

Analyse und ölfaktorische Steuerung bast- und holzbesiedelnder
sowie diese natürlich regulierender zoophager Insekten an
Laubbäumen als Grundlage für ein zukunftsfähiges und
nachhaltiges Risikomanagement

D I S S E R T A T I O N

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum silvaticarum

(Dr. rer. silv.)

vorgelegt

der Fakultät Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Dresden
von

Diplom-Forstwirt Michael Wehnert
geboren: in Riesa am 22.06.1982

Gutachter: Prof. Dr. Michael Müller
Prof. Dr. Mechthild Roth
Prof. Dr. Stefan Schütz

Eingereicht am: 21. August 2013
Tag der Verteidigung: 24. Februar 2014

Erklärung des Promovenden

Die Übereinstimmung dieses Exemplars mit dem Original der Dissertation zum Thema:

„Analyse und olfaktorische Steuerung bast- und holzbesiedelnder sowie diese natürlich regulierender zoophager Insekten an Laubbäumen als Grundlage für ein zukunftsfähiges und nachhaltiges Risikomanagement“

wird hiermit bestätigt.

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift (Michael Wehnert)

Abkürzungsverzeichnis allgemeiner Teil

Abkürzung	Erläuterung
A%	Prozentualer Anteil der Peakfläche an der Gesamtfläche des Chromatogramms
Abk.	Abkürzung
ALM	Allgemeines Lineares Modell
CAS	Chemical Abstract Service (= Registernummer)
GC-MS/EAD	Gaschromatograph-Massenspektrometer / elektroantennographischer Detektor
GLM	General Linear Modell (= Allgemeines Lineares Modell)
GLV	Green leaf volatile (Grünblattduftstoff)
h	Stunde
HIPV's	Herbivore induced plant volatiles (durch Pflanzenfresser induzierte Volatilabgabe)
MW	Mittelwert
n	Anzahl
n.b.	nicht bestimmt
RH	Reinheit
resp.	respektiv
Rt	Retentionszeit
SD	Standardabweichung
SPME	Festphasenmikroextraktion (engl. Solid phase microextraction)
Syn.	Synonym
VF	Versuchsfläche
VOC	Volatile Organic Compound (= flüchtige organische Verbindung)

Abkürzungsverzeichnis Artnamen

Abkürzung (kurz)	Abkürzung (lang)	Erläuterung
Elater.	Elater.	Elateridae
Gl. quad.	<i>G. quadripunctatus</i>	<i>Glischrochilus quadripunctatus</i>
H. cren.	<i>H. crenatus</i>	<i>Hylesinus crenatus</i>
Hy. pall.	<i>H. palliatus</i>	<i>Hylurgops palliatus</i>
Hyl. derm.	<i>H. dermestoides</i>	<i>Hylecoetus dermestoides</i>
Hyl. a.	<i>H. ater</i>	<i>Hylastes ater</i>
Hyl. att.	<i>H. attenuatus</i>	<i>Hylastes attenuatus</i>
Hyl. op.	<i>H. opacus</i>	<i>Hylastes opacus</i>
Hylu. lign.	<i>H. ligniperda</i>	<i>Hylurgops ligniperda</i>

