *T. cordata* mit 108,2 µl in 11 Tagen am geringsten und bei *T. tomentosa* B mit 847,1 µl in 19 Tagen am höchsten. Mannose konnte in keiner der Nektarproben nachgewiesen werden. Neben den Hauptzuckern Fructose und Glucose wurden Saccharose, Kojibiose und Isomaltose bestimmt. Das Zuckerspektrum der untersuchten Linden entspricht dem früherer Untersuchungen von DENKER et al. (1992).

Die Linden unterscheiden sich in der Anzahl der Blüten je Dolde (siehe Tab. 1). Die Sommerlinden bilden etwa drei Blüten je Dolde aus, die Silberlinden vier bis fünf und die Winterlinde sieben und mehr Blüten je Dolde. Die Blüten der Winterlinde sind etwas kleiner als die der anderen Linden.

Lediglich unter den Silberlinden wurde eine größere Anzahl toter Insekten gefunden (zusammen 1997 Tiere). Unter den Baumkronen der anderen Linden wurden insgesamt nur 50 Tiere aufgesammelt. Die Anzahl toter Hummeln (1653) war deutlich höher als die toter Honigbienen (284 Tiere). Unter den toten Hummeln waren alle Kasten vertreten (56 % Arbeiterinnen, 27 % Drohnen, 3 % Königinnen, 14 % auf Grund von Fraßspuren nicht bestimmbar). Mehr als 80 % der toten Hummeln konnten dem *Bombus terrestris* Typus zugeordnet werden. Neben Hummeln und Honigbienen wurden nur wenige andere Insekten gefunden (zusammen 7 Tiere, *Vespula spec.*).

Die Ergebnisse der Beobachtungen zur Sammelaktivität sind in Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5 dargestellt. Es gibt deutliche Unterschiede zwischen den Sommerlinden und der Winterlinde. Die Winterlinde wurde deutlich intensiver von Honigbienen befliegen (308 Tiere) als von Hummeln (11 Tiere). Die Sommerlinden wurden intensiv von Hummeln befliegen, allerdings wurden bei der Sommerlinde A nur insgesamt 30 Honigbienen gezählt. Honigbienen und Hummeln haben intensiv an den Silberlinden gesammelt. Der Anteil an Hummeln war an der Silberlinde B mit 89 Tieren geringer als der von Honigbienen mit 115.

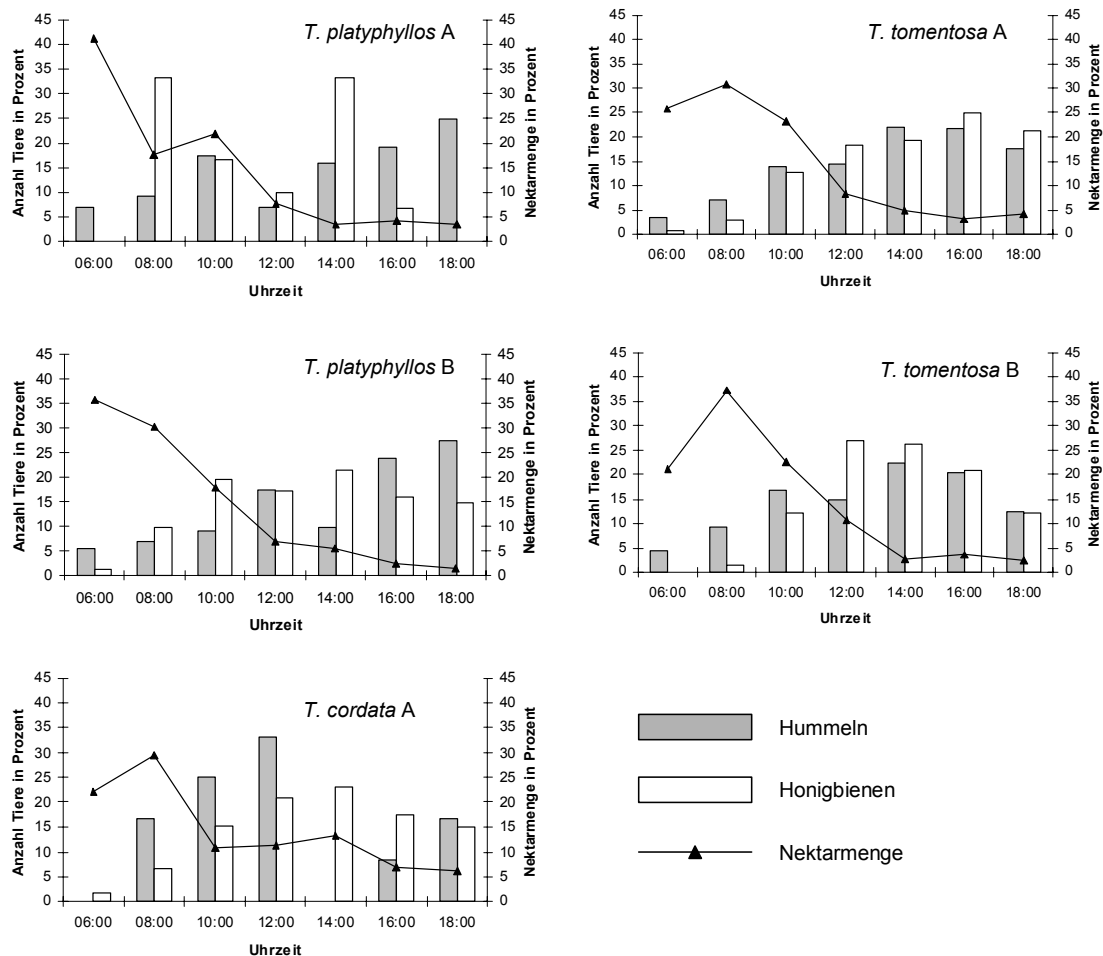


Abb. 3: Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit im Tagesgang. Dargestellt sind die Sammelaktivität von Honigbienen und Hummeln an den untersuchten Linden sowie die Nektarverfügbarkeit. Die Prozentwerte wurden aus der gesamten Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit berechnet (siehe Tab. 1).

Es gibt keine positive Korrelation zwischen Nektarverfügbarkeit und Sammelaktivität von Hummeln und Honigbienen im Tagesgang (siehe Abb. 3 und Tab. 2). Für die Silberlinde A konnte eine negative Korrelation belegt werden. Die Sammelaktivität von Hummeln und Honigbienen nimmt mit abnehmender Nektarverfügbarkeit zu.

Die Korrelation von Nektarverfügbarkeit und Sammelaktivität innerhalb der Blühphase zeigt deutliche Unterschiede zwischen Honigbienen und Hummeln (siehe Abb. 4, Abb. 5 und Tab. 2). Die Sammelaktivität der Honigbiene korreliert bei der Winterlinde und den beiden Silberlinden signifikant mit der Nektarverfügbarkeit. Honigbienen befliegen diese Linden vermehrt an Tagen mit hoher Nektarverfügbarkeit. Für die Sommerlinden konnte keine positive Korrelation berechnet werden, allerdings wurden an der Sommerlinde A nur insgesamt 30 Tiere beobachtet. Eine Korrelation zwischen Nektarverfügbarkeit und Sammelaktivität der Hummeln zeigte für keine Linde ein positives signifikantes Ergebnis (siehe Tab. 2).

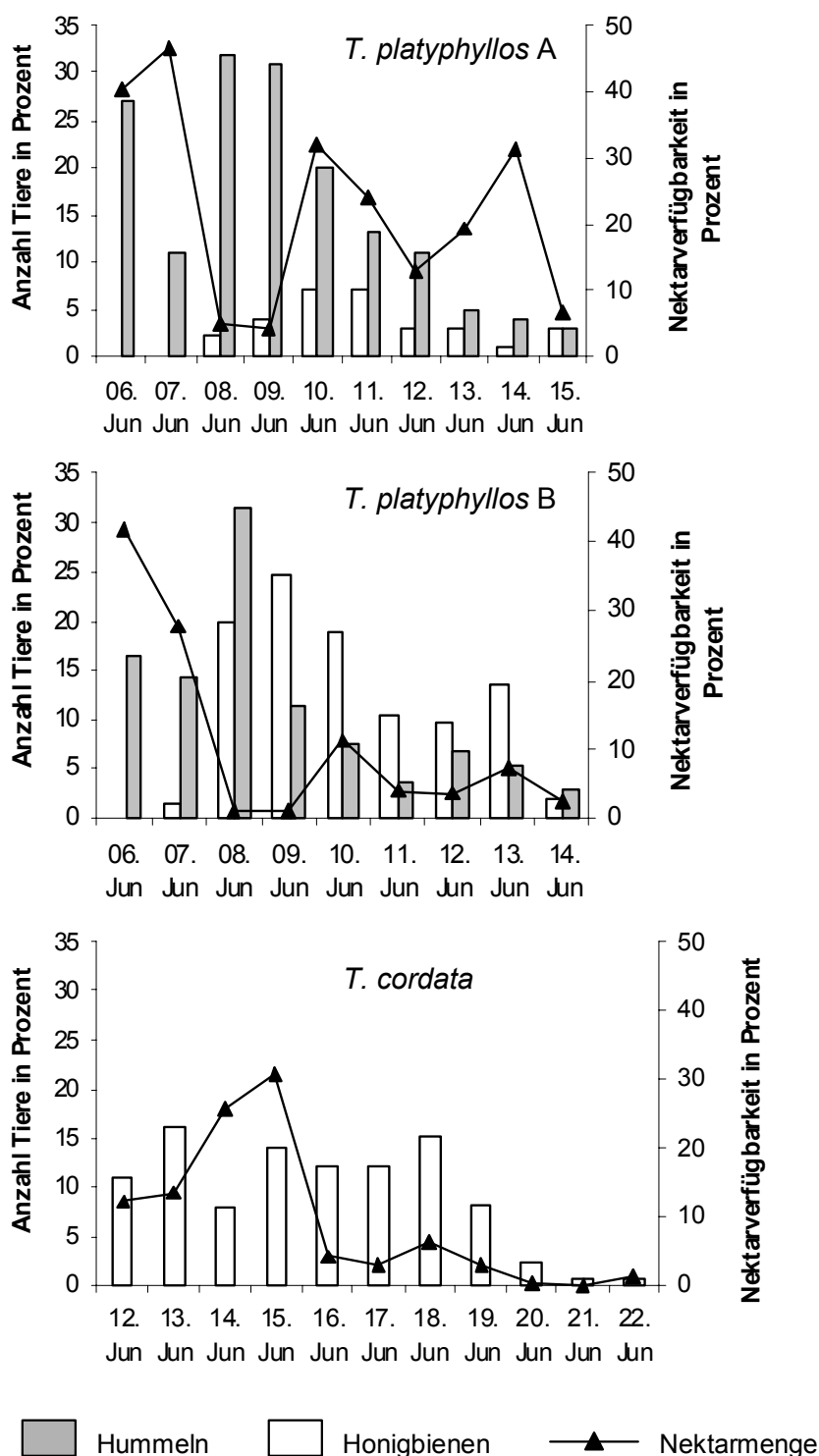


Abb. 4: Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit während der Blühphase von *T. platyphyllos* und *T. cordata*. Dargestellt sind die Tageswerte zur Sammelaktivität von Honigbienen und Hummeln sowie die Nektarverfügbarkeit in Prozent. Die Prozentwerte wurden aus der gesamten Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit berechnet (siehe Tab. 1). Auf die Darstellung der Hummeln wurde bei *T. cordata* auf Grund der geringen Sammelaktivität verzichtet.

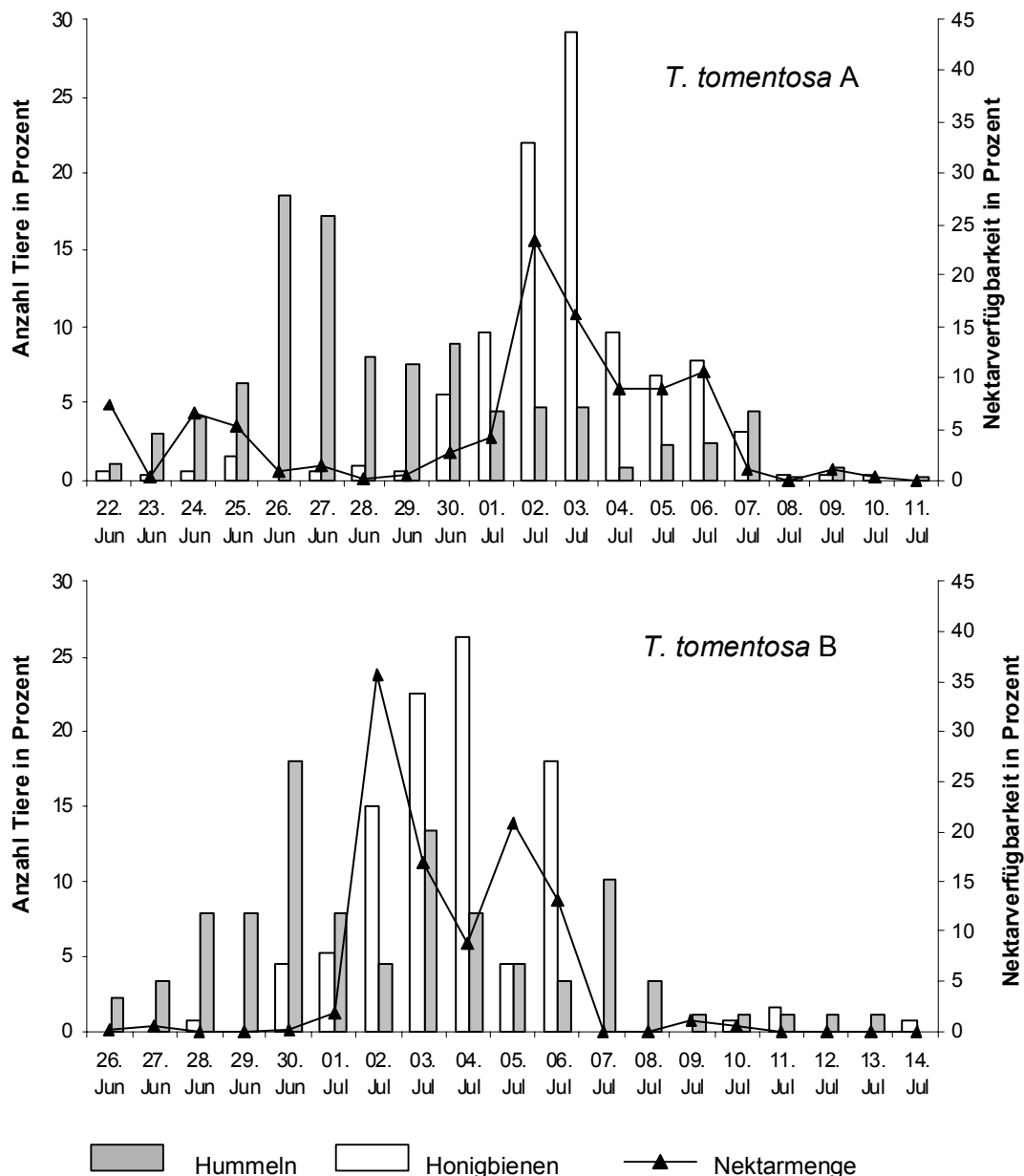


Abb. 5: Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit während der Blühphase der Silberlinden. Dargestellt sind die Tageswerte zur Sammelaktivität von Honigbienen und Hummeln sowie die Nektarverfügbarkeit in Prozent. Die Prozentwerte wurden aus der gesamten Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit berechnet (siehe Tab. 1).

Honigbienen sammeln an den Silberlinden nur an Tagen mit hoher Nektarverfügbarkeit und an diesen Tagen ist auch die Anzahl toter Honigbienen am höchsten (siehe Abb. 6). Die Sammelaktivität der Hummeln ist zu Beginn der Silberlindenblüte besonders hoch, die Mortalität jedoch am Ende der Blühphase, wenn nur noch wenige Hummeln den Baum befliegen. Wenn es sich bei den toten Tieren unter dem Baum um erschöpfte Sammlerinnen handelt, dann sterben am Ende der Blühphase (7.-10. Juli) mehr Hummeln während des Sammelfluges an der Silberlinde als zu Beginn der Blühphase.

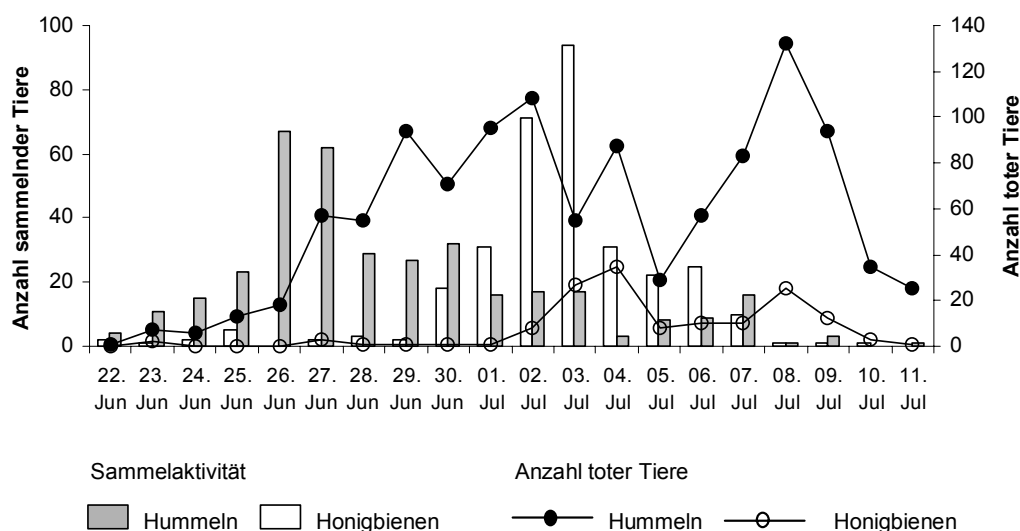


Abb. 6: Sammelaktivität und Anzahl toter Tiere während der Blühphase der Silberlinde A. Dargestellt sind die Tageswerte (siehe Tab. 1).

Tab. 2: Statistische Analyse der Korrelation zwischen Nektarverfügbarkeit und Sammelaktivität innerhalb der Blühphase und des Tagesgangs auf Basis der absoluten Daten. Dargestellt sind der Korrelationskoeffizient r (Spearman-Rho) und das Signifikanzniveau α (zweiseitig). Grau hinterlegte Flächen markieren signifikante Ergebnisse.

Linden	Korrelation während der Blühphase (Tagesdaten)				
	n	Hummeln		Honigbienen	
		r	α	r	α
<i>T. platyphyllos</i> A	10	-0,176	0,626	-0,395	0,258
<i>T. platyphyllos</i> B	9	0,100	0,798	-0,650	0,058
<i>T. cordata</i>	11	0,296	0,377	0,658	0,028
<i>T. tomentosa</i> A	20	0,133	0,578	0,800	0,000
<i>T. tomentosa</i> B	19	0,308	0,199	0,651	0,003
	Korrelation im Tagesgang (Intervalldaten 6:00-18:00)				
	n	Hummeln		Honigbienen	
		r	α	r	α
<i>T. platyphyllos</i> A	7	-0,631	0,129	0,018	0,969
<i>T. platyphyllos</i> B	7	-0,273	0,554	-0,286	0,535
<i>T. cordata</i>	7	-0,273	0,554	-0,286	0,535
<i>T. tomentosa</i> A	7	-0,857	0,014	-0,964	0,000
<i>T. tomentosa</i> B	7	-0,429	0,337	-0,487	0,268

2.4 Diskussion

Die vorliegenden Daten zeigen Unterschiede im Sammelverhalten von Honigbienen und Hummeln an Linden, besonders an der spätblühenden Silberlinde.

Die Hypothese, dass Honigbienen die Linden im Tagesverlauf zum Zeitpunkt der Nektarsekretion abernten, konnte nicht bestätigt werden. Die Sammelaktivität der Honigbienen korreliert bei keiner Linde positiv mit der Nektarverfügbarkeit im Tagesgang. Honigbienen und Hummeln beginnen erst nach der maximalen Nektarverfügbarkeit (6:00 bis 8:00 Uhr) intensiv an den Linden zu sammeln (siehe Abb. 3).

In der Blühphase gibt es im Gegensatz zum Tagesgang deutliche Unterschiede im Sammelverhalten zwischen Honigbienen und Hummeln. Honigbienen sammeln nur an Tagen mit hoher Nektarverfügbarkeit. Dies lässt sich für die Winterlinde und die Silberlinden signifikant absichern (siehe Tab. 2). Honigbienen sind offensichtlich in der Lage, die Qualität der Linden als Nektarquelle zu bewerten. Sie besuchen die Bäume nur dann, wenn das Risiko und die Kosten für einen Sammelflug durch den Eintrag energiereichen Nektars ausgeglichen werden. SCHMIDT-HEMPEL (1987a und b) konnte zeigen, dass die einzelne Honigbiene Faktoren wie Nektarmenge, Zuckerkonzentration des Nektars und Blütendichte im Sammelverhalten berücksichtigt und während eines Sammelfluges eine maximale Energieausbeute anstrebt.

Die Anzahl toter Honigbienen ist unter den Silberlinden höher als unter den anderen Linden (siehe Tab. 1), dennoch deutlich geringer als die Anzahl toter Hummeln. Diese Ergebnisse entsprechen den Daten von MÜHLEN et al. (1992). Tote Honigbienen werden besonders an Tagen mit hoher Sammelaktivität unter den Baumkronen gefunden. Dies deutet darauf hin, dass es sich bei den toten Arbeiterinnen um Sammlerinnen handelt, die während des Sammelfluges starben. Inwieweit es sich bei diesen Tieren um den normalen Verlust von Sammlerinnen während der Tracht handelt, ist schwer zu beurteilen. Honigbienenenvölker verlieren im Spätsommer täglich mehrere hundert Sammlerinnen (MOOSBECKHOFER und BRETSCHKO 1982). In Massentrachten sind Sammlerinnen bereits nach wenigen Tagen „abgeflogen“, d. h. ihre Flügel sind eingeregnet, ihre Flugfähigkeit eingeschränkt und sie sind für das Volk verloren.

Im Gegensatz dazu korreliert die Sammelaktivität der Hummeln bei keiner Linde mit der Nektarverfügbarkeit innerhalb der Blühphase. Die Tiere sammeln an der Silberlinde bereits zu Beginn der Blühphase, wenn nur wenig Nektar zur Verfügung steht (siehe Abb. 5). Während der gesamten Blühphase sterben Hummeln unter den Silberlinden. Besonders auffällig ist die hohe Anzahl toter Tiere bei starker Abnahme der Sammelaktivität am Ende der Blühphase (siehe Abb. 6). Der Anteil Hummeln, der während eines Sammelfluges an der Silberlinde stirbt, nimmt somit am Ende der Silberlindenblüte deutlich zu.

Honigbienen nutzen die Silberlinden nur an Tagen mit hoher Nektarverfügbarkeit. Hummeln befliegen den Baum bereits zu Beginn der Blüte intensiv und sammeln auch dann noch am Baum, wenn nur noch wenig Nektar zur Verfügung steht. Diese Unterschiede in der Trachtnutzung lassen zunächst vermuten, dass die Honigbiene

besser an ihren Lebensraum angepasst ist und Trachtquellen effektiver ausbeuten kann als die Hummel.

Die Effektivität der Honigbiene beruht nicht nur auf den Fähigkeiten der einzelnen Sammlerin, sondern auch auf der Fähigkeit, über die Tanzsprache Stockgenossen zu rekrutieren und über die Lage attraktiver Trachtquellen zu informieren (v. FRISCH 1965 und SEELEY 1997). Die Honigbiene muss große Vorräte für die Überwinterung anlegen. Sie nutzt durch eine Vielzahl an Sammlerinnen Trachtquellen effektiv. Verringert sich das Trachtangebot, ist die Honigbiene in der Lage, auf eingelagerte Vorräte zurückzugreifen. Dauert die Trachtarmut an, schränkt die Honigbiene ihr Brutgeschäft ein, um den Futterverbrauch zu verringern (MOOSBECKHOFFER und BRETSCHKO 1982).