Abkürzung (lang)	Abkürzung (kurz)	Erläuterung
I. ac.	<i>I. acuminatus</i>	<i>Ips acuminatus</i>
I. sex	<i>I. sexdentatus</i>	<i>Ips sexdentatus</i>
I. typ.	<i>I. typographus</i>	<i>Ips typographus</i>
L. var.	<i>L. varius</i>	<i>Leperisinus varius</i>
Ne. el.	<i>N. elongatum</i>	<i>Nemosoma elongatum</i>
P. ch.	<i>P. chalcographus</i>	<i>Pityogenes chalcographus</i>
Phy. dep.	<i>P. depressus</i>	<i>Pytho depressus</i>
Rh. depr.	<i>R. depressus</i>	<i>Rhizophagus depressus</i>
Rh. bip.	<i>R. bipustulatus</i>	<i>Rhizophagus bipustulatus</i>
Rh. dis.	<i>R. dispar</i>	<i>Rhizophagus dispar</i>
Sal. plan.	<i>S. planirostris</i>	<i>Salpingus planirostris</i>
Sal. ruf.	<i>S. ruficollis</i>	<i>Salpingus ruficollis</i>
S. intri.	<i>S. intricatus</i>	<i>Scolytus intricatus</i>
S. scol.	<i>S. scolytus</i>	<i>Scolytus scolytus</i>
T. bicol.	<i>T. bicolor</i>	<i>Taphrorychus bicolor</i>
T. dom.	<i>T. domesticum</i>	<i>Trypodendron domesticum</i>
T. lin.	<i>T. lineatum</i>	<i>Trypodendron lineatum</i>
T. pin.	<i>T. pinipdera</i>	<i>Tomicus pinipdera</i>
T. sign.	<i>T. signatum</i>	<i>Trypodendron signatum</i>
Tenebr.	Tenebr.	Tenebrinoidea
Th. for.	<i>T. formicarius</i>	<i>Thanasimus formicarius</i>
Th. fem.	<i>T. femoralis</i>	<i>Thanasimus femoralis</i>
Til. el.	<i>T. elongatus</i>	<i>Tillus elongatus</i>
Vinz. ruf.	<i>V. ruficollis</i>	<i>Vincenzellus ruficollis</i>
Xan. glab.	<i>X. glabratus</i>	<i>Xantholinus glabratus</i>
Xyl. disp.	<i>X. dispar</i>	<i>Xyleborus dispar</i>
Xyl. mon.	<i>X. monographus</i>	<i>Xyleborus monographus</i>
Xyl. sax.	<i>X. saxeseni</i>	<i>Xyleborus saxeseni</i>
Xylo. germ.	<i>X. germanus</i>	<i>Xylosandrus germanus</i>

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	9
2	ZIEL- UND AUFGABENSTELLUNG	13
3	UNTERSUCHUNGSGEBIETE	16
3.1	VERSUCHSFLÄCHE ROT-BUCHE.....	16
3.2	VERSUCHSFLÄCHE GEMEINE ESCHE.....	17
3.3	VERSUCHSFLÄCHE EICHEN	18
3.4	VERSUCHSFLÄCHE GEMEINE KIEFER.....	19
TEIL A: UNTERSUCHUNGEN ZUR BESIEDLUNGSDYNAMIK BAST- UND HOLZBESIEDELNDER INSEKTEN AN LAUBHOLZ		
4	EINSCHLAGTERMINVERSUCH	22
4.1	ZIELSTELLUNG.....	22
4.2	METHODIK.....	22
4.3	ERGEBNISSE.....	24
4.3.1	<i>Einschlagterminversuch mit Rot-Buche</i>	24
4.3.2	<i>Einschlagterminversuch mit Gemeiner Esche</i>	27
4.3.3	<i>Einschlagterminversuch mit Eichen</i>	31
4.4	DISKUSSION	34
4.5	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DURCHGEFÜHRTEN EINSCHLAGSTERMINVERSUCHEN	40
TEIL B: ANALYSE VON SEMIOCHEMIKALIEN AUS DEN UNTERSUCHUNGSHABITATEN UND DEREN WAHRNEHMUNG VON <i>THANASIMUS FORMICARIUS</i> L.		
5	UNTERSUCHUNGEN ZU BAUMBÜRTIGEN UND KÄFERBÜRTIGEN SEMIOCHEMIKALIEN AUS DEN UNTERSUCHUNGSHABITATEN	43
5.1	METHODIK.....	43
5.1.1	<i>Auswahl von Semiochemikalien aus der Literatur</i>	43
5.1.2	<i>Absorption der baumbürtigen Substanzen</i>	44
5.1.3	<i>Absorption der käferbürtigen Substanzen (SPME)</i>	47
5.1.4	<i>Absorption der käferbürtigen Substanzen (CLSA)</i>	49
5.1.5	<i>Behandlung der CLSA-Röhrchen nach Probenahme</i>	50
5.1.6	<i>Identifizierung der absorbierten Volatile (GC-MS/EAD)</i>	51
5.2	ERGEBNISSE.....	54
5.2.1	<i>Versuchsreihen 2010</i>	54
5.2.1.1	Analyse der baumbürtigen Substanzen.....	54
5.2.1.2	Analyse der käferbürtigen Substanzen	58
5.2.1.3	Auswahl von Substanzen für weiterführende Untersuchungen	60
5.2.2	<i>Versuchsreihen 2011</i>	61