Hummeln verfügen nicht über ein solches hochentwickeltes Kommunikationssystem. Es gibt allerdings Hinweise, dass auch Hummeln Nestgenossen zum Sammeln motivieren können (DORNHAUS und CHITTKA 2004). Hummeln bilden im Gegensatz zur Honigbiene einjährige Staaten, die keine Vorräte für die Überwinterung benötigen, da nur die begatteten Jungköniginnen überwintern (HEINRICH 1979a). Der eingetragene Nektar- und Pollen wird sehr schnell in die Aufzucht der Brut umgesetzt, da eine große Individuenzahl und die Erzeugung zahlreicher Geschlechtstiere die Fortpflanzung der Kolonie ermöglicht (HEINRICH 1979a). Die geringen Vorräte der Hummelvölker, die der Überbrückung von Schlechtwetterperioden dienen, sind im Spätsommer bei anhaltender Trachtarmut sehr schnell verbraucht. Die Tiere sind gezwungen, Nahrung zu sammeln und sie müssen das Nest verlassen.

SURHOLT und BAAL (1995) erklären das Hummelsterben mit der Abnahme insektenblütiger Pflanzen im Spätsommer, insbesondere im urbanen Bereich. Sie konnten zeigen, dass der Nahrungseintrag in ein Hummelvolk während der Silberlindenblüte trotz hoher Sammelaktivität und Nektarverfügbarkeit der besuchten Bäume stetig abnahm. Sie führten dies auf eine wachsende Konkurrenz um Nahrung am Baum bei gleichzeitiger Abnahme alternativer Nahrungsquellen zurück.

Denkbar ist auch eine „Blütenstetigkeit“ der Hummeln, die nach einer sechswöchigen Lindenblüte den Tieren einen Wechsel auf andere Trachtpflanzen erschwert. Hummeln besuchen, abgesehen von wenigen spezialisierten Arten, auf ihren ersten Sammelflügen sehr viele verschiedene Blütentypen und entscheiden sich dann für wenige, besonders ergiebige Blütentypen (HEINRICH 1976 und 1979b). Diese Blütenstetigkeit ist vorteilhaft, wenn die Bedienung einer komplexen Blüte während mehrerer Besuche erlernt werden muss. Die Blütenstetigkeit ist jedoch nicht dauerhaft. Die Tiere sind in der Lage, die Abnahme der Blütendichte und die damit verbundene geringere Ausbeute je Sammelflug zu bewerten. Die Sammlerinnen fliegen dann erneut verschiedene Blütentypen an, um eine neue ergiebige Hauptpflanze zu finden (HEINRICH 1976 und 1979b). Wenn wenige Trachtquellen zur Verfügung stehen, ist es möglich, dass Sammlerinnen erneut an der oft noch intensiv duftenden Silberlinde nach Nahrung suchen. Der Baum produziert jedoch keinen Nektar mehr und die Tiere verhungern. Dies würde die hohe Anzahl toter Tiere am Ende der Blühphase bei geringer Sammelaktivität erklären.

Den zuvor erläuterten Erklärungsansätzen wird durch Berichte von ZUCCHI (1996) widersprochen, der auch in einem naturnahen Garten mit alternativen Nektarquellen ein Hummelsterben unter Silberlinden dokumentieren konnte. Ist der Nahrungsengpass im Spätsommer die alleinige Ursache für das Hummelsterben, dann sollte das Phänomen bei Anwesenheit alternativer Trachtquellen in abgeschwächter Form auftreten. Dies ist offensichtlich nicht der Fall. Da auf Grund der vorliegenden Daten eine Konkurrenz zwischen Honigbiene und Hummel im Tagesgang ausgeschlossen werden kann, stellt sich die Frage, welche weiteren Ursachen es für das Hummelsterben geben kann.

Die Silberlinde blüht am Ende der Vegetationsperiode und für die Fruchtbildung und -reife steht nur wenig Zeit zur Verfügung. Eine schnelle und ausreichende Bestäubung ist daher für den Baum wichtig. Die große Menge energiereichen Nektars lockt viele Bestäuber an den Baum. Allerdings ist die Nektarproduktion durch Klima, Bodenverhältnisse und Nährstoffversorgung Schwankungen unterworfen (MAURIZIO und SCHAPER 1994).

Es ist möglich, dass die spätblühenden Linden einen weiteren Mechanismus entwickelt haben, Bestäuber anzulocken. Linden produzieren einen sehr intensiven Blütenduft. Es ist denkbar, dass dieser Blütenduft Hummeln an den Baum bindet. Grund für die Bindung könnte die Intensität oder die Zusammensetzung des Duftbouquets sein. Attraktive Bestandteile im Duftbouquet müssten vermutlich geschlechtsunspezifisch wirken, da Arbeiterinnen, Drohnen und Jungköniginnen unter den toten Tieren vertreten sind. Eine Anlockung von Bestäubern durch Sexualpheromone, wie sie für viele Orchideenblüten beschrieben ist (BARTH 1982), liegt in diesem Fall wohl eher nicht vor.

Ein attraktiver Duft würde die hohe Sammelaktivität der Hummeln zu Beginn der Blühphase erklären, wenn nur wenig Nektar zur Verfügung steht. Auch die Sammelaktivität bis in die Abendstunden bei geringer Nektarverfügbarkeit ist so erklärbar. Ein für alle Kasten attraktiver Duft könnte dem Nestgeruch ähneln oder speziellen Duftmarken, wie sie bei der Markierung der Brut eingesetzt werden (HEINRICH 1974).

3. Einfluss von Sortenunterschieden in Sommerraps (*Brassica napus* L.) und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) auf das Sammelverhalten von Bienen

3.1 Einleitung

Zahlreiche landwirtschaftliche Kulturpflanzen sind attraktive Bienenweidepflanzen, die viel Pollen und Nektar bieten (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Neben Stein- und Kernobst sind dies in Deutschland vor allem Raps (*Brassica napus* L.), Klee (*Trifolium spec.*), Phacelia (*Phacelia tanacetifolia* BENTH.) und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.). Der Anbau von Bienenweidepflanzen in der Landwirtschaft ist für die Imkerei von großer Bedeutung. Bienenvölker, die in die Nähe dieser Flächen gebracht werden, können große Mengen Nektar eintragen, was die Ernte von Sortenhonigen ermöglicht (ZANDER und BÖTTCHER 1979).

Die Bedeutung ölhaltiger Kulturen hat in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen (SCHUSTER 1992). Tab. 3 gibt eine kurze Übersicht über die Zunahme der Produktion verschiedener Ölpflanzen. Die Förderung nachwachsender Rohstoffe führte in den letzten Jahren zu einer deutlichen Anbausteigerung von Raps und Sonnenblume (MANN 2001).

Tab. 3: Produktion an Früchten oder Samen in Millionen Tonnen von verschiedenen Ölpflanzen (Quelle: FAO 2004, verändert).

Kultur	weltweit					Europäische Union *				
	1965	1975	1985	1995	2004	1965	1975	1985	1995	2004
Raps	5,23	8,79	19,24	34,19	43,65	1,47	2,45	5,74	10,49	14,67
Sonnenblumen	7,99	9,87	18,86	26,26	26,21	0,11	0,74	3,45	4,24	4,32
Sojabohnen	31,70	64,25	101,16	126,98	206,41	<0,01	0,06	0,39	1,06	0,01
Oliven	7,05	9,91	9,88	10,34	15,34	5,46	7,31	7,54	7,53	10,33

* = Werte beziehen sich stets auf die heutigen 25 Mitglieder

Raps (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (METZG.) SINSK.) gehört zur Familie der Kreuzblüter (*Brassicaceae*) und ist vermutlich aus einer Kreuzung von Kohl (*Brassica oleraceae* L.) und Rübsen (*Brassica rapa* L.) hervorgegangen (BROUWER 1976). Im Vergleich zu anderen, jahrtausendealten Nutzpflanzen wie z. B. dem Weizen (*Triticum aestivum* L.), wird Raps erst seit Mitte des 14. Jahrhunderts angebaut (SCHUSTER 1992). Das aus den Körnern von Raps und Rübsen gewonnene „Rüböl“ diente als Brennstoff für Öllampen. Die zwittrige Rapsblüte bietet blütenbesuchenden Insekten bis zu 0,6 mg Nektar in 24 Stunden (MAURIZIO und SCHAPER 1994) und 0,3 mg Pollen (VON DER OHE et al. 1999).

Die Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) ist in der Familie der Korbblütler (*Asteraceae*) neben dem Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) die wichtigste landwirtschaftliche Kulturpflanze (SCHUSTER 1992). Anfang des 16. Jahrhunderts wurde die Sonnenblume von den Spaniern aus ihrer ursprünglichen Heimat Nordamerika nach Europa gebracht. Allerdings werden erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts Sonnenblumen zur Ölgewinnung in größerem Umfang angebaut. Die Nektarsekretion wird für die Sonnenblume mit 10 mg je 30 Blüten angegeben, die gesamte Pollenmenge je Blütenstand mit bis zu 236 mg (MAURIZIO und SCHAPER 1994).

Entscheidend beim Anbau ölhaltiger Kulturpflanzen ist nicht nur der absolute Ölgehalt, sondern auch der Anteil verschiedener Fettsäuren. Für die Nahrungsmittelindustrie werden hohe Anteile ungesättigter Fettsäuren gefordert. In vielen anderen Bereichen ist jedoch ein hoher Anteil einer bestimmten Fettsäure von Vorteil, da dies die weitere Verarbeitung vereinfacht (SCHUSTER 1992).

Die Pflanzenzucht hat dieser Entwicklung Rechnung getragen und eine Vielzahl an Sorten hervorgebracht. Der Begriff der Sorte ist nach dem Sortenschutzgesetz, Abschnitt 1, § 2 wie folgt definiert (RUTZ 1998):

„Sorte: eine Gesamtheit von Pflanzen oder Pflanzenteilen, soweit aus diesen wieder vollständige Pflanzen gewonnen werden können, innerhalb eines bestimmten Taxons der untersten bekannten Rangstufe, die, unabhängig davon, ob sie den Voraussetzungen für die Erteilung eines Sortenschutzes entspricht,

- a) durch die sich aus einem bestimmten Genotyp oder einer bestimmten Kombination von Genotypen ergebende Ausprägung der Merkmale definiert,
- b) von jeder anderen Gesamtheit von Pflanzen oder Pflanzenteilen durch die Ausprägung mindestens eines dieser Merkmale unterschieden und
- c) hinsichtlich ihrer Eignung, unverändert vermehrt zu werden, als Einheit angesehen werden kann.“

Die Vermutung, dass sich Sorten in Bezug auf ihre Nektarverfügbarkeit unterscheiden, konnte bereits für Raps und Sonnenblume belegt werden (PIERRE et al. 1999, HEDTKE 2000a). Sortenvergleiche sind jedoch schwierig, da neben den Sortenunterschieden Faktoren wie Standort (Boden und Klima) und Kulturführung (Bestandsdichte, Düngung und Pflanzenschutz) eine Rolle bei der Nektar- und Pollenproduktion spielen (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Bei Vergleich verschiedener Sorten müssen diese an einem Standort unter gleichen Bedingungen angebaut werden. Nur dann ist ein Vergleich von Nektar- und Pollenverfügbarkeit möglich.

Die Attraktivität einer Blüte für blütenbesuchende Insekten wird jedoch nicht nur durch die verfügbare Pollen- und Nektarmenge bestimmt, sondern auch durch den Blütenduft (v. FRISCH 1965, BARTH 1982). Für Raps konnten verschiedene volatile Bestandteile des Duftbouquets, die für die Wahrnehmung des Blütenduftes wichtig sind, bestimmt werden (LE MÉTAYER et al. 1993, PHAM-DÈLEGUE et al. 1993 und 1997). Sortenspezifische Unterschiede im Duftbouquet und die Wahrnehmung dieser Unterschiede durch Honigbienen konnten für verschiedene Sonnenblumensorten nachgewiesen werden (PHAM-DÈLEGUE et al. 1985 und 1991).

Die bisher durchgeführten Versuche zur Bestimmung von Sortenunterschieden in bezug auf ihre Attraktivität für Bienen berücksichtigen nur unzureichend das Sammelverhalten der Tiere. In einigen Untersuchungen wurde die Sammelaktivität von Honigbienen und anderen blütenbesuchenden Insekten in Form von Individuendichten aufgenommen. HEDTKE (2000a) hat die Anzahl Tiere je Blütenstand bei der Untersuchung verschiedener Sonnenblumensorten erfasst, PIERRE und RENARD (1999) die Anzahl Tiere je 1000 Blüten bei dem Vergleich verschiedener Rapsorten.

Die Aufnahme der Individuendichte gibt allerdings nur bedingt Aufschluss über die Attraktivität einer Sorte. Daneben sind auch das Verhalten der Tiere auf der Blüte, die Aufenthaltsdauer und die Anzahl besuchter Blüten je Zeiteinheit wichtige Aspekte des Sammelverhaltens von Bienen (HEINRICH 1979b, SCHMIDT-HEMPEL 1984).

Attraktive Trachtquellen werden von Honigbienen wiederholt besucht. Die Tiere verfügen über ein Orts- und Zeitgedächtnis, welches ihnen ermöglicht, sich die Lage einer Trachtquelle und den Zeitpunkt der Nektar- und Pollenverfügbarkeit zu merken (v. FRISCH 1965 und SEELEY 1997). Für den Vergleich des Sammelverhaltens auf verschiedenen Sorten an einem Standort müssen diese für Bienen räumlich differenzierbar sein, d. h. Sammlerinnen müssen zwischen den Parzellen unterscheiden können.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, verschiedene regional angebaute Sommer-raps- und Sonnenblumensorten auf ihre Attraktivität für blütenbesuchende Insekten, insbesondere Honigbienen zu untersuchen. Die Sorten wurden an einem Standort mit gleicher Kulturführung angebaut. Zur Bewertung der Attraktivität der Sorten wurde die Nektarverfügbarkeit, die Individuendichte und das Sammelverhalten der Bienen erfasst.

3.2 Material und Methode

Die Versuche wurden 2001 am Landwirtschaftszentrum „Haus Düsse“ der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen durchgeführt. „Haus Düsse“ liegt am Rand der Soester Börde. Die Ackerflächen mit Gley-Parabraunerden als vorherrschendem Bodentyp sind mit Ackerzahlen von 60-80 bewertet und für den Sonnenblumen- und Rapsanbau gut geeignet. Die Ackerzahl ist eine Bewertungszahl für die Qualität eines Ackers (ALSING 1982). Sie liegt zwischen 10 (schlecht) und 100 (sehr gut).

Es wurden zwei in der Region Westfalen-Lippe traditionell angebaute Sommerrapsorten (länger als 15 Jahre im Anbau) und zwei aktuelle Sorten untersucht (siehe Tab. 4). Alle vier Sorten sind in bezug auf ihren Blühbeginn als sehr früh bis früh eingestuft (BUNDESSORTENAMT 2001). Für den Sortenvergleich der Sonnenblume wurden vier aktuelle, frühblühende Sorten ausgewählt. Der Anbau von Körnersonnenblumen ist in dieser Region erst durch die Züchtung frühblühender und frühreifender Sorten möglich geworden (RULAND 2001, persönliche Mitteilung).

Die Fragestellung erforderte eine räumliche Trennung der Versuchspartzellen. Aus diesem Grunde wurde ein kreuzförmiger Saatplan erstellt (siehe Abb. 7). Die Aussaat erfolgte mit einer Hege, die Parzellen von 10 m Länge und 1 m Breite bearbeitet.

Tab. 4: Sommerraps- und Sonnenblumensorten im Sortenversuch 2001

Kultur	Sorte	Züchter	Zulassung
Sommerraps (<i>Brassica napus</i> L.)	Lirawell	Deutsche Saatenveredelung	1982
	Lisonne	Deutsche Saatenveredelung	1992
	Callypso	Borries-Eckendorf	1984
	Licosmos	Deutsche Saatenveredelung	1996
Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i> L.)	Capella	Saaten-Union	1998
	Sunny	Saaten-Union	2001
	Olsavil	Pioneer Hi-Bred	1998
	AS671	Monsanto	2001

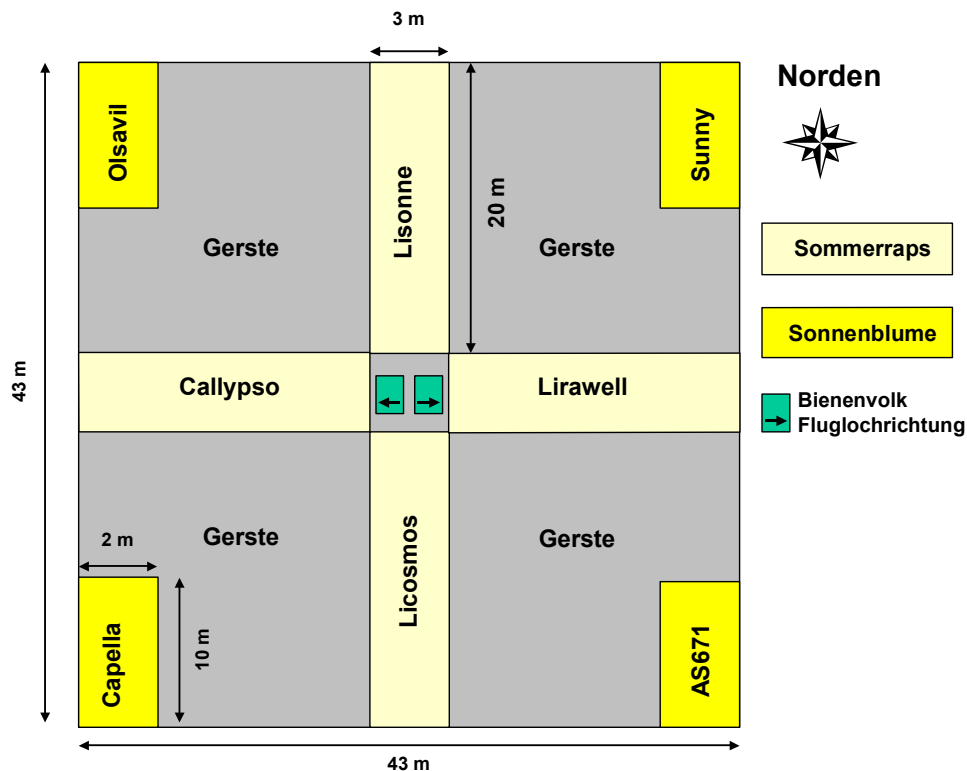


Abb. 7: Anlage der Versuchsfläche mit vier verschiedenen Sommeraps- und Sonnenblumensorten im Untersuchungsjahr 2001

Das Saatgut der Sonnenblumen war mit Metalaxyl gebeizt, der Sommeraps jedoch ungebeizt. Für Sonnenblumen wurde mit 20 Pflanzen/m² eine überdurchschnittliche Bestandsdichte gewählt, um genügend Material für Nektarproben entnehmen zu können. Die Bestandsdichte für Sommeraps entsprach mit 70 bis 80 Pflanzen/m² der landwirtschaftlichen Praxis (SEIFERT 1968). Die Aussaat erfolgte für alle Kulturen zeitgleich in der dritten Märzwoche 2001. Die umliegende Ackerfläche wurde mit Sommergerste und Gras eingesät. In der Mitte der Versuchsfläche wurden kurz vor Beginn der Sommerapsblüte Ende Juni und der Sonnenblumenblüte Ende Juli jeweils zwei Bienenvölker aufgestellt, deren Fluglöcher in entgegengesetzte Richtungen wiesen (siehe Abb. 7).

Folgende Parameter wurden während der Blüte registriert:

Sammelaktivität: An drei Stellen im Bestand einer Parzelle wurden alle blütenbesuchenden Insekten im Bereich eines Quadratmeters (bei Sonnenblumen auf sechs Blütenständen) gezählt. Es wurde zwischen Honigbienen, Hummeln und anderen blütenbesuchenden Insekten (Wildbienen, Schwebfliegen etc.) unterschieden. Die Daten der drei Einzelbeobachtungen wurden zusammengefasst. Es wurde mehrmals täglich zwischen 7 und 17 Uhr gezählt. Alle Sorten wurden zeitgleich beobachtet, um tageszeitliche Unterschiede auszuschließen.

Sammelfrequenz und Sammelverhalten: Der Sammelflug einzelner Honigbienen und Hummeln wurde so lang wie möglich beobachtet und die Anzahl der besuchten Blüten und Blütenstände protokolliert. Gleichzeitig wurde erfasst, ob die Bienen Pollen oder Nektar sammelten.

Nektarverfügbarkeit: Die Nektarverfügbarkeit wurde bei Raps und Sonnenblume von drei Blütenständen einmal täglich bestimmt. Der Nektar wurde mit Mikrokapilletten (5µl-Kapilletten mit Ringmarke) pipettiert. Die Nektarmenge und die Anzahl nektarführender Blüten wurden bestimmt.

Als Testverfahren für den Vergleich von Sammelaktivität, Sammelverhalten und Nektarverfügbarkeit wurden der Kruskal-Wallis-Test (H-Test) und der Mann-Whitney-Test (U-Test) gewählt (SACHS 1997).

Die Datenaufnahme erfolgte während der Sommerrapsblüte vom 22.06 bis 5.07.2001 an sieben Tagen (Nektarverfügbarkeit an sechs Tagen) im Tagesgang von 7:00 bis 17:00 Uhr in zweistündigen Intervallen. Während der Sonnenblumenblüte vom 24.07 bis 29.07.2001 wurden an sechs Tagen mehrmals täglich Beobachtungen durchgeführt.

3.3 Ergebnisse

In Tab. 5 sind die Ergebnisse zu Nektarverfügbarkeit und zu Sammelaktivität zusammengefasst. Die Sonnenblumensorte Olsavil blühte später als die drei anderen Sorten und wurde bei der Datenaufnahme nicht berücksichtigt. Aus den Sonnenblumenblüten konnte an keinem Probenstag Nektar pipettiert werden.