5.2.2.1	Bohrmehlanalysen.....	61
5.2.2.2	Gemeine Esche besiedelt mit <i>Leperisinus varius</i>	62
5.2.2.3	Eichen besiedelt mit <i>Scolytus intricatus</i>	64
5.2.2.4	Rot-Buche besiedelt mit <i>Taphrorychus bicolor</i>	65
5.2.2.5	Buche besiedelt mit <i>Xylosandrus germanus</i>	66
5.2.2.6	Auswahl von Substanzen für weiterführende Untersuchungen.....	67
5.3	DISKUSSION UND BEGRÜNDUNG DER SUBSTANZAUSWAHL.....	68
5.3.1	Identifizierte Semiochemikalien der Rot-Buche mit und ohne Borkenkäferbesatz.....	69
5.3.2	Identifizierte Semiochemikalien der Eichen mit und ohne Borkenkäferbesatz.....	78
5.3.3	Identifizierte Semiochemikalien der Gemeinen Esche mit und ohne Borkenkäferbesatz.....	82
6	UNTERSUCHUNGEN ZUR OLFAKTORISCHEN WAHRNEHMUNG VON AUSGEWÄHLTEN SEMIOCHEMIKALIEN BEI <i>THANASIMUS FORMICARIUS</i>.....	89
6.1	METHODIK.....	89
6.1.1	Dosis-Antwort-Kurven (EAG).....	89
6.1.1.1	Anfertigung von Verdünnungsreihen.....	89
6.1.1.2	Aufnahme der Dosis-Antwort-Kurven.....	89
6.1.1.3	Datenauswertung.....	91
6.1.2	Verhaltenstests.....	91
6.1.2.1	Herkunft und Haltung von Versuchstieren.....	93
6.1.2.2	Nullversuch.....	93
6.1.2.3	Positivversuch.....	94
6.1.2.4	Versuche mit Testsubstanzen.....	95
6.1.2.5	Datenauswertung.....	96
6.2	ERGEBNISSE.....	96
6.2.1	Ergebnisse der Dosis-Antwort-Kurven.....	96
6.2.2	Ergebnisse der Verhaltensexperimente.....	103
6.2.2.1	Nullversuch.....	103
6.2.2.2	Positivversuche und Reaktion auf Naturköder.....	106
6.2.2.3	Testsubstanzen.....	111
6.2.3	Zusammenfassender Überblick der getesteten Substanzen.....	121
6.3	DISKUSSION.....	122
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER ANALYSE VON SEMIOCHEMIKALIEN AUS DEN UNTERSUCHUNGSHABITATEN.....	133
	TEIL C: UNTERSUCHUNGEN ZUR WIRKUNG AUSGEWÄHLTER SEMIOCHEMIKALIEN IM FREILAND.....	135
8	UNTERSUCHUNGEN AM MODELL FALLE.....	136
8.1	METHODIK.....	136
8.1.1	Zielstellung der einzelnen Fallenfangexperimente, ausgewählte Semiochemikalien und Versuchsaufbau.....	137
8.1.1.1	Fallenfangexperiment 2010.....	138