Tab. 5: Ergebnisse der Nektarverfügbarkeit (Summe aller Blütenstände von sechs Proben-
tagen) und Sammelaktivität (Summe aller Beobachtungen, n = 48) im Sorten-
versuch 2001

Gesamtwerte der aufgenommenen Parameter	Lirawell	Lisonne	Callypso	Licosmos	Capella	Sunny	AS671
Nektarmenge [µl]	63,2	21,6	4,7	5,3	kein Nektar verfügbar		
Anzahl nektarführender Blüten	41	42	21	21			
mittlere Nektarmenge je nektarführender Blüte [µl]	1,54	0,51	0,22	0,25			
Anzahl Honigbienen	189	163	89	88	48	2	3
Anzahl Hummeln	1	4	5	2	111	51	53
Anzahl anderer blütenbesuchender Insekten	186	168	134	160	2	2	3

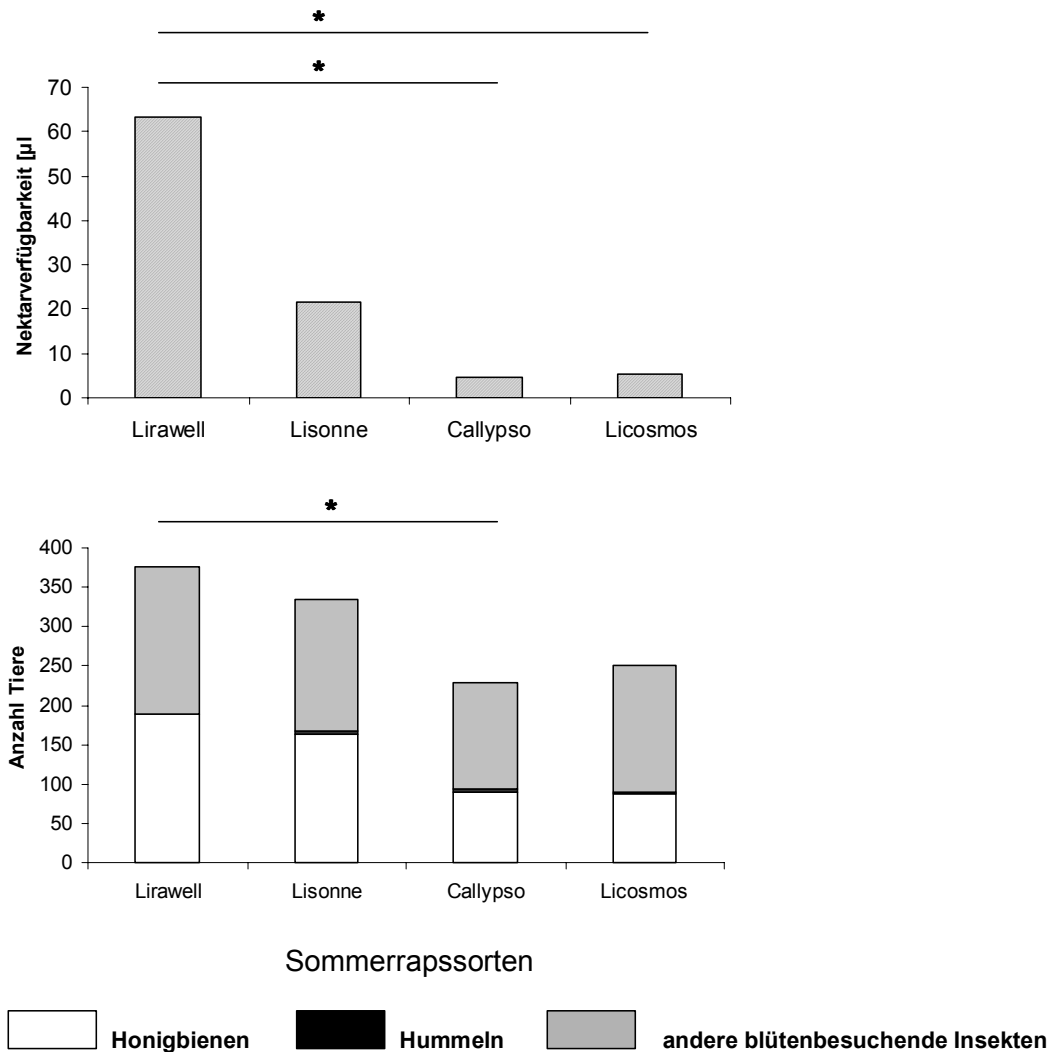


Abb. 8: Nektarverfügbarkeit und Sammelaktivität blütenbesuchender Insekten auf den untersuchten Sommerrapssorten. Dargestellt ist die Summe aller Nektarproben ($n = 6$) und die Summe aller Beobachtungen ($n = 48$); * = $p < 0,05$, Mann-Whitney U-Test.

Die untersuchten Sommerrapssorten unterscheiden sich in der Nektarverfügbarkeit und in der Sammelaktivität blütenbesuchender Insekten (siehe Abb. 8). Die Unterschiede in der Nektarverfügbarkeit zwischen den Sorten Lirawell und Callypso sind signifikant ($n = 6$, $U = 0$, $z = -2,887$, $p = 0,004$, U-Test), ebenso die zwischen Lirawell und Licosmos ($n = 6$, $U = 2,5$, $z = -2,491$, $p = 0,013$, U-Test).

In der Anzahl nektarführender Blüten gibt es zwischen den Sorten keine signifikanten Unterschiede ($\chi^2 = 3,789$, $FG = 3$, $p = 0,285$, H-Test).

Die Anzahl blütenbesuchender Insekten war bei Vergleich der Tagessummen auf Lirawell signifikant höher als auf Callypso ($n = 7$, $U = 8,0$, $z = -2,111$, $p = 0,035$, U-Test). Die Unterschiede zwischen Lirawell und Licosmos lassen sich statistisch nicht absichern ($n = 7$, $U = 10,5$, $z = -1,791$, $p = 0,073$, U-Test).

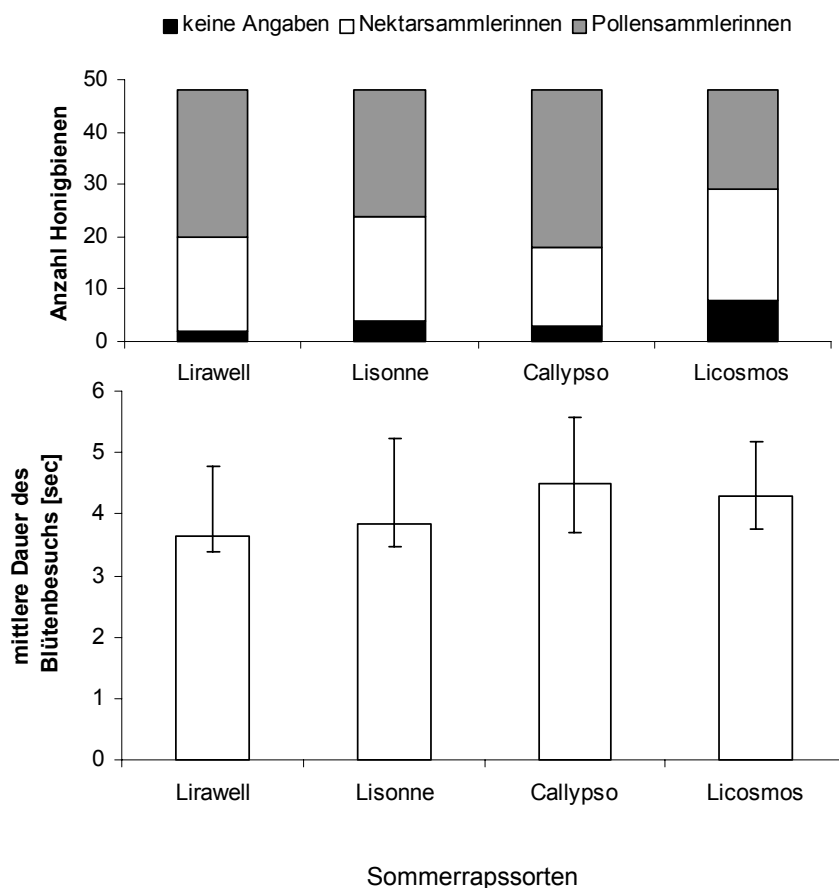


Abb. 9: Anteil von Pollen- und Nektarsammlerinnen unter den beobachteten Honigbienen (n = 48) und die mittlere Dauer des Blütenbesuchs auf den untersuchten Sommer-rapsparzellen. Dargestellt sind der Median und die Interquartilbereiche.

In Abb. 9 sind die Ergebnisse der Sammelflugbeobachtungen einzelner Honigbienen dargestellt. Für jede Sorte wurden 48 Sammelflüge beobachtet. Die Beobachtungsdauer eines Sammelfluges betrug im Mittel 74 Sekunden. Auf allen Sorten wurden Nektar- und Pollensammlerinnen beobachtet.

Anhand der Beobachtungsdauer und der Anzahl besuchter Blüten wurde für jeden Sammelflug die mittlere Dauer des Blütenbesuchs bestimmt. Ein einzelner Blütenbesuch dauert bei allen Sorten zwischen drei und fünf Sekunden. Es gibt keine signifikanten Unterschiede ($\chi^2 = 5,962$, FG = 3, $p = 0,128$, H-Test).

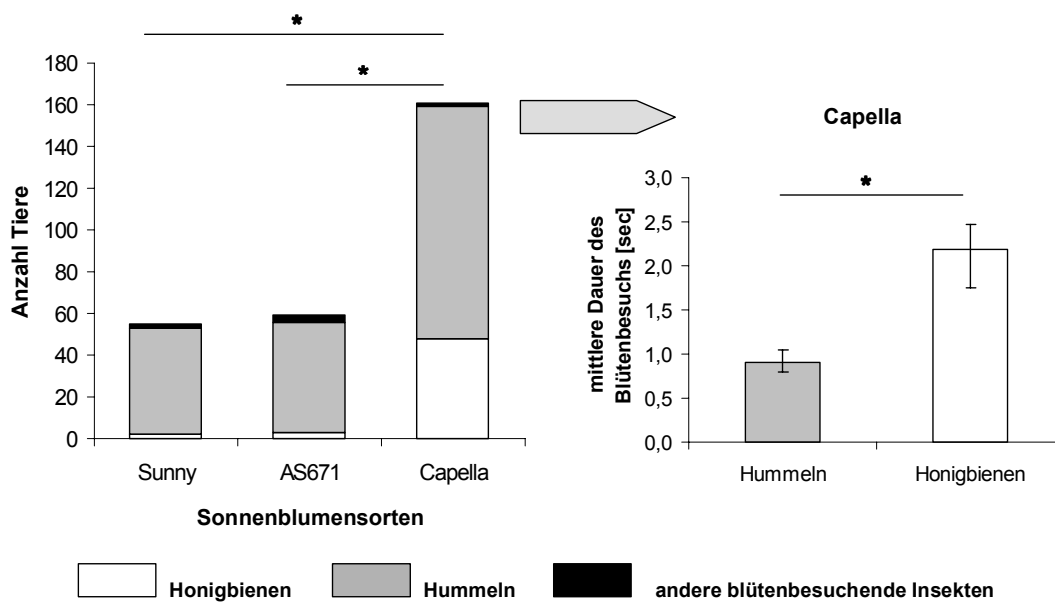


Abb. 10: Sammelaktivität auf den Parzellen der untersuchten Sonnenblumensorten ($n = 18$) und Unterschiede zwischen Honigbienen und Hummeln in der mittleren Dauer des Blütenbesuchs auf der Sorte Capella ($n = 27$). Die mittlere Dauer des Blütenbesuchs ist mit Median und Interquartilbereich dargestellt. * = $p < 0,05$, Mann-Whitney U-Test.

In Abb. 10 sind die Ergebnisse zur Sammelaktivität auf den Sonnenblumensorten und zum Sammelverhalten von Honigbienen und Hummeln auf der Sorte Capella dargestellt. Daten zur Nektarverfügbarkeit konnten nicht erfasst werden, da an keinem Proben tag Nektar aus den Blüten pipettiert werden konnte.

Es gibt deutliche Unterschiede in der Sammelaktivität auf den verschiedenen Sonnenblumensorten. Die Anzahl von Honigbienen und Hummeln ist auf Capella signifikant höher als auf Sunny ($n = 18$, $U = 31,5$, $z = -4,152$, $p < 0,001$, U-Test) und AS671 ($n = 18$, $U = 20,5$, $z = -4,500$, $p < 0,001$, U-Test).

Des Weiteren gibt es deutliche Unterschiede im Sammelverhalten von Honigbienen und Hummeln auf der Sorte Capella. Die mittlere Dauer des Blütenbesuchs ist bei Honigbienen signifikant höher als bei Hummeln ($n = 27$, $U = 15$, $z = -6,048$, $p < 0,001$, U-Test).

3.4 Diskussion

Die Daten zur Nektarverfügbarkeit der Sommerrapssorten mit einer mittleren Nektarmenge je nektarführender Blüte von 0,22 µl (Callypso) bis 1,54 µl (Lirawell) entsprechen den Daten anderer Untersuchungen. HEDTKE (2000c) bestimmte für vier Sommerrapssorten eine mittlere Nektarverfügbarkeit von 0,63 µl. Die Sommerrapssorte Lirawell stellt blütenbesuchenden Insekten mehr Nektar zur Verfügung als die Sorten Callypso und Licosmos (siehe Abb. 8). Die höhere Nektarverfügbarkeit wirkt sich auch auf die Sammelaktivität aus. Lirawell wird intensiver von blütenbesuchenden Insekten beflogen als die anderen Sorten. Für Callypso lassen sich diese Unterschiede signifikant absichern.

Individuelle Sammelflugbeobachtungen zeigen keine Unterschiede im Sammelverhalten der Tiere auf verschiedenen Sorten (siehe Abb. 9). Auf allen Parzellen konnten sowohl Nektar- als auch Pollensammlerinnen beobachtet werden und es gibt keine Unterschiede in der mittleren Dauer des Blütenbesuchs von Honigbienen, die auf verschiedenen Sorten sammelten. Die Bestimmung der mittleren Dauer des Blütenbesuchs erfolgte über die Beobachtungsdauer und die Anzahl besuchter Blüten. Die Zeit, welche die Tiere benötigen, von einer Blüte zur nächsten zu gelangen, wird bei dieser Methode nicht berücksichtigt. Allerdings sammelten die Tiere zunächst die Blüten eines Blütenstandes ab und wechselten dann zum benachbarten Blütenstand. Nach Besuch mehrerer benachbarter Blütenstände flogen sie dann so weit fort, dass die Beobachtung beendet wurde. Die Zeit zwischen den Blütenbesuchen kann daher vernachlässigt werden.

Die beobachteten Unterschiede in der Nektarverfügbarkeit zwischen den Sommerrapssorten lassen sich zu der Sammelaktivität der Tiere in Bezug setzen, allerdings können keine Unterschiede im Sammelverhalten bei Sammelflugbeobachtungen bestimmt werden. Untersuchungen von PICARD-NIZOU et al. (1992) haben gezeigt, dass Sortenunterschiede im Sammelverhalten erfassbar sind. Für den Vergleich einer gentechnisch veränderten Rapsorte mit einer Kontrolllinie haben PICARD-NIZOU et al. (1992) das Sammelverhalten von Honigbienen auf jeweils einer Rapspflanze gefilmt und die Dauer des Blütenbesuchs sowie die Anzahl besuchter Blüten während eines Sammelfluges protokolliert. Die Dauer des Blütenbesuchs war auf der Kontrollpflanze kürzer als auf den Blüten der gentechnisch veränderten Sorte. Ein Vergleich der Sorten durch die Aufnahme von Individuendichten ergab jedoch keine Unterschiede. Die Autoren machen in dieser Arbeit allerdings keine Angaben zur Nektarverfügbarkeit der untersuchten Sorten.

Unterschiede im Sammelverhalten sind vermutlich erst zu beobachten, wenn die Unterschiede in der Nektar- bzw. Pollenverfügbarkeit relativ groß sind. Die beobachteten Honigbienen sammelten auf allen Sorten sowohl Pollen als auch Nektar. Mit Lirawell und Lisonne sind jeweils eine traditionelle und eine aktuelle Sommerrapssorte attraktive Nektarquellen.

Die Sonnenblumen wurden im Gegensatz zum Sommerraps sehr intensiv von Hummeln genutzt (siehe Abb. 10). Die Sonnenblume ist für Hummeln eine sehr attraktive Trachtquelle (HEDTKE 1996, 1998, und 2000a), allerdings konnte von den untersuchten Sorten

kein Nektar gewonnen werden. Ursache hierfür sind vermutlich die Witterungsverhältnisse. Die mittlere Tagestemperatur betrug auf „Haus Düsse“ im Juli 2001 18,8 °C (Minimum: 9,0 °C; Maximum 31,8 °C) und insgesamt fielen im Juli 60,6 mm Niederschlag (Daten der Klimastation „Haus Düsse“). Während der Sonnenblumenblüte und in der vorhergehenden Woche fiel kein Niederschlag. Auch HEDTKE (2000a) berichtet über geringe Nektarmengen bei Trockenheit vor und während der Blüte. Die untersuchten Sonnenblumensorten unterscheiden sich deutlich in ihrer Attraktivität für Honigbienen und Hummeln. Die Sorte Capella wird von Hummeln und Honigbienen intensiver beflogen als die Sorten Sunny und AS671 (siehe Abb. 10). Honigbienen und Hummeln zeigen deutliche Verhaltensunterschiede auf den Blütenständen. Die mittlere Dauer des Blütenbesuchs ist bei Honigbienen deutlich höher als bei Hummeln (siehe Abb. 10).

Honigbienen sammeln Sonnenblumen sehr gezielt ab. Sie landen am Rand des Blütenstandes in der Nähe der Zungenblüten und laufen dann zur Mitte, bis sie auf den Kranz offener Röhrenblüten stoßen (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Sie laufen dann diesen Blütenkranz entlang und nähern sich allmählich der Mitte. Die Sonnenblume blüht zur Mitte ab und die Blüten bieten zunächst den Pollen dar. Honigbienen, die mit Pollen auf dem Blütenstand landen, bestäuben zunächst die offenen Blüten mit Fremdpollen und nehmen dann neuen Pollen auf. Hummeln laufen die Blüten der Sonnenblume weniger gezielt ab. Sie landen häufig in der Mitte des Blütenstandes und wechseln mehrmals die Sammelrichtung.

Die beobachteten Verhaltensunterschiede sind vermutlich nicht auf Sortenunterschiede zurückzuführen, da auch HEDKTE (1996) für Honigbienen und Hummeln Unterschiede in der Sammelgeschwindigkeit belegen konnte. Er untersuchte die Bestäubungsleistung von Honigbienen und Hummeln im Sonnenblumenanbau an der Sorte Frankasol. Für Honigbienen registriert er eine Sammelgeschwindigkeit von $3,0 \pm 1,1$ Sekunden je Blüte und für Hummeln $1,3 \pm 0,4$ Sekunden je Blüte. Die hohe Attraktivität der Sorte Capella könnte auf ein besonders attraktives Duftbouquet zurückzuführen sein. Untersuchungen von PHAM-DÉLEGUE et al. (1985) und THIERY et al. (1990) haben gezeigt, dass das Duftbouquet der Sonnenblumen aus zahlreichen volatilen Komponenten besteht. Von mehr als 100 identifizierten Komponenten konnten mit Hilfe von Elektroantennogrammen 24 Substanzen identifiziert werden, die für die Wahrnehmung des Duftbouquets entscheidend sind. Untersuchungen an verschiedenen Hybridsorten zeigten Unterschiede in der Zusammensetzung der Duftbouquets, aber auch Veränderungen in der Konzentration einzelner Komponenten in Abhängigkeit von der Blühphase (PHAM-DÉLEGUE et al. 1991).

Die vorliegenden Daten zeigen, dass es Sortenunterschiede zwischen den ausgewählten Sommerraps- und Sonnenblumensorten in Bezug auf ihre Attraktivität für Honigbienen gibt. Die kreuzförmige Anlage der Versuchsparzellen mit Bienenvölkern in der Mitte ermöglicht den Vergleich von Sorten mit gleicher Blühphase an einem Standort. Neben der Nektar- und Pollenverfügbarkeit spielen offensichtlich weitere Faktoren, wie ein sortenspezifisches Duftbouquet, für die unterschiedliche Attraktivität eine Rolle.

4. Trachtnutzung der Honigbiene (*Apis mellifera* L.) im Winterraps (*Brassica napus* L.)

4.1 Einleitung

Raps (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (METZG.) SINSK.) ist mit seiner Winterform die wichtigste Massentracht für Honigbienen in Norddeutschland (MAURIZIO und SCHAPER 1994). Die Verwendungsmöglichkeiten von Raps und Rapsöl sind auf Grund der Erfolge in der Pflanzenzucht sehr vielfältig. Die Erzeugung von erucasäure- und glucosinolfreien Sorten (00-Sorten) ermöglichte den Einsatz von Rapsöl in der lebensmittelverarbeitenden Industrie (CRAMER 1990). In den letzten Jahren gewann Raps als nachwachsender Rohstoff für die Gewinnung von alternativen Kraftstoffen an Bedeutung (MANN 2001). Die Anbaufläche für Winterraps in der Bundesrepublik Deutschland betrug 2002 mit 129.600 ha 11 % der gesamten Ackerfläche und Raps stellt neben Winterweizen (23 %), Wintergerste (12 %) und Silomais (10 %) eine der am häufigsten angebauten Kulturen dar (STATISTISCHES BUNDESAMT 2003).

Winterraps wird im August gesät und bildet bis zum Herbst eine Rosette mit acht bis zehn Blättern aus (BROUWER 1976). Die Pflanzen bleiben bis zur Blüte in der zweiten Aprilhälfte des Folgejahres dicht beblättert. Der Stängel ist kräftig und bis zu 200 cm lang. Kurz vor der Blüte bilden sich Nebentriebe erster und zweiter Ordnung. Die Blütenstände bilden eine lockere Traube und die Blüte verläuft an den einzelnen Trieben von unten nach oben, beginnend mit dem Haupttrieb.

Die Rapsblüte ist radiärsymmetrisch gebaut und die vier Blütenkronblätter stehen alternierend zu den vier Kelchblättern. Im unteren Bereich bilden die Blütenkronblätter einen Trichter, im oberen Bereich weisen die Blätter horizontal nach außen. KUGLER (1970) ordnet die Rapsblüte der Gruppe der Trichter- bzw. Stieltellerblüten zu. Die nach außen gerichteten Blütenkronblätter können von blütenbesuchenden Insekten leicht angeflogen werden. Die Rapsblüte ist zwittrig, mit sechs, in zwei Kreisen angeordneten Staubblättern. Die beiden äußeren Staubblätter sind kürzer als die vier Staubgefäße des inneren Kreises. Winterraps verfügt über große Pollenmengen. VON DER OHE et al. (1999) untersuchten mehrere Winterrapssorten auf ihren Pollengehalt und geben einen mittleren Pollengehalt je Blüte von 187 µg bis 292 µg an. Die vier Nektarien der Rapsblüte sind im Trichter der Blütenkronblätter verborgen und liegen zwischen den Staubblättern. Die Nektarien zwischen den inneren Staubgefäßen sezernieren weniger Nektar als diejenigen zwischen den äußeren Staubgefäßen (EWERT 1929). Winterraps ist eine sehr ergiebige Nektarquelle mit einer mittleren Nektarmenge je Blüte von 0,6 mg in 24 Stunden. Der Zuckergehalt wird mit 44 bis 59 % angegeben (MAURIZIO und SCHAPER 1994).

Die Biologie der Rapsblüte wurde intensiv von FRUWIRTH (1922) und EWERT (1929) untersucht. Die Blüten öffnen sich morgens zwischen acht und neun Uhr. In der Nacht zuvor haben sich die Kelchblätter getrennt und die Blütenkronblätter entwickelt. Bei Öffnung der Blüte sind die Staubbeutel der langen Staubgefäße der Narbe zugewandt, doch durch eine Drehung der Staubgefäße um 60 bis 180° sind die Staubbeutel während der Pollendarbietung von der Narbe abgewandt. Die Staubbeutel der beiden kürzeren

Staubblätter stehen etwas niedriger als die Narbe und die Pollendarbietung erfolgt später. Wird die Blüte bereits am Aufblühtag befruchtet, schließt sie sich und welkt ab, sonst öffnet sie sich am nächsten Tag erneut. Nach drei Tagen beginnen unbefruchtete Blüten zu welken. Die Frucht ist eine fünf bis zehn Zentimeter lange Schote mit zwei Klappen und einer Mittelwand. Die Schoten können 30 und mehr Samen enthalten. Rapsamen können ein Tausendkorngewicht von 4 bis 7 g erreichen.

Der Bau der Rapsblüte, die Pollendarbietung und die hohe Nektarverfügbarkeit spricht für eine insektenblütige Pflanze, die Fremdbestäubung anstrebt. Raps ist jedoch selbstfertil und zu etwa zwei Dritteln selbstbestäubend (ANDERSON und OLSSON 1961, BECKER et al. 1992).