8.1.1.2	Fallenfangexperiment 2011a	139
8.1.1.3	Fallenfangexperiment 2011b	141
8.1.1.4	Fallenfangexperiment 2011c	142
8.1.1.5	Fallenfangexperimente 2012a	143
8.1.1.6	Fallenfangexperiment 2012b	148
8.1.1.7	Fallenfangexperiment 2012c	149
8.1.1.8	Fallenfangexperiment 2012d	151
8.1.2	<i>Applikation der Chemikalien in Dispensern</i>	152
8.1.3	<i>Datenauswertung</i>	153
8.2	FANGERGEBNISSE	154
8.2.1	<i>Fangergebnisse auf natürlich produzierte Pheromonbouquets</i>	154
8.2.1.1	nPhero-Fallenfangexperiment 2010	154
8.2.1.2	nPhero-Fallenfangexperiment 2012	157
8.2.2	<i>Fangergebnisse mit synthetischen Testsubstanzen</i>	162
8.2.2.1	Fallenfangexperiment 2010	162
8.2.2.2	Fallenfangexperiment 2011a	169
8.2.2.3	Fallenfangexperiment 2011b	176
8.2.2.4	Fallenfangexperiment 2011c	180
8.2.2.5	Fallenfangexperiment 2012a	184
8.2.2.6	Fallenfangexperiment 2012b	201
8.2.2.7	Fallenfangexperiment 2012c	209
8.2.2.8	Fallenfangexperiment 2012d	217
8.3	SAISONALES AUFTRETEN DER ARTEN IN DEN LAUBWALDHABITATEN	220
8.3.1	<i>Thanasimus formicarius und potentielle Beutetiere</i>	220
8.3.2	<i>Weitere Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnde Insekten</i>	224
8.4	DISKUSSION	226
8.4.1	<i>Wirkung der getesteten Semiochemikalien auf bast- und holzbesiedelnde Insekten</i>	226
8.4.1.1	Olfaktorische Reaktionen der Zielinsekten	226
8.4.1.2	Olfaktorische Reaktionen weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten	235
8.4.2	<i>Wirkung der getesteten Semiochemikalien auf potentielle Antagonisten der bast- und holzbesiedelnden Insekten</i>	243
8.4.2.1	Olfaktorische Reaktion von <i>Thanasimus spec.</i>	243
8.4.2.2	Olfaktorische Reaktionen weiterer potentieller Antagonisten	249
8.4.3	<i>Wechselbeziehungen und Synchronisation im Schwärmverlauf von bast- und holzbesiedelnden Insekten und deren Antagonisten in den Untersuchungshabitaten</i>	255
8.4.3.1	<i>Thanasimus spec.</i> und potentielle Beutetiere in Laubwaldhabitaten	255
8.4.3.2	<i>Thanasimus spec.</i> und potentielle Beutetiere im Nadelwaldhabitat	257
8.4.3.3	Weitere aus den Untersuchungen abgeleitete Räuber-Beute-Beziehungen	260
9	UNTERSUCHUNGEN AM MODELL FANGHOLZ	265
9.1	METHODIK	265
9.1.1	<i>Fangholzexperiment 2010</i>	267
9.1.2	<i>Fangholzexperiment 2011</i>	268

9.1.3	<i>Fangholzexperiment 2012</i>	269
9.2	ERGEBNISSE.....	270
9.2.1	<i>Gemeine Esche</i>	270
9.2.1.1	Fangholzexperiment 2010	270
9.2.1.2	Fangholzexperiment 2011	272
9.2.2	<i>Rot-Buche</i>	277
9.2.2.1	Fangholzexperiment 2010	277
9.2.2.2	Fangholzexperiment 2011	280
9.2.3	<i>Eichen</i>	283
9.2.3.1	Fangholzexperiment 2010	283
9.2.3.2	Fangholzexperiment 2011	286
9.2.4	<i>Gemeine Kiefer</i>	289
9.2.4.1	Fangholzexperiment 2012	289
9.3	DISKUSSION DER ERGEBNISSE AM FANGHOLZ	296
9.3.1	<i>Fangholzexperimente in Laubwaldhabitaten</i>	296
9.3.2	<i>Fangholzexperimente in Nadelwaldhabitaten</i>	302
10	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN ERGEBNISSEN DER FREILANDEXPERIMENTE	305
10.1	SUBSTANZWahl FÜR NATURNAHE MANAGEMENTVERFAHREN	305
10.2	NOTWENDIGE NATÜRLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND AUSBLICK.....	315
10.3	BEDEUTUNG DER IDENTIFIZIERTEN SUBSTANZEN UND DEREN WIRKUNG ALS SEMIOCHEMIKALIEN	317
11	ZUSAMMENFASSUNG	319
12	VERZEICHNISSE	325
12.1	LITERATURVERZEICHNIS	325
12.2	TABELLENVERZEICHNIS	348
12.3	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	354
ANLAGEN	I	

1 EINLEITUNG

„Massenvermehrungen der Borkenkäfer gehören in der nördlichen Hemisphäre wie Dürre, Feuer, Sturm und Schnee zu den strukturierenden Elementen des Nadelwaldes“ schreiben Vité und Francke (1985). Innerhalb Deutschlands kann, am Fallbeispiel Bayerischer Wald, der Einfluss der Borkenkäfer nach Sturmwurf seit Anfang der 90er Jahre beobachtet werden. Weitaus bedeutendere Ausmaße einer Borkenkäferkalamität, hauptsächlich verursacht durch *Dendroctonus ponderosae* (Hop.), finden sich hingegen in British Columbia (Kanada). Im Jahr 2006 betrug die kumulierte Befallsfläche etwa 130.000 km² (Kurz et al. 2008) - fast die doppelte Fläche des Freistaates Bayern. Die durch die Kalamität entstandenen Holzverluste wurden auf über 435 Millionen Kubikmeter geschätzt (Kurz et al. 2008). Wenngleich derartig großflächige Störungen vor allem in borealen Nadelwäldern auftreten dürften (Spathelf und Bolte 2009), so müssen die Borkenkäfer nach Vité und Francke (1976) dennoch als bedeutende Faktoren von Holzverlusten in der gesamten nördlichen Hemisphäre betrachtet werden. Dennoch zeigen die Ergebnisse von Bauer et al. (2007), dass der Wald auch nach großflächigen Störungen ein hohes Potential besitzt, sich selbst zu regenerieren. Im Naturprozess scheinen derartige Störungen folglich ein Neubeginn zu sein, im Wirtschaftswald, der in Deutschland und in weiten Teilen Europas einen Großteil der Waldfläche einnimmt, sind derartige Störungen jedoch meist mit erheblichen wirtschaftlichen Schäden verbunden. Dementsprechend befasste man sich, zum Schutz des Wirtschaftsgutes Holz, schon sehr frühzeitig mit Möglichkeiten, einen Borkenkäferbefall zu vermeiden. Aus der bereits im 18. Jahrhundert beobachteten Lockwirkung von gefällten Fichtenstämmen entwickelte man sehr schnell das Fangbaumverfahren als erste Möglichkeit der Borkenkäferbekämpfung, welche im 20. Jahrhundert mit der Erfindung von Pflanzenschutzmitteln zum Giftfangbaumverfahren weiterentwickelt wurde (Vité und Francke 1985, Boppré 2007). Die durch Borkenkäfer besiedelten Fangbäume mussten damit nicht mehr geschält werden, da anfliegende Borkenkäfer durch die Begiftung der Fangbäume bereits vor dem Einbohren abgetötet wurden. Welche Semiochemikalien den Anflug der Borkenkäfer zu den Fangholzstämmen induzierten war lange Zeit nicht bekannt. Erst im Jahre 1948 befasste sich Anderson (1948) mit der wissenschaftlichen Analyse wirtsbaumbürtiger Attraktanzien auf Borkenkäfer (Vité und Francke 1976). Das jedoch auch von Borkenkäfern selbst produzierte

Semiochemikalien in der Aggregation am Fangholz eine Rolle spielen könnten, war zu dieser Zeit nicht bekannt. Erst der durch Adolf Butenandt nach nahezu 30 Jahren Forschung erbrachte Nachweis einer olfaktorischen Kommunikation der Insekten mittels Pheromonen im Jahr 1959, und die damit verbundene Vision eines Einsatzes dieser Pheromone zur Steuerung von Insekten (Anonymus 2003), führten in der Borkenkäferforschung zu einem gezielten Suchen nach käferbürtigen Substanzen. Damit verbunden waren auch Weiterentwicklungen in der Aufklärung chemischer Strukturen sowie in der chemischen Synthese von Pheromonen (Vité und Francke 1976). Beispielsweise stellte Dietrich Schneider im Jahr 1957 das Verfahren der Elektroantennographie (EAG) vor, welches die Verwendung der Antenne eines Insektes als biologischen Detektor erlaubt (Anonymus 2003). Seit den 1960er Jahren war man in der Pheromonforschung in der Lage die Verfahren der Gaschromatographie, der Massenspektrometrie und der Elektroantennographie gekoppelt zur Pheromonauflklärung einzusetzen (Anonymus 2003). Es waren zunächst vor allem die nordamerikanischen Forschergruppen um Robert M. Silverstein und George L. McNew, die erstmalig auch bei Borkenkäferarten die Existenz von Pheromonen nachweisen konnten (Boppré 2007). Durch neue Möglichkeiten im analytischen Bereich verbesserte und beschleunigte sich die Möglichkeit der Pheromonanalyse zunehmend. Die ersten von Borkenkäfern produzierten Volatile mit arteigener Attraktivität wurden durch Silverstein et al. (1966) am Borkenkäfer *Ips confusus* (LeConte), nachgewiesen.