Es gibt zahlreiche Studien, in denen der Einfluss von blütenbesuchenden Insekten auf den Blühverlauf, die Bestäubung und den Ertrag von Raps untersucht wurden. EWERT (1929) und ZANDER (1952) konnten in Zeltversuchen zeigen, dass der Einsatz von Honigbienen sich positiv auf die Schotenlänge und das Tausendkorngewicht auswirkt. FREE und NUTTALL (1968) sowie WILLIAMS und SIMPKINS (1989) ermittelten eine höhere Samenzahl je Schote in Zelten mit Honigbienen im Vergleich zu Zelten ohne Insektenflug. WILLIAMS et al. (1987) und MESQUIDA et al. (1981 und 1988) beobachteten bei Einsatz von Honigbienen einen beschleunigten Blühverlauf. Eine kurze Blühzeit führt zu einer gleichmäßigen Abreife der Schoten und erhöht so die Qualität des Ernteguts (BROUWER 1976).

Alternative Bestäuber zur Honigbiene im Winterraps sind Hummeln (*Bombus spec.*) und solitär lebende Wildbienenarten wie die Rote Mauerbiene (*Osmia rufa*) (HEDTKE 2000b). In Zeltversuchen konnte bei Einsatz von Hummelvölkern und Nestern der Roten Mauerbiene eine Steigerung der Samenzahl je Schote nachgewiesen werden (MESQUIDA et al. 1988 und STEFFAN-DEWENTER 2003).

In den genannten Arbeiten wurden in der Regel Zeltversuche durchgeführt, um Bestäubergruppen und -dichten zu isolieren. Es gibt nur wenige Untersuchungen, in denen das Sammelverhalten freifliegender Bienen und ihr Einfluss auf die Bestäubung im Winterraps beobachtet wurde (FREE und FERGUSON 1983).

Ein wichtiger, bisher kaum untersuchter Aspekt bei der Trachtnutzung der Honigbiene im Winterraps ist die Sammelaktivität der Bienen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Bienenvolk. Bienenvölker können ihren Lebensraum sehr weiträumig nutzen und mehrere Kilometer für die Ausbeutung attraktiver Trachtquellen zurücklegen (SEELEY 1997). Hummeln und solitäre Wildbienen haben dagegen viel kleinere Sammelradien (WESTRICH 1990).

In einer Massentracht wie dem Winterraps steht der Honigbiene Nektar und Pollen in großer Menge zur Verfügung. Es stellt sich die Frage, wie die Honigbiene dieses Trachtpotential nutzt. Ziel dieser Arbeit war es, zwei Rapsflächen mit ähnlichen Standortfaktoren (Boden, Klima, Sorte und Kulturführung) aber unterschiedlicher Bienendichte hinsichtlich folgender Fragestellungen zu vergleichen:

Wie beeinflusst die Anzahl der aufgestellten Bienenvölker die Anzahl der Sammlerinnen? Verteilen sich die Sammlerinnen gleichmäßig auf der Rapsfläche oder nimmt mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand die Sammelaktivität bzw. die Individuendichte der Tiere ab? Wenn es einen Gradienten in Bezug auf die Sammelaktivität gibt, wirkt sich dieser auf die Bestäubung im Winterraps aus?

Neben dem Vergleich der Flächen wurden mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand Beobachtungspunkte eingerichtet, an denen die Sammelaktivität blütenbesuchender Insekten und der Blühverlauf dokumentiert wurde. Um die Qualität des Trachtangebotes zu bewerten, wurde die Nektarverfügbarkeit an beiden Flächen untersucht. Während der Beobachtungen wurde auch das Verhalten der Tiere auf der Blüte erfasst und zwischen Pollen- und Nektarsammlerinnen unterschieden.

4.2 Material und Methode

Für den Vergleich von Standorten mit unterschiedlicher Bienendichte wurden zwei Rapsflächen im Kreis Soest (Westfalen) ausgewählt. Die Versuchsfläche mit geringer Bienendichte (weniger als 1 Bienenvolk je ha) wurde vom Landwirtschaftszentrum „Haus Düsse“ der Landwirtschaftskammer NRW in Bad Sassendorf / Ostinghausen bereitgestellt. Diese Fläche wird nachfolgend als „Düsse“ bezeichnet. Die zweite Fläche, mit einer Bienendichte von mehr als zwei Völkern je ha, wurde von einem landwirtschaftlichen Betrieb aus Herzfeld, acht Kilometer nördlich von Haus Düsse zur Verfügung gestellt. Diese Fläche wird nachfolgend als „Herzfeld“ bezeichnet.

Beide Standorte gehören zum Randgebiet der Soester Börde und seit mehr als zehn Jahren wird dort intensiver Rapsanbau betrieben. Die Versuchsflächen ähneln sich in Bezug auf Bodentyp und Ackerzahl (70 bis 80). An beiden Standorten wurde die Liniensorte „Smart“ in der 36. Kalenderwoche 2003 ausgesät. Die Kulturführung der Flächen (Pflanzenschutz und Düngung) wurde aufeinander abgestimmt.

An beiden Standorten wurden Honigbienenvölker aufgestellt. Die Völker (*Apis mellifera carnica* L.) stammten aus einer Berufsimkerei und entsprechen dem für die Region typischen Bienenmaterial. Die Aufstellung der Bienenvölker erfolgte am 14. und 15. April 2004, kurz vor Beginn der Rapsblüte direkt an der Versuchsfläche (siehe Abb. 11 bis Abb. 14). Die aufgestellten Bienenvölker wurden während der gesamten Rapsblüte als weiselrichtige Wirtschaftsvölker geführt, d. h. die Völker verfügten über Königin und Brut in allen Stadien. Die Schwarmtrieblenkung erfolgte durch Entnahme von Brutwaben und Bienenmasse.

Im Beobachtungszeitraum vom 23.04.2004 bis zum 17.05.2004 war an den Versuchsflächen ein Regenschirm und ein Thermometer aufgestellt, so dass Niederschlag und Temperatur bei jeder Datenaufnahme protokolliert werden konnten.

Die Erfassung der Sammelaktivität erfolgte an markierten Beobachtungspunkten im Abstand von 10 m, 50 m, 100 m, 150 m und 200 m vom Bienenstand. Für jede Entfernungsstufe wurden drei Beobachtungspunkte im Abstand von 50 m zueinander fest-

gelegt. In Abb. 12 und Abb. 14 ist die Lage der Bienenstände und Beobachtungspunkte dargestellt. Die drei Beobachtungsreihen werden im folgenden als A, B und C bezeichnet. Die mittlere Beobachtungsreihe (B) mit den Beobachtungspunkten B10 bis B200 liegt direkt vor den Bienenständen. Die Erfassung der Sammelaktivität erfolgte über die Bestimmung der Individuendichte je Quadratmeter. Registriert wurde die Anzahl Honigbienen, Hummeln und anderer blütenbesuchender Insekten (Wildbienen, Schwebfliegen etc.). Gleichzeitig wurde erfasst, ob die Bienen Pollen oder Nektar sammelten. Eine Biene wurde als Pollensammlerin eingestuft, wenn sie deutlich mit Pollen bestäubt war oder ein Pollenhöschen trug.

Der Verlauf der Rapsblüte wurde durch das Verhältnis von Blüten zu Früchten dokumentiert. An neun (Düsse) bzw. zehn (Herzfeld) Probetagen wurden an den Beobachtungspunkten B1 bis B5 jeweils fünf Haupttriebe entnommen und die Anzahl von Blüten und Früchten erfasst.

Die Nektarverfügbarkeit wurde morgens zwischen 9:00 und 11:00 Uhr erfasst. Der Nektar wurde mit Mikrokapilletten (5µl-Kapilletten mit Ringmarke) von 10 offenen Blüten eines Blütenstandes pipettiert (siehe Abb. 15). An jeder Versuchsfläche wurden an vier Probetagen fünf bis sieben Blütenstände untersucht, die Nektarmenge und die Anzahl nektarführender Blüten registriert. An fünf Tagen mit hoher Sammelaktivität wurden abends um 19 Uhr fünf Blütenstände aus den Beobachtungsbereichen B10 und B200 entnommen. Die Anzahl nektarführender Blüten und die Nektarmenge von 10 Blüten je Blütenstand wurde bestimmt.

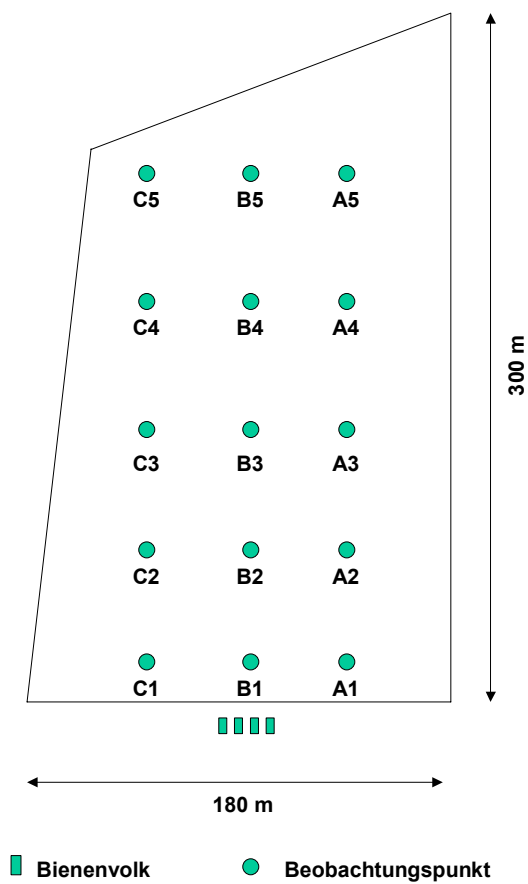
Während der Rapsernte in der 31. Kalenderwoche 2004 wurden an beiden Flächen aus dem Bereich der Beobachtungspunkte B10 und B200 je 10 Pflanzenproben entnommen. Erfasst wurde die Länge des Haupttriebs von der ersten Verzweigung bis zur Spitze. Ebenso wurde die Anzahl voll- und fehlentwickelter Schoten bestimmt. Jeweils 10 vollentwickelte Schoten eines Haupttriebs wurden vermessen und die Anzahl voll- und fehlentwickelter Samen protokolliert (siehe Abb. 16). Die Samen einer Schote wurden gewogen und aus den Daten aller untersuchten Schoten das Tausendkorngewicht bestimmt.

Aus dem Erntegut beider Flächen wurden Proben entnommen und der Wassergehalt und Ölgehalt bestimmt. Diese Analysen wurden vom Untersuchungszentrum der Landwirtschaftskammer NRW durchgeführt.

Die Auswertung der Sammelaktivität erfolgte mit dem H-Test nach KRUSKAL und WALLIS und dem U-Test nach MANN und WHITNEY. Die Ergebnisse zur Nektarverfügbarkeit und Ernte wurden mit dem t-Test analysiert (SACHS 1997).



Abb. 11: Bienenstand mit vier Völkern an der Versuchsfläche Düsse.



Standort „Haus Düsse“: 4,5 ha

Abb. 12: Größe und Ausrichtung der Rapsfläche am Versuchsstandort Düsse. Die Punkte A1 bis C5 markieren die 15 Beobachtungspunkte. Die Aufstellung der vier Bienenvölker erfolgte am Rand der Versuchsfläche.



Abb. 13: Bienenstand mit 14 Völkern an der Versuchsfläche Herzfeld

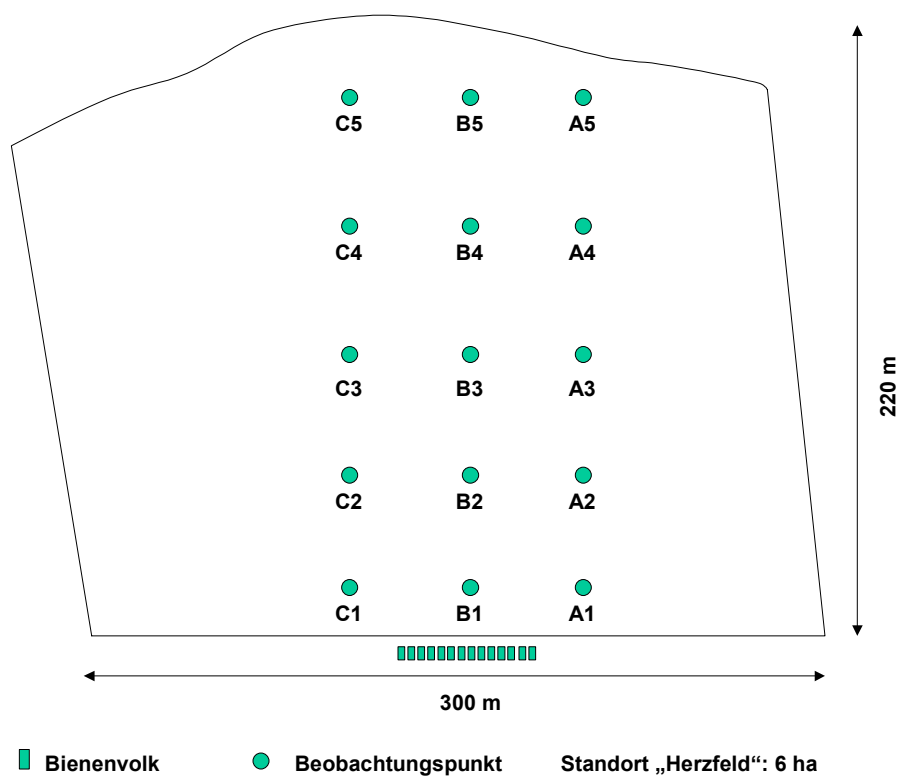


Abb. 14: Größe und Ausrichtung der Rapsfläche am Versuchsstandort „Herzfeld“. Die Punkte A1 bis C5 markieren die 15 Beobachtungspunkte. Die Aufstellung der 14 Bienenvölker erfolgte am Rand der Versuchsfläche.



Abb. 15: Nektartropfen (rot markiert) in einer Rapsblüte. Zwei Blütenkronblätter wurden zur Einsicht in die Blüte entfernt.



Abb. 16: Geöffnete Rapsschote mit Mittelwand und vollentwickelten, reifen Samen.

4.3 Ergebnisse

Die Rapsblüte begann am 21.04.2004 und endete am 17.05.2004. In Tab. 6 sind die Ergebnisse der Datenaufnahmen zusammengefasst. Beide Flächen blühten gleichzeitig und die klimatischen Bedingungen waren an beiden Standorten ähnlich. In Herzfeld fielen im Beobachtungszeitraum 17 mm mehr Niederschlag, jedoch wirkte sich dies nicht auf die Nektarverfügbarkeit aus. Es gibt zwischen den Versuchsflächen keine Unterschiede in der Nektarverfügbarkeit ($T = 2,3$, $FG = 3$, $p = 0,105$, t-Test) und der Anzahl nektarführender Blüten ($T = 0,3$, $FG = 3$, $p = 0,780$, t-Test).

Tab. 6: Standortfaktoren und Ergebnisse des Winterrapsversuches 2004.

Daten zu den Versuchsstandorten	Herzfeld	Düsse
Größe der Fläche in ha	6	4,2
Anzahl Völker	14	4
Völker / ha	2,3	0,95
Beobachtungszeitraum	23.04.-17.05.04	24.04.-16.05.04
mittlere Temperatur während der Beobachtungen [°C]	16,9	17,4
Niederschlag im Beobachtungszeitraum [mm]	66	49
Beobachtungen zur Sammelaktivität	30	26
Anzahl beobachteter blütenbesuchender Insekten	289	112
Anzahl beobachteter Honigbienen	275	105
Verhältnis von Pollensammlerinnen : Nektarsammlerinnen [%]	21 : 79	17 : 83
Anzahl beobachteter Hummeln	7	2
Anzahl nektarführender Blüten [%] Mittelwert $\pm$ Standardabweichung	81,75 $\pm$ 13,8	80,71 $\pm$ 12,1
Nektarmenge je nektarführender Blüte [μ l] Mittelwert $\pm$ Standardabweichung	1,16 $\pm$ 0,96	0,95 $\pm$ 0,83
Ernteertrag [t]	24,28	17,9
Ernteertrag [dt/ha]	40,47	42,6
Ölgehalt [%]	43,4	41,5
Wassergehalt [%]	7,5	8,1
Tausendkorngewicht [g]	5,03	5,10

Die Flächen unterscheiden sich signifikant in bezug auf die Sammelaktivität von Honigbienen ($U = 77,5$, $z = -3,002$, $p = 0,003$, U-Test.). Auf der Fläche in Herzfeld wurden im Mittel 9,2 Honigbienen je Beobachtung registriert, am Standort Düsse 4 Tiere je Beobachtung.

An beiden Standorten wurden deutlich mehr Nektar- als Pollensammlerinnen beobachtet. Jeweils etwa ein Viertel der beobachteten Sammlerinnen wurde als Pollensammlerinnen eingestuft (siehe Tab. 6).

In Abb. 17 ist der Blühverlauf der Winterrapsblüte dokumentiert. Die Flächen wurden abwechselnd beprobt, so dass die Probenstage gleichmäßig über den Beobachtungszeitraum verteilt sind. Es konnten weder für den Standort Herzfeld noch für den Standort Düsse signifikante Unterschiede im Blühverlauf zwischen den Probenpunkten nachgewiesen werden (Düsse: $n = 9$, $\chi^2 = 0,298$, FG = 4, $p = 0,990$; Herzfeld: $n = 10$, $\chi^2 = 0,156$, FG = 4, $p = 0,997$; H-Test). Der Raps blüht in der Nähe der Bienenstände nicht schneller ab als an weiter entfernten Probenpunkten.

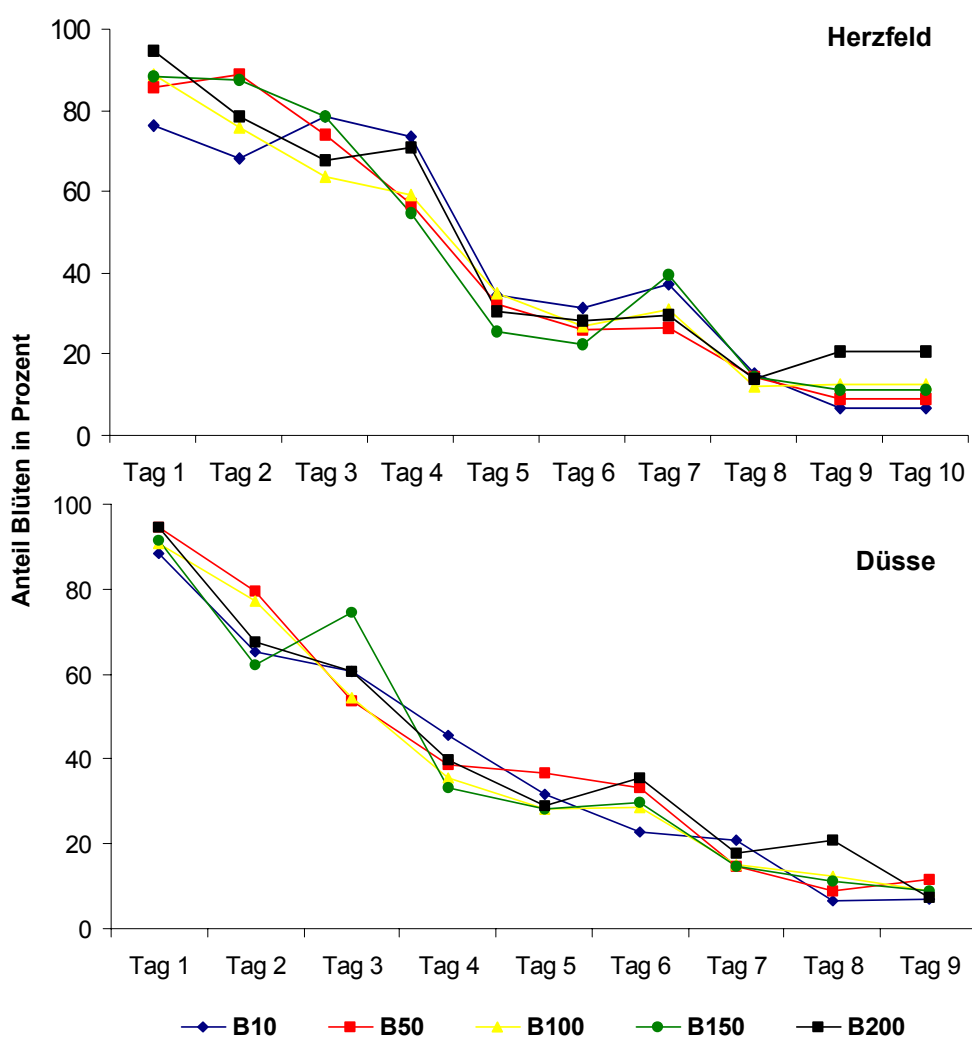


Abb. 17: Verlauf der Winterrapsblüte an den Versuchsstandorten Herzfeld (23.04.-17.05.04) und Düsse (24.04.-16.05.04). Dargestellt ist der Anteil offener Blüten an der Gesamtheit von Blüten und Früchten in Prozent.

Mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand nimmt die Anzahl sammelnder Honigbienen ab. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen einer Entfernung von 10 m und 50 m gegenüber 150 m und 200 m an der Versuchsfläche in Herzfeld (Abb. 8 und Tab. 7). Am Standort Düsse ist die Sammelaktivität von Honigbienen bei einer Entfernung von 10 m vom Bienenstand signifikant höher als bei einer Entfernung von 100 m, 150 m und 200 m. Die Unterschiede zwischen 50 m und 200 m sind ebenfalls signifikant.

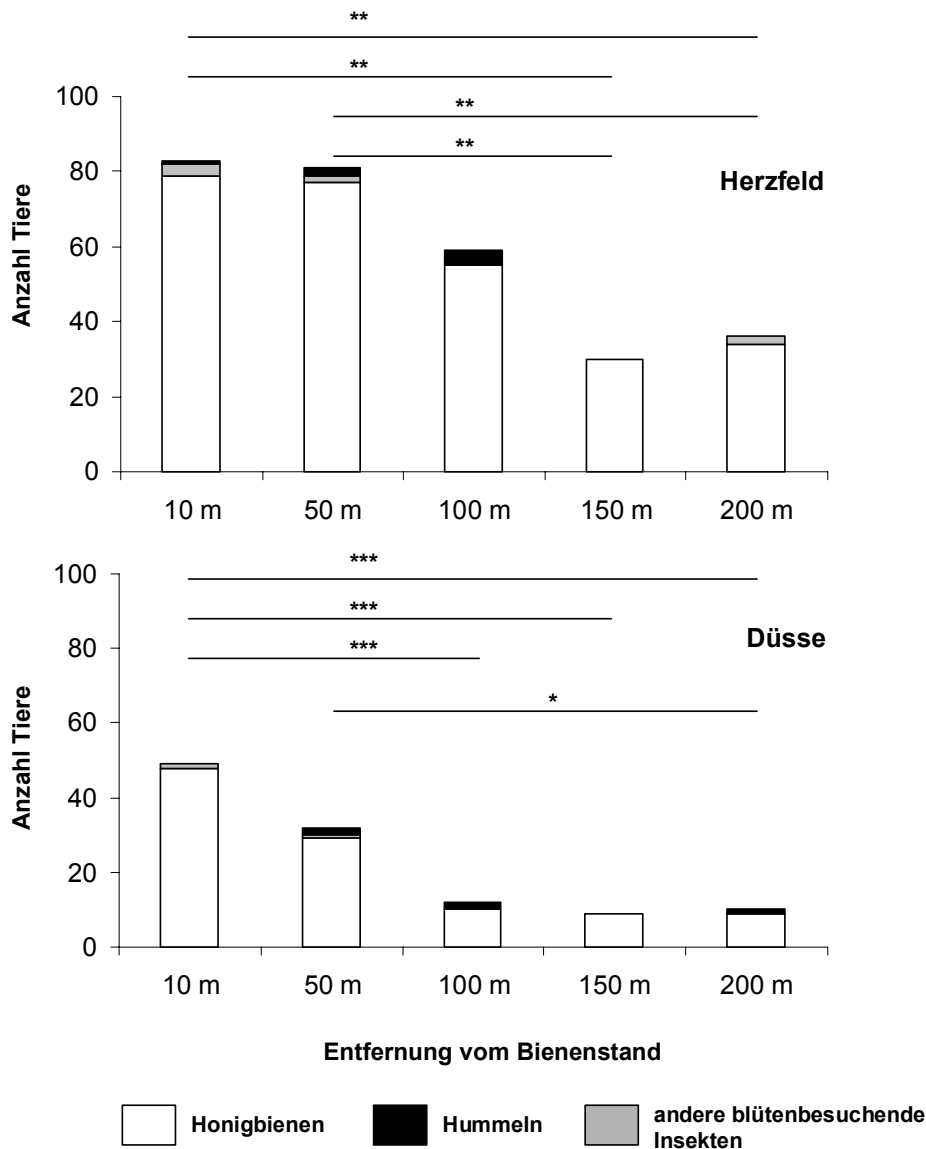


Abb. 18: Anzahl beobachteter blütenbesuchender Insekten je Quadratmeter im Winterraps mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand. Die Daten der drei Beobachtungsreihen A, B und C sind für jeden Beobachtungspunkt zusammengefasst. Dargestellt ist die Summe aller Beobachtungen in Herzfeld (n = 30) und Düsse (n = 26). * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, *** = $p < 0,001$, Mann-Whitney U-Test.