Mit fortschreitender Entwicklung veränderten sich nun auch die Ansätze der Verfahren im Borkenkäfermanagement – entsprechend prägte Vité (1984) den Begriff des Biotechnischen Waldschutzes. Im Rahmen des Biotechnischen Waldschutz wurden Lockstofffallen im Borkenkäfermanagement eingeführt, welche zu einer Ablösung des umständlichen Fangbaumverfahrens führten. Auch mit dem Wissen, dass Pheromone nicht nur intraspezifische Funktionen sondern auch eine interspezifische Wirkung induzieren können, entwickelten sich neue Ansätze im Borkenkäfermanagement. Es wurden auf Pheromonen bzw. Volatilen basierende Alternativen zum unkonventionellen Einsatz von Insektiziden in Forst- und Landwirtschaft erprobt (Anonymus 2003). Mit den naturnahen Verfahren ließen sich die negativen Effekte eines Insektizideinsatzes (z. B. entstehende Resistenzen, unselektive Wirkungsweise, Abtöten natürlicher Antagonisten) vermeiden, wengleich deren Anwendung bislang meist nicht den Wirkungsgrad eines Insektizids erreicht. Das von Borden et al. (1998) beschriebene Nicht-Wirtsbaum-Volatil-Verfahren,

verwendet beispielsweise Volatile, welche von Borkenkäfern zur Habitatdifferenzierung genutzt werden (Abgrenzung vom Nicht-Wirtshabitat zum Wirtshabitat), und mit welchen repellente Reaktionen auf Borkenkäfer erzeugt werden sollen. Auch einzelne Pheromone von Borkenkäfern können repellente Reaktionen bei anderen Borkenkäferarten erzeugen. Dies sind häufig Substanzen, die von Arten hinsichtlich einer Konkurrenz um Brutraum produziert werden (z. B. Verbenon). Darüber hinaus sind jedoch auch interspezifisch wirksame Pheromonbestandteile von Arten, die nicht am selben Wirtsbaum auftreten, bekannt (z. B. Acetophenon). Aus dem Wissen, dass sich auch die natürlichen Gegenspieler der Borkenkäfer an von den Borkenkäfern produzierten Pheromonen orientieren (Wood et al. 1968 zitiert in Hansen 1983), um ihre Beute zu lokalisieren entwickelte sich das von Müller (2004) beschriebene Wirkungsprinzip Allochthoner Kairomone. Ziel des Verfahrens ist es, eine möglichst hohe Lockwirkung auf im Applikationshabitat abundante Borkenkäferantagonisten bei gleichzeitiger Reduktion im Anflug von autochthonen bast- und holzbesiedelnden Insekten zu induzieren. In der bisherigen Entwicklung des Wirkungsprinzipes Allochthoner Kairomone war hauptsächlich der Ameisenbuntkäfer *Thanasimus spec.* das Zielinsekt einer Erprobung der Funktionalität und Wirkungsweise des Verfahrens (Kotte 2004, Vetter 2006, Wehnert 2009, Derenda 2011, Pfeiffer 2011, Wehnert und Müller 2012). Der Grund dafür ist sein hohes Potential als Borkenkäferprädator (Weslien und Regnander 1992, Schroeder 1999, Martikainen et al. 1999), welches vor allem daraus erwächst, dass dieser als adulter Käfer seinen Beutetieren auf der Rindenoberfläche nachstellt. Entsprechend lässt sich mit der Aggregation von *Thanasimus spec.* schon das Einbohren von bast- und holzbesiedelnden Insekten in ihre Wirtsbäume verhindern. Darüber hinaus sind auch die Larven des Ameisenbuntkäfers räuberisch aktiv und können zur Erhöhung der Mortalität im Borkenkäferbrutbild beitragen.

Die Borkenkäferpheromonforschung der letzten Jahrzehnte war bislang vor allem auf Arten konzentriert, welche hauptsächlich an Nadelbaumarten zu wirtschaftlichen Schäden führen. Da ein Großteil der durch Borkenkäferkalamitäten verursachten Schäden in der Vergangenheit am Nadelholz zu finden war, ist dies auch nachzuvollziehen. Im Zuge des gegenwärtigen Waldumbaus werden die Anteile von Laubbaumarten an der Gesamtwaldfläche deutlich zunehmen. Durch häufigere klimatische Witterungsextreme muss künftig jedoch auch bei Laubbäumen mit verstärkten Prädispositionen für einen Schädlingsbefall gerechnet werden. Eine Zunahme der Schäden, welche durch bast- und holzbesiedelnde