Tab. 7: Ergebnisse der statistischen Tests (Mann-Whitney U-Test) bei Vergleich der Honigbienenendichte an den Probenstandorten B10 bis B200 und den Versuchsstandorten Herzfeld und Haus Düsse. In der Auswertung wurden nur Beobachtungen berücksichtigt, in denen an mindestens einem Beobachtungspunkt eine oder mehr Honigbienen gezählt wurden. Grau hinterlegte Flächen markieren signifikante Ergebnisse.

	Düsse (n = 18)			Herzfeld (n = 20)		
Honigbienen	U	z	p	U	z	p
B10:B50	112,5	-1,602	0,109	193,5	-0,177	0,859
B10:B100	30,5	-4,285	<0,001	145,0	-1,502	0,133
B10:B150	25,0	-4,469	<0,001	75,5	-3,415	0,001
B10:B200	28,5	-4,372	<0,001	86,5	-3,119	0,002
B50:B100	110,0	-1,791	0,073	158,0	-1,148	0,251
B50:B150	108,5	-1,845	0,065	98,0	-2,803	0,005
B50:B200	103,5	-2,041	0,041	104,0	-2,646	0,008
B100:B150	159,0	-0,11	0,912	137,5	-1,729	0,084
B100:B200	156,0	-0,223	0,824	142,5	-1,597	0,110
B150:B200	159,0	-0,112	0,938	200,0	0	1
A : B	97,0	-1,705	0,088	137,5	-1,701	0,089
A : C	110,0	-1,239	0,215	191,5	-0,232	0,816
B : C	74,0	-2,490	0,013	153,5	-1,269	0,204

Die beobachteten Honigbienen konnten den an den Versuchsflächen aufgestellten Bienenvölkern zugeordnet werden. Im Umkreis von drei Kilometern waren keine weiteren Bienenvölker aufgestellt. Zur Kontrolle wurden die Fluglöcher der Bienenvölker am Standort Düsse an einem Tag bis 12 Uhr verschlossen. Die Anzahl blütenbesuchender Insekten wurde vor der Fluglochöffnung um 11 Uhr und 12 Uhr sowie nach der Fluglochöffnung um 13 Uhr und 14 Uhr erfasst. Vor der Fluglochöffnung wurden keine Honigbienen und nur eine Hummel auf der Fläche beobachtet. Nach der Fluglochöffnung wurden insgesamt 19 Honigbienen registriert. Die beobachteten Sammlerinnen stammen also mit hoher Wahrscheinlichkeit von den aufgestellten Bienenvölkern.

Die Anzahl von Hummeln und Wildbienen war an allen Standorten gering (Herzfeld 14 Tiere, Düsse 7 Tiere). Sie konnten bei allen Entfernungen mit Ausnahme von 150 m beobachtet werden. Die Honigbienenendichte in der Nähe des Bienenstandes wirkt sich folglich nicht negativ auf Hummeln und andere blütenbesuchende Insekten aus.

In Abb. 19 ist die Anzahl beobachteter Honigbienen, Hummeln und anderer blütenbesuchender Insekten in den drei Beobachtungsreihen dargestellt. In der Beobachtungsreihe B, direkt vor den Bienenständen wurden die meisten Tiere gezählt, in den Reihen A und C, die jeweils 50 m vom Bienenstand entfernt waren, deutlich weniger.

In Herzfeld gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Reihen (siehe Tab. 7). In der Beobachtungsreihe B wurden 10 % mehr Tiere gezählt als in den Reihen A und C. Am Standort Düsse unterscheiden sich die Reihen B und C signifikant (siehe Tab. 7). In den Reihen A und C lag die Individuendichte um mehr als 20 % niedriger als in der Reihe B.

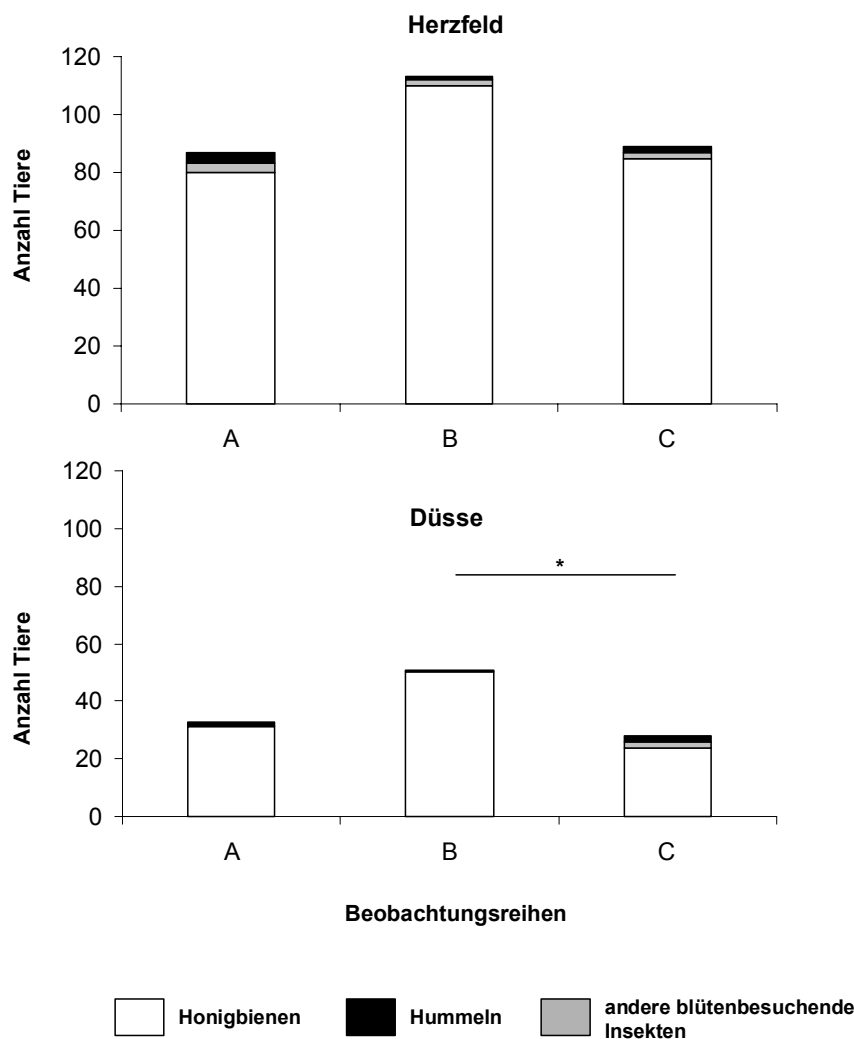


Abb. 19: Anzahl beobachteter blütenbesuchender Insekten je Quadratmeter im Winterraps in den drei Beobachtungsreihen. Die Daten der fünf Beobachtungspunkte sind für jede Beobachtungsreihe zusammengefasst. Dargestellt ist die Summe aller Beobachtungen in Herzfeld ($n = 30$) und Düsse ($n = 26$). * = $p < 0,05$, Mann-Whitney U-Test.

Die Abnahme der Sammelaktivität mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand zeigt sich auch in der Nektarmenge und der Anzahl nektarführender Blüten, die in den Abendstunden an Tagen mit intensivem Bienenflug registriert wurde. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen B10 und B200 in Herzfeld in Bezug auf die Nektarverfügbarkeit ($n = 5$, $T = -2,852$, $FG = 4$, $\alpha = 0,046$, t-Test) und die Anzahl nektarführender Blüten ($n = 5$, $T = -9,021$, $FG = 4$, $\alpha = 0,001$, t-Test).

Die durchschnittliche Nektarmenge je nektarführender Blüte ist am Punkt B10 mit $0,36 \pm 0,18 \mu\text{l}$ deutlich niedriger als am Punkt B200 mit $0,68 \pm 0,39 \mu\text{l}$. Die Werte liegen deutlich niedriger als die entsprechenden Werte, die in Herzfeld bei den morgendlichen Messungen erfasst wurden ($1,16 \pm 0,96 \mu\text{l}$).

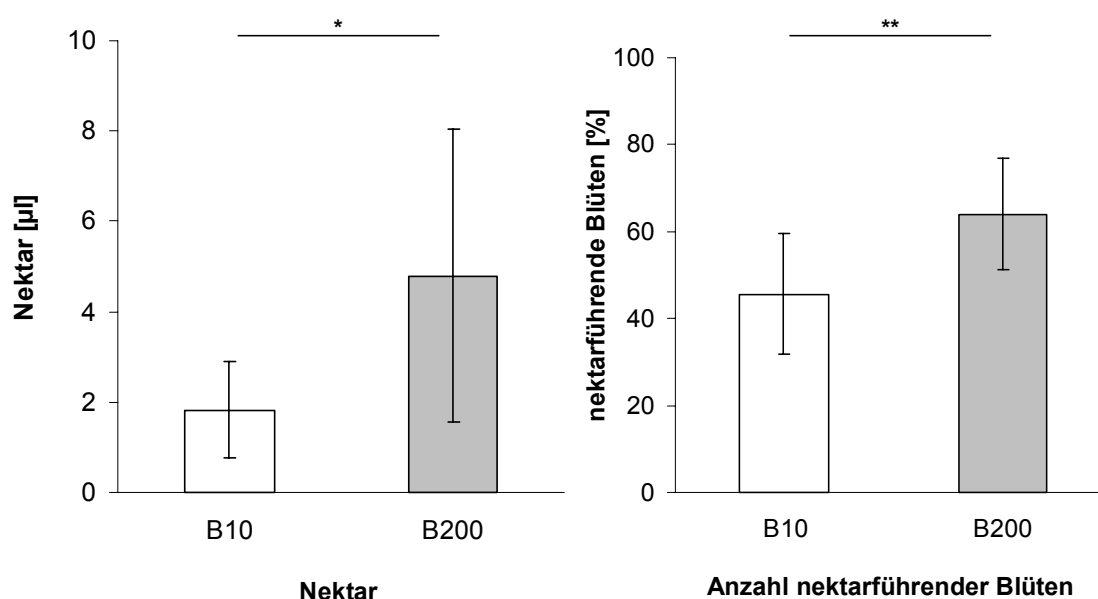


Abb. 20: Mittlere Nektarmenge und Anzahl nektarführender Blüten (bezogen auf 10 Blüten eines Blütenstandes) an den Beobachtungspunkten B10 und B200 am Standort Herzfeld um 19 Uhr an Tagen mit hoher Sammelaktivität. Dargestellt sind die Mittelwerte und die Standardabweichung von fünf Messungen. Jede Messung repräsentiert die Daten von fünf Blütenständen mit 10 offenen Blüten. * = $p < 0,05$, ** = $p < 0,01$, t-Test.

Die Daten der Ernteergebnisse und die statistische Auswertung der Daten sind in Tab. 8 und Tab. 9 dargestellt. Es gibt zwischen den Standorten keine Unterschiede im Ernteertrag und in der Qualität (siehe Tab. 6). Mit mehr als 40 Doppelzentnern je Hektar und einem Ölgehalt 43 bzw. 41 % wurde ein für die Sorte „Smart“ durchschnittliches Erntergebnis erzielt.

Es konnten Unterschiede in der Länge des Haupttriebs, der Anzahl der Schoten und des Anteils fehlentwickelter Schoten zwischen den Flächen gefunden werden. In Herzfeld ist der Haupttrieb ca. fünf Zentimeter kürzer, die Anzahl Schoten je Haupttrieb etwas

geringer und der Prozentsatz fehlentwickelter Schoten mit etwa 5 % höher als auf Düsse.

Am Standort Düsse konnte für keinen der aufgenommen Parameter ein Unterschied zwischen den Beobachtungspunkten B10 und B200 beobachtet werden. In Herzfeld gibt es Unterschiede in der Anzahl der Schoten am Haupttrieb. Am Beobachtungspunkt B200 war die Anzahl der Schoten am Haupttrieb fast 30 % geringer als am Beobachtungspunkt B10.

Tab. 8: Ergebnisse zur Ernte an den Versuchsstandorten Haus Düsse und Herzfeld an den Probenpunkten B10 und B200.

	Herzfeld B10	Herzfeld B200	Düsse B10	Düsse B200
Länge Haupttrieb [cm]	58,4 ± 7,53	58,0 ± 6,68	63,8 ± 10,77	65,5 ± 7,28
Anzahl Schoten	92,4 ± 20,07	63,8 ± 16,57	90 ± 12,47	94,4 ± 10,06
fehlentwickelte Schoten [%]	16,89 ± 8,58	16,92 ± 5,97	12,95 ± 7,07	11,56 ± 4,77
Schotenlänge [mm]	85,43 ± 6,10	85,51 ± 5,34	82,07 ± 3,79	83,54 ± 4,98
Anzahl Samen	30,02 ± 2,70	28,05 ± 2,44	28,54 ± 3,21	26,28 ± 4,00
fehlentwickelte Samen [%]	2,16 ± 0,81	2,41 ± 1,34	3,09 ± 2,09	5,86 ± 7,28
Samengewicht je Schote [mg]	16,40 ± 1,69	15,52 ± 1,20	15,49 ± 1,26	15,41 ± 3,35
Tausendkorngewicht [g]	5,59 ± 0,25	5,71 ± 0,42	5,71 ± 0,87	6,22 ± 0,66

Tab. 9: Ergebnisse der statistischen Tests bei Vergleich der Ernteergebnisse an den Probenstandorten B10 und B200 (t-Test, n = 10, FG = 18, zweiseitig) und den Versuchsstandorten in Herzfeld und Haus Düsse (t-Test, n = 20, FG = 38, zweiseitig). Grau hinterlegte Flächen markieren signifikante Ergebnisse.

	Düsse - Herzfeld		Herzfeld B10 – B200		Düsse B10 – B200	
	T	p	T	p	T	p
Länge Haupttrieb [cm]	2,541	0,015	0,126	0,901	-0,414	0,684
Anzahl Schoten	2,449	0,019	3,475	0,003	-0,868	0,397
fehlentwickelte Schoten [%]	-2,235	0,031	-0,009	0,993	0,516	0,612
Schotenlänge [mm]	-1,681	0,101	-0,031	0,975	-0,743	0,467
Anzahl Samen	-1,583	0,122	1,712	0,104	1,394	0,180
fehlentwickelte Samen [%]	1,780	0,083	-0,510	0,616	-1,157	0,263
Samengewicht je Schote [mg]	-0,785	0,437	1,343	0,196	0,070	0,945
Tausendkorngewicht [g]	1,628	0,112	-0,752	0,462	-1,458	0,162

4.4 Diskussion

Die unterschiedliche Anzahl von Bienenvölkern je Hektar wirkt sich auf den Beflug durch Honigbienen deutlich aus. Am Standort Düsse mit 0,95 Völkern je Hektar wurden im Mittel 4 Tiere an den insgesamt 15 Beobachtungspunkten gezählt, am Standort Herzfeld mit 2,3 Völkern je Hektar 9,2 Tiere (siehe Tab. 9). Die Zunahme der Völkerdichte um den Faktor 2,4 führte zu einer Steigerung der Individuendichte um den Faktor 2,3. Die mittlere Anzahl Honigbienen je Beobachtungspunkt und damit je Quadratmeter betrug in Herzfeld 0,6 und am Standort Düsse 0,3 Tiere.

Die Tiere sammelten nicht nur auf der Versuchsfläche. An beiden Standorten war eine Streuobstwiese in der Nähe, in der zu Beginn der Rapsblüte sowohl Obstbäume (*Malus sylvestris* L., *Pyrus domestica* L. und *Prunus domestica* L.) als auch Löwenzahn (*Taraxacum officinale* WEB.) noch in Blüte waren. Es konnten Honigbienen auf den Blüten dieser Pflanzen beobachtet werden, die wahrscheinlich aus den Versuchsvölkern stammten. Ein Teil der Sammlerinnen ist während der ersten Versuchstage bei Verlassen des Volks nicht in den Raps geflogen, sondern über den Bienenstand hinweg in die entgegengesetzte Richtung. Zu Beginn der Rapsblüte war die Blütendichte im Obst und Löwenzahn vermutlich noch so hoch, dass Sammelflüge in diese Trachten effektiver waren als in den aufblühenden Winterraps.

Es konnten Unterschiede in der Individuendichte mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand festgestellt werden. Dies trifft für beide Standorte zu (siehe Abb. 18). Mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand nimmt die Individuendichte ab. Die Tiere sammeln vermehrt in der Nähe des Bienenstocks nach Nektar und Pollen. Diese Beobachtungen decken sich mit Ergebnissen anderer Arbeiten. FRIES und STARK (1983) beobachteten bei Rübsen (*Brassica rapa* L.) eine Abnahme der Sammelaktivität mit zunehmender Entfernung vom Bienenstock. In dieser Arbeit wurden an eine Fläche von 72 Hektar 23 Bienenvölker aufgestellt und bei einer Entfernung von 750 m, 1000 m und 1250 m die Anzahl Honigbienen auf einer Parzelle von 50 Quadratmetern gezählt. 11 Beobachtungen ergaben einen Gradienten von 126, 90 und 78 Tieren je 250 m Entfernung.

Honigbienen nutzen bei einem ergiebigen Ressourcenangebot kleinräumige Areale. BUTLER et al. (1943) markierten Arbeiterinnen, welche auf einer Parzelle (5 m x 7 m) mit Weidenröschen (*Epilobium angustifolium* L.) sammelten. 24 h nach Markierung der Tiere konnten sie mehr als 90 % der Sammlerinnen erneut im Bereich dieser Parzelle beobachten. Auch MINDERHOUD (1931) registrierte im Löwenzahn sehr kleine Sammelareale von 10 Quadratmetern. Die Größe des Sammelareals ist von der Blütendichte, Nektar- und Pollenergiebigkeit sowie der Anzahl an Sammlerinnen abhängig (RIBBANDS 1949).

Der Anteil Pollensammlerinnen an der Gesamtzahl der Sammlerinnen lag in Herzfeld bei 21 % und auf Haus Düsse bei 17 % (siehe Tab. 6.). Die Angaben in anderen Arbeiten zum Anteil von Pollensammlerinnen im Winterraps sind sehr unterschiedlich. FREE und NUTALL (1968) beobachteten 18 - 61 %, FREE und FERGUSON (1983) 0 - 5 %, MOHR und JAY (1988) 6 - 7 % und BENEDEK und PRENNER (1972) 100%. Diese

Unterschiede können verschiedene Ursachen haben. Die eingesetzten Bienenvölker können sich im Pollenbedarf unterscheiden, der durch die Größe des Brutnestes gesteuert wird. Weitere Faktoren können Unterschiede im Trachtangebot vor oder während der Rapsblüte sein. Inwieweit ein höherer Anteil an Pollensammlerinnen die Bestäubungsrate im Winterraps steigert ist nicht geklärt. Allerdings vermutet FREE (1993), dass der Einfluss gering ist, da auch Nektarsammlerinnen die Staubgefäße berühren und so Pollen übertragen.

Mehrere Autoren berichten vom „Nektarraub“ beim Blütenbesuch von Honigbienen auf Winterraps (FREE und NUTALL 1968, MOHR und JAY 1988). Die Biene landet seitlich auf der Blüte und schiebt ihren Rüssel ausschließlich zwischen Kelch- und Blütenkronblättern, um den Nektar aufzunehmen (FREE 1993). GOULSON (2003) definiert diese Form der Ausbeutung einer Blüte als „base-foraging“. Der Zugang zum Nektar wird an der Blütenbasis gesucht und der Kontakt mit Frucht- oder Staubblättern vermieden. Dieses Verhalten konnte in der vorliegenden Arbeit nicht beobachtet werden. Die Sammlerinnen sind zunächst auf den Blütenkronblättern gelandet und mit Kopf und Rüssel in die Blüte eingetaucht. Während des Blütenbesuchs wechselten die Tiere sehr häufig die Position, um alle Nektarien zu erreichen.

Die Abnahme der Individuendichte mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand spiegelt sich an Tagen mit hoher Sammelaktivität in der Nektarverfügbarkeit wider (siehe Abb. 20). Die Nektarmenge und die Anzahl nektarführender Blüten sind in Herzfeld abends am Beobachtungspunkt B10 signifikant geringer als am Beobachtungspunkt B200. Diese deutlichen Unterschiede sind trotz des ausgeprägten Aktivitätsgradienten bemerkenswert, da die Nektarien einer Rapsblüte nach dem Besuch einer Biene innerhalb von 30 min erneut Nektar sezernieren (MEYERHOFF 1958).

Der beobachtete Gradient in der Sammelaktivität der Honigbienen mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand wirkt sich nicht auf dem Blühverlauf des Rapses aus. Die hohe Bienendichte in der Nähe des Bienenstandes führte weder am Standort Düsse noch an der Fläche in Herzfeld zu einer kürzeren Blütezeit (Abb. 17).

Es gibt zudem keine Unterschiede im Ernteertrag zwischen den Flächen. Die höhere Bienendichte hat in Herzfeld weder zu einer Ertrags- noch zu einer Qualitätssteigerung geführt. Die Ernteergebnisse sind mit einem Ertrag von 41 bzw. 43 Doppelzentnern je Hektar und einem Ölgehalt von 43 bzw 42 % gleich gut. Im Jahr 2003 wurde im Bundessortenversuch Winterraps ein mittlerer Kornertrag von 40,3 Doppelzentnern je Hektar und ein Ölgehalt von 43 % ermittelt (STATISTISCHES BUNDESAMT 2003).

Es gibt jedoch zwischen Herzfeld und Düsse Unterschiede in der Länge des Haupttriebes, der Anzahl vollentwickelter Schoten und dem Prozentsatz fehlentwickelter Schoten (siehe Tab. 8). In Herzfeld ist der Haupttrieb etwas kürzer und die Anzahl an Schoten geringer als auf Haus Düsse. Die Anzahl Schoten ist am Beobachtungspunkt B200 in Herzfeld ebenfalls geringer als am Beobachtungspunkt B10.

Es ist unwahrscheinlich, dass diese Unterschiede auf die Bienendichte zurückzuführen sind. Die Länge des Haupttriebes und auch die Anzahl von Blüten ist von der Nährstoffversorgung im Boden abhängig (BROWER 1976). Die Kulturführung und die Düngung

der Flächen wurden im Anbauzeitraum (2003/2004) aufeinander abgestimmt, dennoch sind Unterschiede im Nährstoffgehalt möglich. Unterschiedliche Anbaukulturen und Nährstoffausbringung der Vorjahre können die Ursache sein.

Besonders auffällig und nicht ohne weiteres erklärbar ist die geringere Gesamtzahl von Schoten am Beobachtungsstandort B200 in Herzfeld gegenüber dem Beobachtungsstandort B10. Diese Unterschiede sind nicht auf den Beflug durch Honigbienen zurückzuführen. Es wäre zu erwarten gewesen, wenn der Beflug durch Honigbienen das Bestäubungsergebnis steigert, dass bei geringerem Beflug durch Honigbienen der Anteil fehlentwickelter Schoten zunimmt, die Gesamtzahl der Schoten jedoch nicht abnimmt.

Die Auswertung der Schotenlängen und Korngewichte zeigte keinen Unterschied zwischen den Standorten und den Beobachtungspunkten. Die in Käfigversuchen beobachteten Steigerungen im Tausendkorngewicht und der Anzahl vollentwickelter Samen können in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden.

Der Einfluss von Bienen auf die Bestäubungsrate im Raps wurde in verschiedenen Arbeiten seit Beginn des letzten Jahrhunderts intensiv untersucht (EWERT 1929, ZANDER 1952, FREE und NUTTALL 1968, WILLIAMS et al. 1987 und MESQUIDA et al. 1988). Die Bestäubungsleistung wurde häufig an Parametern wie der Anzahl vollentwickelter Schoten je Haupttrieb oder Pflanze, Samenzahl je Schote, Tausendkorngewicht, Ölgehalt der Samen, Blühverlauf und Ernteertrag gemessen. Die Ergebnisse der Arbeiten sind sehr unterschiedlich und zum Teil nicht reproduzierbar (FREE 1993). Dies ist vermutlich auf verschiedene Ursachen zurückzuführen:

Viele Arbeiten wurden in Käfigen oder Zelten durchgeführt mit dem Ziel, eine bestimmte Bestäuberichte zu erzeugen. Als Kontrolle dienten häufig Käfige ohne blütenbesuchende Insekten oder offene Parzellen. Bei einem Vergleich von Käfigen mit und ohne Bestäuber ist allerdings der „Käfig-Effekt“ (MESQUIDA et al. 1988) zu beachten. Engmaschige Käfignetze beeinflussen die klimatischen Bedingungen im Käfig, insbesondere den Luftstrom. Geringere Windgeschwindigkeiten wirken sich negativ auf die Windbestäubung aus. Experimente von WILLIAMS et al. (1986) haben gezeigt, dass das Schütteln der Rapspflanzen im Gewächshaus zur Simulation von Windbewegungen eine Steigerung der Selbstbestäubung bewirkt. MESQUIDA et al. (1982 und 1988) konnten mit Ventilatoren in Käfigen ebenfalls einen positiven Einfluss des Windes auf die Bestäubung bestätigen.

In einigen Arbeiten wird eine Steigerung der Anzahl Samen je Schote und des Tausendkorngewichtes registriert, allerdings keine Steigerung des Ertrages. Der Ertrag im Winterraps ist abhängig vom Grad der Verzweigung und von der Anzahl an den Verzweigungen gebildeter Schoten (BROUWER 1976, LERIN 1982). MESQUIDA et al. (1988) konnten zeigen, dass der Verzweigungsgrad bei Anwesenheit von Bienen im Zelt abnimmt, der Blühverlauf jedoch verkürzt ist und die Samenzahl je Schote sowie das Tausendkorngewicht je Schote am Haupttrieb zunimmt. Der stärkere Verzweigungsgrad in den Zelten ohne Bestäuber überdeckt den höheren Ertrag des Haupttriebes in den Zelten mit Bestäubern.

Honigbienen können durch ihre Sammelaktivität im Winterraps Blühverlauf und Bestäubung beeinflussen, allerdings konnte in der vorliegenden Arbeit kein solcher Effekt ermittelt werden. Der Unterschied in der Bienendichte an den Standorten bzw. zwischen Beobachtungspunkten war entweder nicht groß genug oder äußere Einflüsse wie z. B. Wind haben mögliche Effekte überlagert. Allerdings konnte gezeigt werden, dass Honigbienen auch in Massentrachten zunächst in der Nähe ihres Bienenstocks sammeln und die gewählte Volksdichte das Nektarpotential der Standorte nicht ausschöpft. Bei Einsatz von Honigbienen zur Sicherung der Bestäubung im Winterraps z. B. bei der Saatgutvermehrung ist daher eine gleichmäßige Verteilung der Bienenvölker an der Fläche gegenüber einer Blockaufstellung zu bevorzugen.

5. Das Pollensammelverhalten der Honigbiene (*Apis mellifera* L.) im Flugraum

5.1 Einleitung

Die Honigbiene (*Apis mellifera* L.) deckt ihren Eiweißbedarf ausschließlich durch Blütenpollen, den sie in den Körbchen des hinteren Beinpaars transportiert. Die Honigbiene gehört gemeinsam mit den Prachtbienen (*Euglossini*), Hummeln (*Bombini*) und stachellosen Bienen (*Meliponini*) zu den „Körbchensammlerinnen“, den corbiculaten Apidae (MICHENER 1999).

Der Pollensammelapparat an den Hinterbeinen der Honigbiene ist in Abb. 21 dargestellt. Das Pollensammelverhalten ist von SLADEN (1912) und BELING (1929) beschrieben worden. Zunächst bearbeitet die Biene während des Blütenbesuchs mit den Mundwerkzeugen und den Vorderbeinen die Staubgefäße und pudert sich am gesamten Körper mit Pollen ein. Anschließend schwebt sie über der Blüte und streift den Pollen mit Hilfe aller Beinpaare aus dem Haarkleid in die Körbchen an den Hinterbeinen. Der Pollen wird dabei ständig mit Nektar aus der beflogenen Blüte oder mit Honig aus der Honigblase angefeuchtet. Die Pollenladung im Körbchen erhält durch eine kräftige Einzelborste und durch Sammelhaare am Rand des Körbchens Stabilität (siehe Abb. 22).

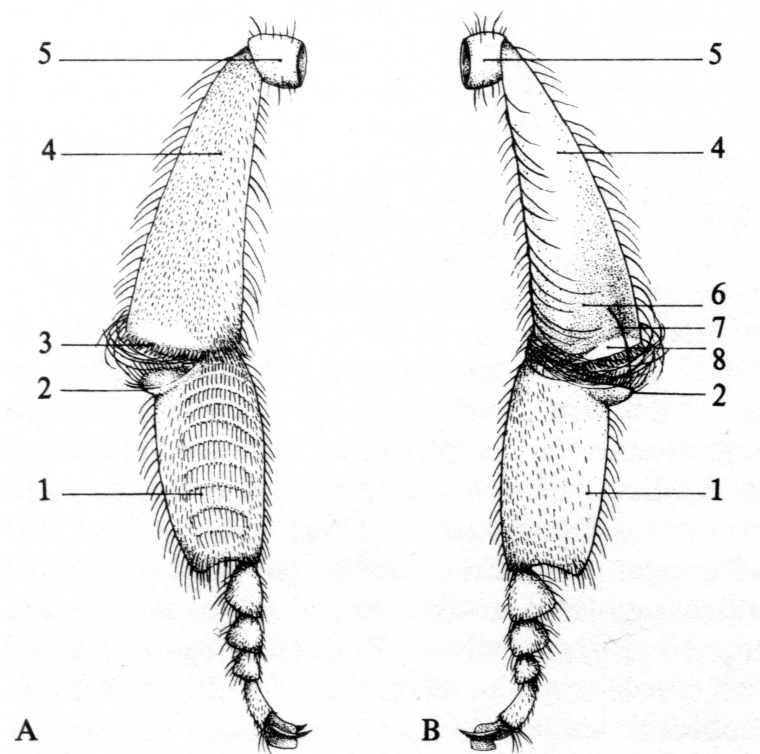


Abb. 21: Hinterbein (Sammelbein) der Honigbiene. A Innenseite; B Außenseite; 1 Borstenreihen des Metatarsus, Metatarsus, 2 Pollenschieber, 3 Pollenkamm, 4 Tibia, 5 Femur, 6 Körbchen, 7 Einzelborste auf der Schienenaußenseite, 8 Pollenkneiter. (Quelle: HÜSING und NITSCHMANN 1987, leicht verändert)

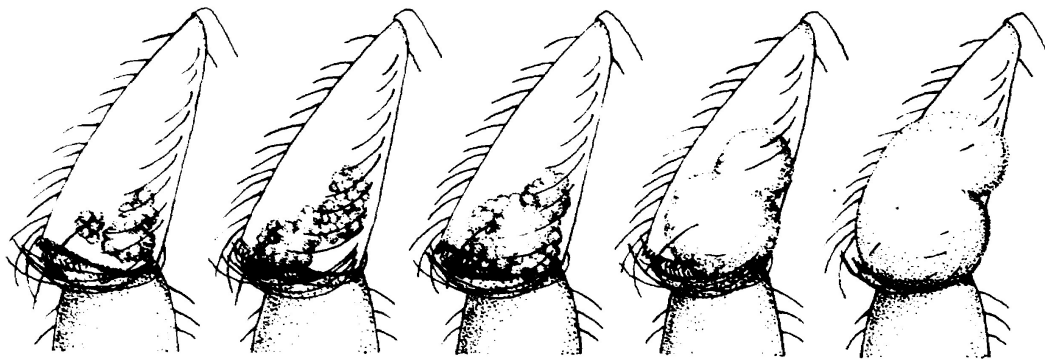


Abb. 22: Entstehung des Pollenhöschens (Quelle: HÜSING und NITSCHMANN 1987, leicht verändert)

Die auffällige Pollenladung wird auch als „Pollenhöschchen“ bezeichnet und das Pollensammelverhalten der Honigbiene als „Höseln“.

Der Bedarf eines Bienenvolkes an Pollen ist sehr groß. Im Jahresverlauf sammelt ein Bienenvolk bis zu 30 kg Pollen (HODGE 1952, WINSTON 1987, MAURIZIO und SCHAPER 1994). Dennoch ist die Polleneinlagerung mit ca. einem Kilogramm im Vergleich zu den Honigvorräten eines Bienenvolkes mit bis zu 50 kg relativ gering (JEFFREE und ALLEN 1957, FEWELL und WINSTON 1992). SEELEY (1997) erklärt dies mit dem hohen Energiebedarf während der Winterzeit, in der die Tiere keinen Nektar sammeln können. Pollen wird zur Brutaufzucht in den Sommermonaten benötigt. Das Bienenvolk ist in dieser Zeit nur kurzfristigen Nahrungsengpässen unterworfen (Schlechtwetterperioden), die bereits mit einem geringen Pollenvorrat aufgefangen werden können.

Das Pollensammelverhalten der Honigbiene wird durch exogene und endogene Faktoren beeinflusst. Die Jahreszeit, klimatische Bedingungen sowie Artenspektrum und Abundanz der Trachtpflanzen beeinflussen als exogene Faktoren das Pollenangebot und damit das Pollensammelverhalten des Bienenvolkes (FREE 1993, MAURIZIO und SCHAPER 1994). Zu den endogenen Faktoren gehören die Größe des Brutnestes (JEFFREE und ALLEN 1957, FEWELL und WINSTON 1992, DRELLER et al. 1999, DRELLER und TARPY 2000) und der Genotyp (PAGE et al. 1995, PANKIW und PAGE 1999 und 2001). Das Bienenvolk ist bei Bedarf in der Lage, die Anzahl der Pollensammlerinnen zu erhöhen (FEWELL und WINSTON 1992). Versuche von CAMAZINE (in SEELEY 1997) haben gezeigt, dass Sammlerinnen bei einem gesteigerten Pollenbedarf mit schwereren Pollenhöschchen heimkehren und die Dauer des Sammelfluges verringern.

Der erhöhte Pollenbedarf des Volkes wird von der einzelnen Sammlerin wahrgenommen und im Sammelverhalten berücksichtigt. Die Steigerung der Sammelleistung auf individueller Ebene wirft die Frage auf, ob es auch individuelle Unterschiede in der Sammelstrategie der Tiere gibt.

Das Sammelverhalten und die Sammelstrategien von Nektarsammlerinnen sind ausführlich untersucht worden (v. FRISCH 1965, SEELEY 1997, SCHMIDT-HEMPEL 1987a und b). Die Honigbiene beutet ihre Trachtquellen sehr effektiv aus und berücksichtigt beim Nektarsammeln Entfernung und Ergiebigkeit der Blüten.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu untersuchen, ob sich Pollensammlerinnen unter standardisierten Bedingungen in der Sammelaktivität (Anzahl Sammelflüge je Stunde) und dem Sammelerfolg (Gewicht der Pollenhöschen) unterscheiden. Wenn es Unterschiede in der Sammelaktivität und im Sammelerfolg gibt, lassen sich diese kategorisieren und einer Sammelstrategie zuordnen? Gibt es Arbeiterinnen, die häufig ausfliegen und mit kleinen Pollenhöschen heimkehren? Tragen Arbeiterinnen mit geringer Pollensammelaktivität besonders schwere Höschen?

Das Pollensammelverhalten ist auf Grund der geringen Bevorratung im Bienenvolk schwierig zu untersuchen. Künstliche Pollensammelstellen werden von freifliegenden Tieren nur selten akzeptiert. Aus diesem Grund wurden die Versuche in einem Flugraum durchgeführt. Dies bot die Möglichkeit, unter standardisierten Bedingungen das Pollensammelverhalten von Arbeiterinnen ohne Sammelerfahrung auf Blüten zu beobachten.

5.2 *Material und Methode*

5.2.1 *Ausstattung des Flugraums*

Die Untersuchungen zum Pollensammelverhalten wurden 2003 unter standardisierten Bedingungen in einem Flugraum durchgeführt. Der Flugraum hatte eine Grundfläche von 2 m x 2 m und eine Höhe von 2 m. Die Beleuchtung erfolgte über sechs Leuchtstoffröhren mit einer 12 Stunden andauernden Lichtphase (8:00 Uhr bis 20:00 Uhr) und einer 12 Stunden andauernden Dunkelphase. Die Lichtphase begann und endete mit einer 30 Minuten dauernden Dämmerungsphase, in welcher nur drei der sechs Leuchtstoffröhren eingeschaltet waren. Die Tiere nutzten die abendliche Dämmerung nach kurzer Eingewöhnung zum Heimflug, so dass die Flugbienenverluste durch Tiere, welche die Nacht außerhalb des Bienenstocks verbrachten, gering waren.

Die weißgestrichenen Wände des Flugraums waren mit Netzen bespannt und der Boden mit Papier ausgelegt. Netze und Papier wurden bei Verkotung ausgetauscht, um Krankheiten vorzubeugen. Der Luftfeuchte im Flugraum betrug zwischen 60 und 80 %. Die Temperatur schwankte in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der durch die Beleuchtung entstehenden Wärme zwischen 12 und 34 °C.

Den Tieren wurde als Nektarersatz eine zweimolare Zuckerlösung an einem Futtergefäß mit Rillenplättchen angeboten. Der Pollen wurde offen in einem flachen Teller angeboten, so dass viele Tiere gleichzeitig die Futterstelle besuchen und die Tiere einfach beobachtet werden konnten (siehe Abb. 23).

Der angebotene Pollen stammte aus einer Berufsimkerei, die diesen Pollen durch den Einsatz von Pollenfallen gewonnen hat. Pollenfallen bestehen aus einem Lochgitter mit Auffangschale am Flugloch, das heimkehrende Sammlerinnen passieren müssen, um in den Stock zu gelangen. Die Pollensammlerinnen streifen ihre Pollenhöschen beim Passieren des Gitters ab. Die gesammelten Pollenhöschen wurden tiefgefroren und vor dem Einsatz im Flugraum in einer elektrischen Kaffeemühle gemahlen.



Abb. 23: Höselnde Sammlerinnen am Pollenteller

5.2.2 Bildung des Versuchsvolkes

Die Versuche fanden mit einem Bienenvolk statt, das aus etwa 3000 Tieren bestand und drei Waben im Deutsch-Normal-Maß belagerte. Für den Versuch war es erforderlich, dass die Tiere über keine Sammelerfahrung auf Blüten verfügten. Das Volk sollte aber aus Arbeiterinnen aller Altersstufen bestehen. Aus diesem Grund wurde das Versuchsvolk wie folgt gebildet: In einem Wirtschaftsvolk wurde eine Brutwabe gekäfigt, deren Arbeiterinnen ein bis zwei Tage vor dem Schlupf standen. Das Drahtgewebe der Wabentasche hatte eine Maschenweite von drei Millimetern, so dass Kontakte und Trophallaxis zwischen den Arbeiterinnen der Wabentasche und des restlichen Volkes möglich waren.

Acht Tage nach Käfigen der Brutwabe wurde die Wabentasche entnommen und die Wabe mit den gekäfigten Bienen und der Königin des Volkes in einen Ablegerkasten für drei Waben eingesetzt. Den Bienen wurde eine Brutwabe mit Brut in allen Entwicklungsstadien (Eier, Larven und Puppen) sowie eine Futterwabe mit Honig und Pollen zugesetzt. Das Volk wurde in den Flugraum eingesetzt und am dritten Tag besuchten die ersten Sammlerinnen die Futterstellen.

5.2.3 Datenaufnahme

Im Rahmen der Versuche wurde der Sammelerfolg der Pollensammlerinnen über das Gewicht der Pollenhöschen bestimmt. Die Sammelaktivität wurde durch die Anzahl der Sammelflüge je Zeiteinheit erfasst. Zunächst wurden möglichst viele Sammlerinnen an der Pollensammelstelle mit farbigen und nummerierten Opalithplättchen markiert.

Für die Bestimmung des Gewichts der Pollenhöschen wurden individuell markierte Sammlerinnen am Flugloch mit einem Fangröhrchen abgefangen. Den Tieren wurde mit Hilfe einer gebogenen Nadel das Pollenhöschen abgenommen (siehe Abb. 24). Die Pollenhöschen wurden in Eppendorf-Reaktionsgefäße gegeben und im Labor auf einer Feinwaage (Mettler AF 261) gewogen.

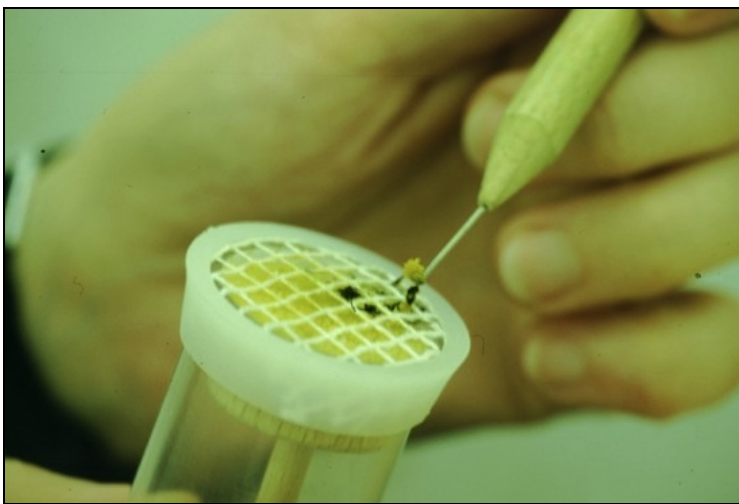


Abb. 24: Abnahme des Pollenhöschens einer Sammlerin.

Die Pollensammelaktivität wurde über Fluglochbeobachtungen bestimmt. Eine Beobachtungseinheit dauerte 60 Minuten und war in Intervalle von fünf Minuten aufgeteilt. Die Anzahl unmarkierter und individuell markierter heimkehrender Pollensammlerinnen wurde für jedes Intervall erfasst. Aus diesen Daten konnte die Anzahl der Sammelflüge je Stunde für einzelne Arbeiterinnen und die Sammelaktivität in Bezug auf die Pollensammelaktivität aller Bienen bestimmt werden.

In die Auswertung gehen die Daten von 43 Tieren ein, von denen mindestens fünf Pollenhöschen und mindestens fünf Beobachtungsstunden vorliegen. Aus den Daten wurden Mittelwerte gebildet, so dass für jedes Tier ein mittleres Pollenhöschengewicht und eine mittlere Sammelaktivität vorliegt. Diese Daten wurden mit Hilfe des Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN miteinander korreliert (SIEGEL 1997).

Für den Vergleich von Sammlerinnen mit unterschiedlichem Höschengewicht bzw. unterschiedlicher Sammelaktivität wurde der H-Test nach KRUSKAL und WALLIS und der U-Test nach MANN und WHITNEY eingesetzt (SACHS 1997).

5.3 Ergebnisse

Es gibt zwischen den 43 Sammlerinnen große individuelle Unterschiede, sowohl in der Sammelaktivität ($\chi^2 = 111$; FG = 42; $p < 0,001$; H-Test) als auch im Sammelerfolg ($\chi^2 = 138$; FG = 43; $p < 0,001$; H-Test). In Abb. 25 sind die mittleren Pollenhöschengewichte und Sammelaktivitäten von 9 Arbeiterinnen exemplarisch dargestellt. Von diesen Tieren liegen 10 und mehr Datensätze vor. Das mittlere Pollenhöschengewicht reicht innerhalb der 43 Datensätze von 5,5 mg bis zu 15,9 mg. Die mittlere Sammelaktivität von 2 bis zu 7 Sammelflügen je Stunde.

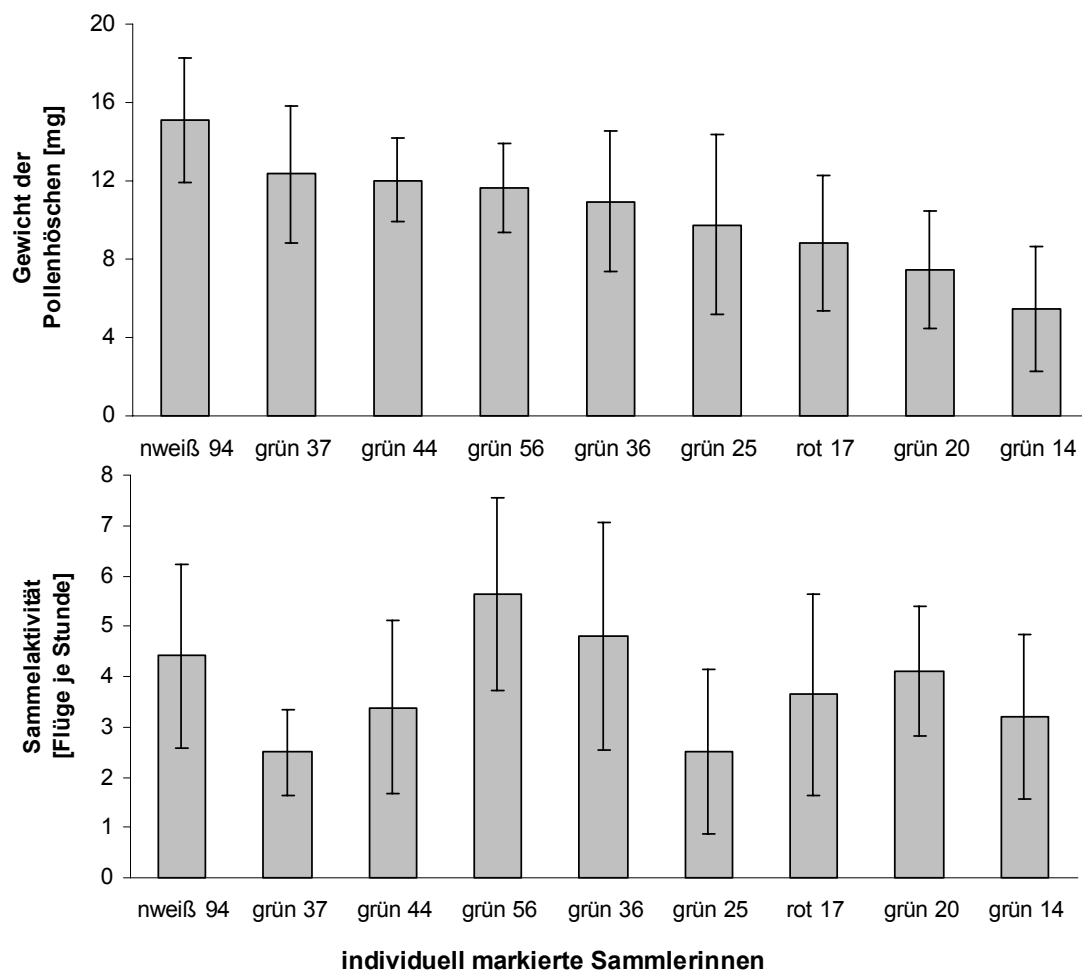


Abb. 25: Gewicht der Pollenhöschchen und Sammelaktivität individuell markierter Arbeiterinnen. Dargestellt sind die Mittelwerte und Standardabweichungen ($n \geq 10$).

Die Korrelation zwischen Sammelerfolg und Sammelaktivität ist in Abb. 26 dargestellt. Es gibt keine signifikante Korrelation zwischen dem mittleren Gewicht der Pollenhöschen und der Anzahl der Sammelflüge je Stunde ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,176$; $p = 0,264$, $n = 43$). Aus der Gesamtzahl der Pollensammelflüge je Beobachtungsstunde und der Anzahl Sammelflüge individuell markierter Tiere wurde die Sammelaktivität in Prozent berechnet. Auch die Korrelation zwischen mittlerem Pollenhöschengewicht und mittlerer Sammelaktivität in Prozent ist nicht signifikant ($r_{\text{SPEARMAN}} = 0,186$; $p = 0,236$; $n = 43$).

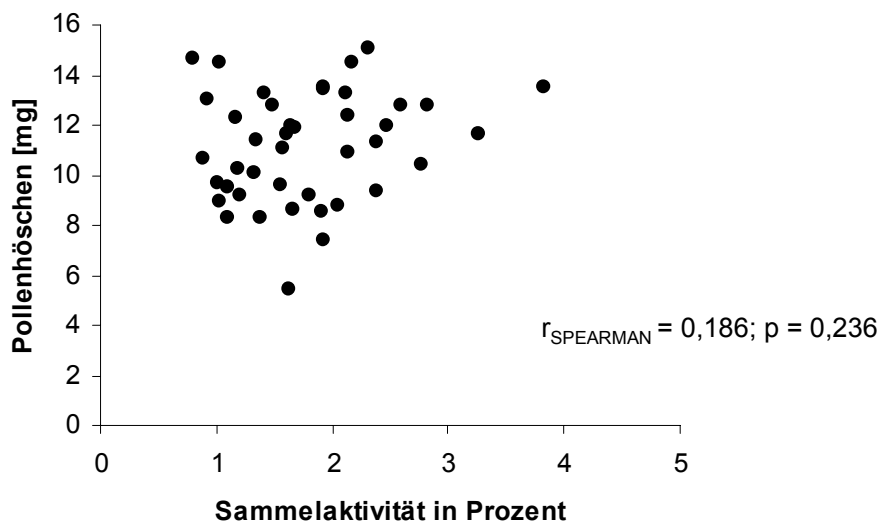
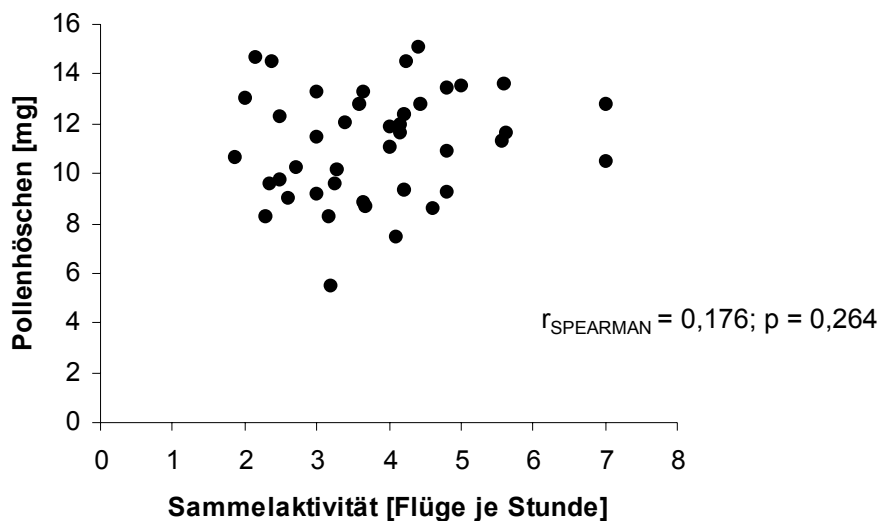


Abb. 26: Korrelation zwischen dem mittleren Gewicht der Pollenhöschen und der Sammelaktivität ($n = 43$). Die Sammelaktivität in Prozent berechnet sich aus dem Anteil der Sammelflüge einer einzelnen Sammlerin an der Gesamtzahl der Sammelflüge während einer Beobachtungsstunde.

In Abb. 27 sind die Sammelaktivitäten von Arbeiterinnen mit einem hohen und einem niedrigen mittleren Pollenhöschengewicht gegenübergestellt. Als Grenze für die Einstufung des mittleren Pollenhöschengewichtes wurde das erste bzw. dritte Quartil gewählt. Es gibt zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede in der mittleren Sammelaktivität ($U = 70$; $z = -7,44$; $p = 0,476$; U-Test). Sammlerinnen mit einem hohen Pollenhöschengewicht zeigen keine höhere Sammelaktivität als Tiere mit einem niedrigen Pollenhöschengewicht. Dies gilt auch für die Sammelaktivität in Prozent ($U = 60,5$; $z = -1,23$; $p = 0,218$; U-Test).

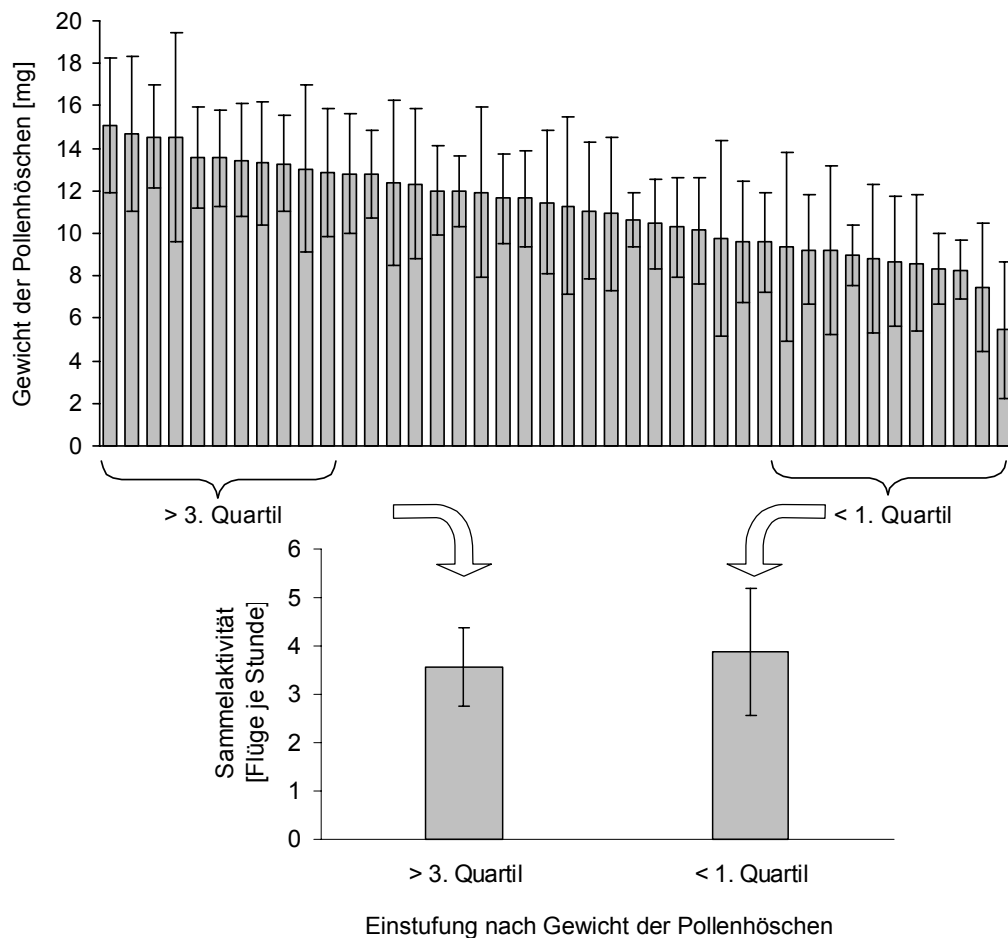


Abb. 27: Sammelaktivität [Flüge je Stunde] von Pollensammlerinnen mit einem hohen und niedrigen mittlerem Pollenhöschengewicht. Gegenübergestellt sind die Sammelaktivitäten von Tieren, deren mittleres Pollenhöschengewicht oberhalb des dritten bzw. unterhalb des ersten Quartils liegt. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen.

Zur Gegenüberstellung von Pollensammlerinnen mit hoher und niedriger Pollensammelaktivität wurden ebenfalls Tiere mit Werten ober- bzw. unterhalb des ersten bzw. dritten Quartils miteinander verglichen. Sammlerinnen mit hoher bzw. niedriger Aktivität unterscheiden sich nicht signifikant im Gewicht ihrer Pollenhöschchen ($U = 65$; $z = -0,707$; $p = 0,480$; U-Test).

5.4 Diskussion

Es gibt auch unter standardisierten Bedingungen im Flugraum große Unterschiede in der Pollensammelaktivität und im Gewicht der Pollenhöschchen zwischen den einzelnen Arbeiterinnen (siehe Abb. 21). Das Gewicht der Pollenhöschchen reicht trotz des einheitlichen Pollenangebotes von 5,5 mg bis zu 15,9 mg. Auch in der Pollensammelaktivität gibt es eine hohe Variabilität von 2 bis 7 Flügen je Stunde.

Eine Korrelation zwischen Sammelaktivität und Sammelerfolg gibt es nicht. Häufig ausfliegende Bienen tragen nicht besonders schwere oder besonders leichte Höschchen. Es gibt sowohl Tiere mit hoher Sammelaktivität und schweren Pollenhöschchen als auch Tiere mit hoher Sammelaktivität und leichten Höschchen (siehe Abb. 26 und Abb. 17).

Es ist natürlich denkbar, dass verschiedene Faktoren vorhandene Effekte überlagern. Während der Versuche wurde ein möglicher Lern- oder Ermüdungsprozess der Tiere nicht berücksichtigt. Eine zeitliche Reihung vom ersten bis zum fünften oder zehnten Pollenhöschchen ist nicht möglich, da die Tiere auch außerhalb der Beobachtungszeiten an der Pollenschale sammeln konnten. Die Pollenvorräte des Volkes und die Größe des Brutnestes wurden während der Versuche möglichst konstant gehalten und regelmäßig kontrolliert. Dennoch waren geringe Schwankungen unvermeidbar, die eventuell das Sammelverhalten der Tiere beeinflusst haben könnten.

Eine hohe Variabilität im Pollensammelverhalten wurde auch von PAGE et al. (1995) beschrieben, die Bienenvölker mit großen und geringen Pollenvorräten selektierten. Bereits nach fünf Generationen konnten „high-strain“ Völker mit einer sechsfach höheren Polleneinlagerung im Vergleich zu „low-strain“ Völkern unterschieden werden. Brut aus diesen „high-strain“ und „low-strain“ Völkern wurde in andere Völker eingesetzt und die geschlüpften Bienen individuell markiert. Beobachtungen dieser Tiere zeigten, dass Tiere aus „high-strain“ Völkern häufiger zu Pollensammlerinnen wurden, als Tiere aus „low-strain“ Völkern. Nach PANKIW und PAGE (1999 und 2001) können diese Tiere auch den Pollenbedarf im Volk besser wahrnehmen als Arbeiterinnen aus „low-strain“ Völkern.

Die Ursache für die große Variabilität im Pollensammelverhalten ist vermutlich der saisonale Bedarf des Bienenvolkes. Pollen wird als Eiweißressource von den Bienen zur Brutaufzucht benötigt (ZANDER und BÖTTCHER 1979). Jungbienen konsumieren den Pollen, so dass sich ihre Hypopharynxdrüsen entwickeln können. Der in diesen Drüsen produzierte proteinreiche Futtersaft wird von den Bienen an die Larven verfüttert. Ist das Brutnest klein oder das Bienenvolk während der Überwinterung brutfrei nimmt der Pollenbedarf stark ab.

SEELEY (1997) interpretiert die geringen Polleneinlagerungen von ca. 1 kg als Anpassung an diese Saisonalität. Eine weitere Polleneinlagerung benötigt Platz und damit Wabenraum, der dann nicht für Brut oder Honig zur Verfügung steht. SEELEY argumentiert, dass das Bienenvolk sich einem veränderten Pollenbedarf anpassen kann, indem zusätzliche Sammlerinnen rekrutiert und schwerere Höschchen gesammelt werden.

Eine solche Anpassung erfordert allerdings ein großes Verhaltensrepertoire, da sich das Trachtangebot, die Entfernung, Verteilung und Ergiebigkeit der Pollenquellen während der Vegetationsperiode ständig ändert.

Das Bienenvolk investiert in das Sammeln von Pollen einerseits Energie, welche die einzelne Arbeiterin für den Sammelflug benötigt. Andererseits steht einer gesammelten Pollenmenge ein bestimmtes Sammelrisiko gegenüber. Prädatoren oder ungünstige Witterung können zum Verlust der Sammlerin führen. Abhängig von den äußeren Bedingungen können Sammlerinnen mit kleineren Pollenhöschchen aber kurzen Sammelflügen die Pollenversorgung des Volkes besser sichern, als Tiere, die längere Zeit ausfliegen um große Pollenhöschchen zu bilden.

Die große Variabilität im Pollensammelverhalten gibt der Honigbiene die Möglichkeit, auf veränderte Bedürfnisse jederzeit effektiv zu reagieren und erlaubt es ihr, auf eine Investition in große Pollenvorräte zu verzichten.

6. Diskussion

Die vorliegenden Daten zeigen, dass Honigbienen und Hummeln Trachten sehr unterschiedlich nutzen und auch innerhalb eines Honigbienenvolkes eine hohe Individualität im Sammelverhalten vorhanden ist.

Die Untersuchungen an der Silberlinde haben gezeigt, dass Honigbienen nur an Tagen mit hoher Nektarverfügbarkeit am Baum sammeln. Hummeln dagegen sammeln bereits zu Beginn der Blühphase und ein Teil der Sammlerinnen besucht die Silberlinde auch dann, wenn nur noch wenige Blüten Nektar bieten (siehe Abb. 5 und Abb. 6).

Dieses Verhalten ist vermutlich auf Unterschiede in der Lebensweise zurückzuführen. Honigbienen können am Ende der Lindentracht, wenn nur noch wenige Blütenpflanzen Nektar und Pollen darbieten, auf eingelagerte Vorräte im Volk zurückgreifen. Den einjährigen Hummelvölkern stehen nur Energiereserven für wenige Tage zur Verfügung. Sie müssen auch bei geringem Angebot zur Nahrungssuche ausfliegen. Denkbar ist allerdings auch eine Bindung der Hummeln an die Silberlinde über einen attraktiven Duft. Eine solche, für alle Kasten attraktive Substanz, könnte die spätblühende Linde bilden, um den Besuch von potentiellen Bestäubern zu sichern.

Eine enge Korrelation zwischen Nektarverfügbarkeit und Sammelverhalten konnte im Rahmen der Sortenversuche für Sommerraps belegt werden. Die Sorten Lirawell und Lisonne sezernierten mehr Nektar als die Sorten Callypso und Licosmos. Sie wurden auch intensiver befliegen (siehe Abb. 8).

Zwischen den untersuchten Sonnenblumensorten gibt es Unterschiede in der Attraktivität für Honigbienen und Hummeln. Die Sorte Capella wurde sowohl von Honigbienen als auch Hummeln intensiver befliegen als die Sorten AS671 und Sunny (siehe Abb. 10). Es konnte von keiner Sorte Nektar pipettiert werden und alle Sorten boten Pollen dar. Die Unterschiede in der Attraktivität sind entweder auf nicht messbare Unterschiede in der Nektarverfügbarkeit zurückzuführen oder auf Faktoren wie z. B. das Duftbouquet. Unterschiede im Duftbouquet verschiedener Sonnenblumensorten konnten von PHAM-DÉLEGUE et al. (1985 und 1991) nachgewiesen werden. Honigbienen können diese Unterschiede im Duftbouquet wahrnehmen.

Hummeln und Honigbienen verhalten sich auf den Blütenständen der Sonnenblume sehr unterschiedlich. Hummeln besuchen mehr Blüten je Zeiteinheit als Honigbienen. Diese Verhaltensunterschiede zwischen Honigbienen und Hummeln auf Sonnenblumen wurden auch von HEDTKE (1996) beschrieben. Ursache für diese Unterschiede könnte die Fähigkeit der Honigbiene sein, geringere Nektarmengen als die Hummel zu detektieren und aufzunehmen.

Der Blütenbesuch von Honigbienen spiegelt sich in der Nektarverfügbarkeit der besuchten Blüten wider. Die Beobachtungen zum Sammelverhalten und zur Trachtnutzung im Winterraps haben gezeigt, dass die Tiere vermehrt in der Nähe des Bienenstandes Nektar sammelten (siehe Abb. 18). An Tagen mit intensivem Bienenflug war die Nektarverfügbarkeit und die Anzahl nektarführender Blüten in den Abendstunden in unmittelbarer Nähe des Bienenstandes signifikant geringer als in einer Entfernung von 200 m (siehe Abb. 20).

Der deutliche Aktivitätsgradient im Winterrapsversuch ergänzt Daten anderer Autoren, die Sammelareale von Honigbienen und Hummeln untersucht haben. Bei einer hohen Blütendichte mit reichhaltigem Nektar- und Pollenangebot können die Sammelareale von Bienen nur wenige Quadratmeter betragen (MINDERHOUD 1931 und BUTLER et al. 1943). Honigbienen sind zwar in der Lage auch weit entfernte Trachtquellen auszu-beuten, nutzen aber zunächst Nektar- und Pollenressourcen in der Nähe. Ein langer Trachtflug kostet Energie und bedeutet ein zusätzliches Risiko (SCHMIDT-HEMPEL et al. 1985, SCHMIDT-HEMPEL 1986, 1987a und b).

Die Anzahl Bienenvölker je Flächeneinheit beeinflusst die Bienendichte und mit zunehmender Entfernung vom Standort der Bienenvölker nimmt die Sammelaktivität der Arbeiterinnen ab (siehe Tab. 6 und Abb. 18). Die in den durchgeführten Versuchen erzielten Unterschiede in der Bienendichte zwischen den Versuchsflächen und der Aktivitätsgradient mit zunehmender Entfernung vom Bienenstand hatte keinen Einfluss auf den Blühverlauf, die Bestäubung oder den Ertrag des Rapses.

Zur Zeit der Rapsblüte konkurrieren viele Blütenpflanzen um Bestäuber und zu Beginn des Winterrapsversuches waren Löwenzahn ebenso wie verschiedene Obstblüten für die Honigbienen ebenso attraktiv wie der Raps. Fremdbestäubung ist für die Kulturpflanze Raps mit hoher Pflanzendichte und großen Anbauflächen auch ohne blütenbesuchende Insekten möglich. Der positive Einfluss von Wind auf die Bestäubung im Winterraps wurde von WILLIAMS et al. 1986 und MESQUIDA et al. 1982 und 1988 nachgewiesen. Liegt jedoch zwischen den Individuen oder Populationen ein größerer räumlicher Abstand, wie dies außerhalb der landwirtschaftlichen Nutzung der Fall ist, dann gewinnen Bienen zur Sicherung der Fremdbestäubung an Bedeutung und die Investition in den energiereichen Nektar ist durchaus sinnvoll.

Bereits im Freiland wurden während der Sammelflugbeobachtungen in Raps und Sonnenblume große Unterschiede im Sammelverhalten einzelner Honigbienen registriert. Heimkehrende Pollensammlerinnen unterschieden sich trotz des homogenen Trachtangebotes deutlich in ihren Pollenhöschchen. In einem Flugraum unter standardisierten Bedingungen wurde ebenfalls eine hohe Variabilität im Pollensammelverhalten beobachtet (siehe Abb. 25 bis Abb. 27). Häufig ausfliegende Sammlerinnen tragen weder besonders schwere noch besonders leichte Pollenhöschchen. Das breite Verhaltensspektrum im Zusammenhang mit dem Sammeln von Pollen bietet dem Bienenvolk die Möglichkeit, auf große Vorräte dieser saisonal benötigten Nahrungsressource zu verzichten.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die Trachtnutzung und das Sammelverhalten von Bienen durch exogene Faktoren wie das Pollen- und Nektarangebot der Pflanzen, aber auch durch endogene Faktoren wie die Lebensweise der Tiere oder individuelle Verhaltensunterschiede beeinflusst werden.

7. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde das Sammelverhalten von Bienen (Hymenoptera, *Apioidea*), unter besonderer Berücksichtigung der Honigbiene (*Apis mellifera* L.) an Linden, Raps und Sonnenblume und unter standardisierten Bedingungen in einem Flugraum untersucht.

An früh- und spätblühenden Linden wurde die Sammelaktivität von Honigbienen und Hummeln im Tagesgang und während des gesamten Blühverlaufs beobachtet. Unter der spätblühenden Silberlinde (*Tilia tomentosa* L.) wird bereits seit Jahren ein Hummelsterben beobachtet, dessen Ursachen nicht geklärt sind. Durch Aufnahme der Sammelaktivität, der Nektarverfügbarkeit und der Anzahl toter Tiere unter den Bäumen sollte bestimmt werden, ob es eine Konkurrenz zwischen Honigbiene und Hummel gibt. Es sollte überprüft werden, ob die Honigbiene den Baum vormittags, zum Zeitpunkt der Nektarsekretion, aberntet und für die Hummeln nicht mehr genügend Nektar übrig bleibt. Sie verhungern unter dem Baum. Es wurden zwei Sommerlinden (*T. platyphyllos*), eine Winterlinde (*T. cordata*) und zwei Silberlinden (*T. tomentosa*) im Stadtgebiet von Münster (Westfalen) im Jahr 2000 vergleichend untersucht.

Es gibt keine Konkurrenz zwischen Honigbiene und Hummel im Tagesverlauf. Allerdings sammeln Honigbienen nur an Tagen mit hoher Nektarverfügbarkeit an der Silberlinde. Hummeln dagegen befliegen den Baum bereits zu Beginn der Blüte und ein Teil der Tiere sucht auch dann noch nach Nektar, wenn der Baum nur noch über wenige offene Blüten verfügt. Honigbienen können vermutlich auf Grund ihrer Energiereserven die Trachtarmut am Ende der Lindenblüte überbrücken. Die geringen, nur für wenige Tage ausgelegten Vorräte der Hummelvölker zwingen die Tiere nach Nahrung zu suchen. Eine für Hummeln attraktive Substanz im intensiven Duftbouquet der Silberlinde könnte zur Bindung der Tiere an den Baum beitragen.

Das Sammelverhalten von Honigbienen und Hummeln wurde an verschiedenen Sorten von Sommerraps (*Brassica napus* L.) und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) beobachtet. Die Sorten wurden kreuzförmig ausgesät, um den Bienen im Zentrum der Versuchsanlage eine Unterscheidung zwischen den Sorten zu ermöglichen. Die Sommerrapsorten Lirawell und Lisonne sezernierten mehr als doppelt so viel Nektar im Vergleich zu den Sorten Calypso und Licosmos. Die höhere Nektarverfügbarkeit konnte mit einer höheren Sammelaktivität korreliert werden. Unter den Sonnenblumen war die Sorte Capella sowohl für Hummeln als auch Honigbienen deutlich attraktiver. Diese Attraktivität konnte nicht mit einer erhöhten Nektar- oder Pollenmenge in Verbindung gebracht werden. Hummeln zeigen gegenüber Honigbienen eine deutlich höhere Sammelgeschwindigkeit auf Sonnenblumen.

Die Beobachtungen zur Trachtnutzung von Honigbienen im Winterraps haben gezeigt, dass Honigbienen in einer Massentracht zunächst in der Nähe des Bienenvolkes sammeln. Die abnehmende Sammelaktivität mit zunehmender Entfernung vom Bienenvolk spiegelt sich in der Nektarverfügbarkeit wider. Bei einer Entfernung von 200 m vom Bienenstand konnte an Tagen mit intensiven Bienenflug in den Abendstunden mehr als doppelt so viel Nektar pipettiert werden als in einer Entfernung von 10 m.

Unterschiede in der Bienenvolldichte von 0,9 zu 2,3 Völkern je Hektar und die daraus resultierenden Unterschieden in der Individuendichte hatten keinen Einfluss auf den Blühverlauf und die Bestäubung im Winterraps. Der Gradient in der Sammelaktivität bei zunehmender Entfernung vom Bienenstand wirkt sich ebenfalls nicht auf den Ertrag aus.

Die im Freiland häufig beobachtete Variabilität im Pollensammelverhalten von Honigbienen konnte auch unter standardisierten Bedingungen im Flugraum belegt werden. Das mittlere Pollenhöschengewicht reichte von 5,5 mg bis zu 15,6 mg, die mittlere Sammelaktivität von 2 bis zu 7 Sammelflügen je Stunden. Es konnten bei Tieren mit hoher Sammelaktivität deutliche Unterschiede im Pollenhöschengewicht nachgewiesen werden. Pollen wird im Gegensatz zum energiereichen Nektar nur saisonal während der Brutphase benötigt. Der Einlagerung größerer Pollenvorräte kann durch ein flexibles Sammelverhalten vermieden werden.

Die Trachtnutzung und das Sammelverhalten von Bienen wird sowohl von der Nektar- und Pollenverfügbarkeit ihrer Trachtpflanzen als auch von der Lebensweise und individuellen Verhaltensunterschieden beeinflusst.

8. Literatur

- ALSING I (1982): Lexikon Landwirtschaft. *BLV Verlagsgesellschaft*: München, Wien, Zürich.
- ANDERSON G J (1976): The pollination biology of *Tilia*. *American Journal of Botany* 63: 1203-1212.
- ANDERSON G, OLSSON G (1961): Raps, Rüpsen. In: KAPPERT H, RUDOLF W (Hrsg.): Handbuch der Pflanzenzüchtung, Band 5: 1-66. *Verlag Paul Parey*: Berlin, Hamburg.
- BAAL T (1993): Die Ursachen des Hummelsterbens unter spätblühenden Linden. *Dissertation an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster*.
- BAAL T, DENKER B, MÜHLEN W, RIEDEL V, SURHOLT B (1992): Zusammensetzung der Zucker im Körper von Hummeln, die Lindenblüten besuchen. *Apidologie* 23: 333-335.
- BAAL T, DENKER B, MÜHLEN W, SURHOLT B (1994): Die Ursachen des Massensterbens von Hummeln unter spätblühenden Linden. *Natur und Landschaft* 69 (9): 412-418.
- BARTH F G (1982): Biologie einer Begegnung: Die Partnerschaft der Insekten und Blumen. *Deutsche Verlags-Anstalt*: Stuttgart.
- BECKER H C, DAMGAARD C, KARLSSON B (1992): Environmental variation for outcrossing rate in rapeseed (*Brassica napus*). *Theoretical and Applied Genetics* 84: 303-306.
- BELING I (1931): Beobachtungen über das Pollensammeln der Honigbiene (*Apis mellifica*). *Archiv für Bienenkunde* 12: 352-359.
- BENEDECK P, PRENNER J (1972): Effect of temperature on the behaviour and pollination efficiency of honeybee on winter rape flowers. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 71: 120-124.
- BROUWER W (1976): Handbuch des speziellen Pflanzenbaus. Band 2. *Verlag Paul Parey*: Berlin, Hamburg.
- BUNDESSORTENAMT (2001): Beschreibende Sortenliste 2001. *Landbuch Verlag*: Hannover.
- BUTLER C G, JEFFREE E P, KALMUS H (1943): The behaviour of a population of honeybees on an artificial and on a natural crop. *Journal of Experimental Biology* (20): 65-73.
- CRAMER N (1990) Raps: Züchtung, Anbau und Vermarktung von Körnerraps. *Ulmer*: Stuttgart.
- CRANE E (1977): Dead bees under lime trees. *Bee World* 58: 129-130.
- DENKER B, BAAL T, MÜHLEN W, POPP M, RIEDEL V, SURHOLT B (1992): Zuckerspektrum des Nektars spätblühender Linden. *Apidologie* 23: 331-333.

- DORNHAUS A, CHITTKA L (2004): Information flow and regulation of foraging activity in bumble bees (*Bombus* spp.). *Apidologie* 35: 183-192.
- DRELLER C, PAGE R E, FONDRK M K (1999): Regulation of pollen foraging in honeybee colonies: effects of young brood, stored pollen, and empty space. *Ethology* 108: 205-221.
- DRELLER C, TARPY C (2000): Perception of the pollen need by foragers in a honeybee colony. *Animal Behaviour* 59: 91-96.
- EWERT R (1929): Blüten und Früchten der insektenblütigen Garten- und Feldfrüchte unter dem Einfluss der Bienenzucht. *Verlag Neumann*: Neudamm.
- FEWELL J H, WINSTON M L (1992): Colony state and regulation of pollen foraging in the honey bee, *Apis mellifera* L. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 30: 387-393.
- FAO (2004): Statistical Databases of the Food and Agriculture Organisation of the United Nations (<http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=EN>).
- FREE J B (1993): Insect pollination of crops. *Academic Press*: London.
- FREE J B, FERGUSON A W (1983): Foraging behaviour of honeybees on oilseed rape. *Bee World* 72: 47-59.
- FREE J B, NUTTALL P H (1968): The pollination of oil-seed rape and the behaviour of bees on the crop. *Journal of Agricultural Science* 71: 91-94.
- FRIES I, STARK J (1983): Measuring the importance of honeybees in rapeseed production. *Journal of Apicultural Research* 22: 272-276.
- FRISCH K VON (1930): Über den Geschmackssinn der Bienen. *Naturwissenschaften* 8: 169-174.
- FRISCH K VON (1965): Tanzsprache und Orientierung der Bienen. *Springer*: Berlin, Heidelberg, New York.
- FRUWIRTH C (1922) Handbuch der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung, Band 2: 181-201. *Verlag Paul Parey*: Berlin, Hamburg.
- GEISSLER G, STECHE W (1962): Natürliche Trachten als Ursache für Vergiftungserscheinungen bei Bienen und Hummeln. *Zeitschrift für Bienenforschung* 6: 77-92.
- GODET J D (1987): Bäume und Sträucher. Einheimische und eingeführte Baum- und Straucharten. *Arobris-Verlag*: Hinterkappeln, Bern.
- GOULSON D (2003): Bumblebees: their behaviour and ecology. *Oxford University Press*: Oxford, New York.
- HEDTKE C (1996): Untersuchungen zur Bestäubung der Sonnenblume (*Helianthus annuus*) durch *Apis mellifera* und *Bombus*. *Apidologie* 24: 268-230.

- HEDTKE C (1998): Die Sonnenblume – ihre Bedeutung als Bienenweide. *Deutsches Bienenjournal* 11: 459-462.
- HEDTKE C (2000a): Die Sonnenblume als Trachtpflanze. Das Honigen verschiedener Sonnenblumensorten. *Deutsches Bienenjournal* 7: 283-285.
- HEDTKE C (2000b): Gentechnisch veränderter Raps als Trachtquelle von Honig- und Wildbienen bei Freisetzungsversuchen. *Deutsches Bienenjournal* 4: 109-110.
- HEDTKE C (2000c): Nektar- und Pollenproduktion transgener und konventioneller Rapsblüten. *Deutsches Bienenjournal* 3: 109-110.
- HEINRICH B (1974): Pheromone induced brooding behaviour in *Bombus vosnesenskii* and *B. edwardsii* (Hymenoptera: Bombidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*: 47: 369-404.
- HEINRICH B (1976): "Foraging specializations of individual bumblebees. *Ecological Monographs*: 46: 105-128.
- HEINRICH B (1979a): Der Hummelstaat. *List Verlag*: München, Leipzig.
- HEINRICH B (1979b): "Majoring" and "Minoring" by foraging bumblebees, *Bombus vagans*: an experimental analysis. *Ecology*: 60: 245-255.
- HESS D (1983): Die Blüte. *Ulmer Verlag*: Stuttgart.
- HODGES D (1952): The pollen loads of the honeybee. *Bee Research Association*: London.
- HÜSING J O, NITSCHMANN J (1987): Lexikon der Bienenkunde. *Ehrenwirth*: München.
- JEFFREY E P, ALLEN M D (1957): The annual cycle of pollen storage by honey bees. *Journal of Economic Entomology* 48: 723-726.
- KUGLER H (1970): Einführung in die Blütenökologie. *Gustav Fischer Verlag*: Jena.
- LE MÉTAYER M, MARION-POLL F, SANDOZ J C, PHAM-DÈLEGUE M H, BLIGHT M M, WADHAMS L J, MASSON C, WOODCOCK C M (1997): Effect of conditioning on discrimination of oilseed rape volatiles by the honeybee: use of a combined gas chromatography-proboscis extension behavioural assay. *Chemical Senses* 22: 391-398.
- LERIN J (1982): Effets de la pollinisation entomophile sur le colza dans une expérience en cage. *Agronomie* 2: 249-256.
- MADEL G (1977): Vergiftungen von Hummeln durch den Nektar der Silberlinde *Tilia tomentosa* MOENCH. *Bonner zoologische Beiträge* 28: 149-154.
- MANN S (2001): Nachwachsende Rohstoffe. *Ulmer*: Stuttgart.
- MAURIZIO A (1943): Bienenschäden während der Lindentracht. *Schweizerische Bienenzeitung* 9: 376-380.
- MAURIZIO A, SCHAPER F (1994): Das Trachtpflanzenbuch. Nektar und Pollen – die wichtigsten Nahrungsquellen der Honigbiene. *Ehrenwirth*: München.

- MAUS V (1994): Bestimmungsschlüssel für die Hummeln der Bundesrepublik Deutschland. *Deutscher Jugendbund für Naturbeobachtung*: Hamburg
- MESQUIDA J, RENARD M (1981): Pollinisation du colza d'hiver male-fertile et male-stérile (*Brassica napus* var. *oleifera* METZGER L.) par l'abeille domestique (*Apis m. mellifica* L.). Effets sur la phénologie et le rendement. *Apidologie* 12: 345-362.
- MESQUIDA J, RENARD M (1982): Étude de la dispersion du pollen par le vent et de l'importance de la pollinisation anémophile chez le colza (*Brassica napus* var. *oleifera* METZGER L.). *Apidologie* 13: 353-366.
- MESQUIDA J, RENARD M, PIERRE J (1988): Rapeseed (*Brassica napus* L.) productivity : The effect of honeybees (*Apis mellifera* L.) and different pollination conditions in cage and field tests. *Apidologie* 19: 51-72.
- MEYERHOFF G (1958): Zum Sammelverhalten der Bienen im Raps. *Leipziger Bienenzeitung* 72: 164-165.
- MICHENER C D (1999): The corbiculae of bees. *Apidologie* 30: 67-74.
- MINDERHOUD A (1931): Untersuchungen über das Betragen der Honigbiene als Blütenbestäuberin. *Gartenbauwissenschaft* 4: 342-362.
- MOHR N A, JAY S C (1988): Nectar- and pollen-collecting behaviour of honeybees on canola (*Brassica campestris* L. and *Brassica napus* L.). *Journal of Apicultural Research* 27: 131-136.
- MOOSBECKHOFFER R, BRETSCHKO J (1996): Naturgemäße Bienenzucht. *Leopold Stocker Verlag*: Graz, Stuttgart.
- MÜHLEN W, RIEDEL V, BAAL T, DENKER B, SURHOLT B (1992): Totenfall von Insekten unter spätblühenden Linden: Eine Analyse unter Berücksichtigung von Art, Kaste und Geschlecht. *Apidologie* 23: 329-331.
- MÜHLEN W, RIEDEL V, BAAL T, SURHOLT B (1994): Insektensterben unter blühenden Linden. *Natur und Landschaft* 69: 95-100.
- MÜLLER A, KREBS A, AMIET F (1997): Bienen – Mitteleuropäische Gattungen, Lebensweise, Beobachtung. *Naturbuchverlag*: München.
- PAGE R E, WADDINGTON K D, HUNT G J, FONDRK M K (1995): Genetic determination of honey bee foraging behaviour. *Animal Behaviour* 50: 1617-1625.
- PANKIW T, PAGE R E (1999): The effect of genotype, age, sex and caste on response thresholds to sucrose and foraging behaviour of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Behavioural Ecology and Sociobiology* 185: 207-213.
- PANKIW T, PAGE R E (2001): Genotype and colony environment affect honeybee (*Apis mellifera* L.) development and foraging behaviour.. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 51: 87-94.

- PHAM-DÈLEGUE M H, BAILEZ O, BLIGHT M M, MASSON C, PICARD-NIZOU A L, WADHAMS L J (1993): Behavioural discrimination of oilseed rape volatiles by the honeybee *Apis mellifera* L. *Chemical Senses* 18: 483-494.
- PHAM-DÈLEGUE M H, BLIGHT M M, KERGUELEN V, LE MÉTAYER M, MARION-POLL F, SANDOZ J C, WADHAMS L J (1997): Discrimination of oilseed rape volatiles by the honeybee: combined chemical and biological approaches. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 83: 87-92.
- PHAM-DÈLEGUE M H, ETIÉVANT P, MASSON C (1991): Allelochemicals mediating foraging behaviour: the bee-sunflower model. In: GOODMAN L J, FISHER R C (Hrsg): The behaviour and physiology of bees. *C A B International*: Oxford. 163-184.
- PHAM-DÈLEGUE M H, MASSON C, ETIÉVANT P, AZAR M (1985): Selective olfactory choices of the honeybee among sunflower aromas: A study by combined olfactory conditioning and chemical analysis. *Journal of Chemical Ecology* 12: 781-792.
- PICARD-NIZOU A L, KERGUELEN V, PHAM-DÈLEGUE M H (1992): Analyse der Abfolge des Sammelverhaltens von Honigbienen auf einer transgenischen und einer Kontrolllinie. *Apidologie* 23: 483-485.
- PIERRE J, MESQUIDA J, MARILLEAU R, PHAM-DÈLEGUE M H, RENARD M (1999): Nectar secretion in winter oilseed rape, *Brassica napus* – quantitative and qualitative variability among 71 genotypes. *Plant Breeding* 118: 471-476.
- PIERRE J, RENARD M (1999): Plant development mutants: incidence on honey bees behaviour and pollination. *Proceedings of the 10th International Rapeseed Congress 26 – 29 Sept. 1999, Canberra, Australia*: CD Rom, 5 Seiten.
- PINSdorf W (1989): Hummelsterben wegen Silberlinden. *Landwirtschaftliches Wochenblatt* 30: 29-30.
- POKORNY J (1986): Bäume. *Artia*: Prag.
- RIBBANDS C R (1949): The foraging method of individual honeybees. *Journal of Animal Ecology* 18: 47-66.
- RULAND W (2001): Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Referat Landbau, 45147 Münster, persönliche Mitteilung.
- RUTZ H W (1998): Das gesamte Bundesrecht über Pflanzensorten und Saatgut mit Ausnahme der Bestimmungen über forstliches Saat- und Pflanzgut. *Agrimedia*: Bergen/Dumme.
- SACHS L (1997): Angewandte Statistik: Anwendung statistischer Methoden. *Springer*: Heidelberg.
- SCHMIDT-HEMPEL P (1984): The importance of handling time for the flight directionality in bees. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 15: 303-309.

- SCHMIDT-HEMPEL P (1986): Do honeybees get tired? The effect of load weight on patch departure. *Animal Behaviour* 34: 1243-12450.
- SCHMIDT-HEMPEL P (1987a): Efficient nectar-collecting by honeybees. I Economic Models. *Journal of Animal Ecology* 56: 209-218.
- SCHMIDT-HEMPEL P (1987b): Efficient nectar-collecting by honeybees. II Response to factors determining nectar availability. *Journal of Animal Ecology* 56: 219-2127.
- SCHMIDT-HEMPEL P, KACELNIK A, HOUSTON A I (1985): Honeybees maximise efficiency by not filling their crop. *Behavioural Ecology and Sociobiology* 17: 61-66.
- SCHUSTER W H (1992): Ölpflanzen in Europa. *DLG-Verlag*: Frankfurt am Main.
- SEELEY T D (1997): Honigbienen: Im Mikrokosmos des Bienenstocks. *Birkhäuser*: Basel, Boston, Berlin.
- SEIFERT M (1968): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau. *Deutscher Landwirtschaftsverlag*: Berlin.
- SIEGEL S (1997): Nichtparametrische statistische Methoden. *Verlag Dietmar Klotz*: Eschborn / Frankfurt am Main.
- SLADEN F W L (1912): How pollen is collected by the honey bee. *Nature* 88: 586-587.
- SOLS A, CADENAS E, ALVARADO F (1960): Enzymatic basis of mannose toxicity in honeybees. *Science* 131: 297-298.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2003): Statistisches Jahrbuch 2003.
- STAUDENMEYER, T (1939): Die Giftigkeit der Mannose für Bienen und andere Insekten. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie* 26: 644-688.
- STEFFAN-DEWENTER I (2003): Seed set of male-sterile and male-fertile oilseed rape (*Brassica napus*) in relation to pollinator density. *Apidologie* 34: 227-235.
- STRYER L (1994): Biochemie. *Spektrum Akademischer Verlag*: Heidelberg, Berlin, Oxford.
- SURHOLT B, BAAL T (1995): Die Bedeutung blühender Silberlinden (*Tilia tomentosa*) für Insekten im Hochsommer. *Natur und Landschaft* 70 (6): 252-258.
- SURHOLT B, DENKER B, BAAL T, MÜHLEN W (1992): Ist Silberlindennectar für Hummeln giftig? Ein Video-Protokoll von Freilandexperimenten. *Apidologie* 23: 335-337.
- THIERY D, BLUET J M, PHAM-DÈLEGUE M H, ETIÉVANT P, MASSON C (1990): Sunflower aroma detection by the honeybee. *Journal of Chemical Ecology* 16: 701-711.
- VON DER OHE W, DUSTMANN J H, VON DER OHE K (1999): Untersuchung von Winterrapshybriden und Liniensorten auf Unterschiede im Pollengehalt. *Deutsches Bienenjournal* 4: 145-146.

- WESTRICH P (1990): Die Wildbienen Baden-Württembergs. *Ulmer*: Stuttgart.
- WILLIAM I H, MARTIN A P, WHITE R P (1986): The pollination requirements of oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science* 106: 27-30.
- WILLIAM I H, MARTIN A P, WHITE R P (1987): The effect of insect pollination on plant development and seed production in winter oil-seed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science* 109: 135-139.
- WILLIAMS I H, SIMPKINS J (1989): Honeybee pollination of the double low oil-seed rape cultivar Ariana. *Aspects of Applied Biology* 23: 343-346.
- WILSON E O (1971): The insect societies. *Harvard University Press*: Cambridge, Massachusetts.
- WINSTON M L (1987): The biology of the honey bee. *Harvard University Press*: Cambridge, Massachusetts.
- ZANDER E (1952): Raps und Biene. *Zeitschrift für Bienenforschung*. 1: 135-140.
- ZANDER E, BÖTTCHER K (1979): Haltung und Zucht der Biene. *Ulmer*: Stuttgart.
- ZUCCHI H (1996): Ist die Silberlinde rehabilitiert? Zur Diskussion um das Hummelsterben an spätblühenden Linden. *Natur und Landschaft* 71: 47-50.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. Wolfgang H. Kirchner und Herrn Dr. Werner Mühlen möchte ich für die Betreuung dieser Arbeit und ihre ständige Gesprächsbereitschaft danken.

Herrn Prof. Dr. Henning Haeupler sei für die Übernahme des Zweitgutachtens herzlich gedankt.

Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Aufgabengebietes Bienenkunde der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen und der Arbeitsgruppe Verhaltensbiologie und Didaktik der Biologie der Ruhr-Universität Bochum möchte ich für die herzliche Aufnahme und die angenehme Arbeitatmosphäre danken.

Für die Unterstützung bei der Datenaufnahme während der Lindenblüte möchte ich mich bei Andreas Kalthoff, Katrin Bassen und Volker Smit bedanken.

Herrn Dr. Werner von der Ohe vom Institut für Bienenkunde Celle möchte ich herzlich für die Analyse des Lindennektars danken.

Ullrich Schulze und Holger Huffelmann vom Landwirtschaftszentrum „Haus Düsse“ haben die Kulturführung während der Sortenversuche mitbetreut.

Boris Leymann und Sonja Wolters danke ich für die gemeinsame Zeit in der Bienenkunde, für ihre ständige Motivation und Bereitschaft Probleme zu besprechen und zu lösen.

Dennis Schüler und Melanie Ackemeier möchte ich für die tatkräftige Unterstützung im Flugraum und während der Rapsversuche danken.

Antje Uecker und Nina Minkley haben meine Arbeit Korrektur gelesen – dafür ein herzliches Danke.

Besonderer Dank gilt meiner Familie und allen nicht genannten Freunden für ihre Geduld und Unterstützung.

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Ingrid Illies

geboren am 15.05.1973 in Lippetal

Schulbildung

- | | |
|-------------|---|
| 08/83-06/89 | Hermann-Thormilten Hauptschule in Lippetal |
| 08/89-05/92 | Archigymnasium Soest |
| 05/92 | Allgemeine Hochschulreife |
| 08/92-06/93 | Handelsschule für Abiturienten an der Hubertus-Schwartz-Schule in Soest |

Hochschulausbildung

- | | |
|-------------|---|
| 10/93-04/99 | Biologiestudium an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster |
| 04/99 | Studienabschluss: Diplom |
| | Diplomarbeit in der Abteilung für Verhaltensbiologie betreut durch Herrn Prof. Dr. Norbert Sachser mit dem Thema: „Untersuchungen zum Austragverhalten der Honigbiene bei Einsatz verschiedener Bienenfallensysteme“. |
| seit 05/01 | Promotion in der Arbeitsgruppe Verhaltensbiologie und Didaktik der Biologie an der Fakultät für Biologie der Ruhr-Universität Bochum betreut durch Prof. Dr. Wolfgang H. Kirchner. |

Tätigkeiten während des Studiums und der Dissertation

- | | |
|--------------|---|
| 01/99-12/01: | Werkverträge mit der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen im Rahmen von EU-Projekten zur Reduzierung von Varroaziden in Honig und Wachs. |
| 05/02-12/04 | wissenschaftliche Mitarbeiterin der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen im Rahmen des Projektes „Attraktivität verschiedener Raps- und Sonnenblumensorten für Bienen“ |

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass ich die Arbeit bei keiner anderen Fakultät eingereicht habe und dass es sich bei der von mir heute eingereichten Dissertation um fünf in Wort und Bild völlig übereinstimmende Exemplare handelt. Weiterhin erkläre ich, dass digitale Abbildungen nur die originalen Daten enthalten und in keinem Fall inhaltsverändernde Bildbearbeitung vorgenommen wurde.

Ingrid Illies

Bochum, den 24.01.2005