Insekten am Laubholz verursacht werden, ist die Konsequenz daraus. Erste diesbezügliche Anzeichen wurden im Jahr 2001 in Südbelgien in scheinbar vitalen Rot-Buchenbeständen beobachtet. Die Rot-Buchen wurden massenhaft durch die Arten *Trypodendron domesticum* (L.), *Trypodendron signatum* (L.) und *Xylosandrus dispar* (F.) befallen, was ein Schadholzaufkommen von 1,3 Millionen m³ verursachte (Grégoire et al. 2001). Die Aufklärung der olfaktorischen Kommunikation bast- und holzbesiedelnder Insekten an Laubbäumen ist bislang jedoch nur unzureichend erforscht, um entsprechende Maßnahmen im Management der Laubbaum-Arten anwenden zu können. Auch die Räuber-Beute-Beziehungen und die olfaktorischen Signale zur Beutefindung der Antagonisten sind deshalb in Laubwaldhabitaten nur unzureichend bekannt.

2 ZIEL- UND AUFGABENSTELLUNG

Mit der vorliegenden Arbeit sollen Schädlingspotentiale unter den bast- und holzbesiedelnden Insekten in Laubbaumbeständen beispielhaft beschrieben und deren natürliche Regulation durch Prädatoren und Parasitoide untersucht werden. Die Untersuchungen werden auf die Baumarten Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.), Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und Eichen (*Quercus spec.*) konzentriert. Zum Teil sind an diesen Baumarten bereits bedeutende Schädigungen durch bast- und holzbesiedelnde Insekten nachgewiesen worden (Petercord 2006, Gaubicher et al. 2002, Gregoiré et al. 2001). Aufgrund der Baumartenauswahl sind die in Tabelle 1 aufgeführten bast- und holzbesiedelnden Arten als Zielarten der Untersuchungen festgelegt worden.

Tabelle 1: Übersicht der bast- und holzbesiedelnden Zielarten der Untersuchungen

Habitat	bastbesiedelnde Arten	holzbesiedelnde Arten
Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	<i>Taphrorychus bicolor</i> Hrbst. (Kleiner Buchenborkenkäfer)	<i>Trypodendron domesticum</i> L. (Laubnutzholzborkenkäfer)
Eiche (<i>Quercus spec.</i>)	<i>Scolytus intricatus</i> Ratz. (Eichensplintkäfer)	<i>Trypodendron signatum</i> L. (Gestr. Laubnutzholzborkenkäfer)
Gemeine Esche (<i>Fraxinus excelsior</i> L.)	<i>Leperisinus varius</i> Fabr. (Kleiner bunter Eschenbastkäfer)	

Von den Prädatoren sollen hauptsächlich die Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus spec.*) berücksichtigt und als potentielle Prädatoren der bast- und holzbesiedelnden Zielarten am Laubholz untersucht werden. Aufgrund der ausgeprägten generalistischen Lebensweise von *Thanasimus formicarius* L. wird dieser als zentrales Versuchsobjekt und biologischer Detektor zur Analyse potentieller Semiochemikalien in den Untersuchungen verwendet. Von Heidger (1994) sowie Warzeé und Gregoiré (2003) werden 30 Scolytidae-Arten aus Laub- und Nadelwaldhabitaten als potentielle Beute von *T. formicarius* aufgeführt. Semiochemikalien, welche *T. formicarius* in der olfaktorischen Beutelokalisierung dienen, lassen sich vermutlich auch erfolgreich in naturnahen Managementverfahren integrieren. Daneben werden weitere auftretende Borkenkäferprädatoren wie der Jagdkäfer (*Nemosoma elongatum* L.) und die Rindenglanzkäfer (*Rhizophagus spec.*) in den Untersuchungen berücksichtigt.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Aufklärung der inter- und intraspezifisch chemischen Kommunikation der Zielarten¹ sowie der Identifizierung von Pflanzenvolatilen mit verhaltensmodifizierender Wirkung auf die Zielarten. Aus diesen Erkenntnissen sollen Semiochemikalien abgeleitet werden, welche sich in künftigen naturnahen Regulationsverfahren von Borkenkäfern anwenden lassen. Dabei soll unter anderem das Wirkungsprinzip der Allochthonen Kairomone entsprechend der Abbildung 1 weiterentwickelt werden, indem der Austausch der Semiochemikalien nicht zwischen verschiedenen Nadelbaumhabitaten, sondern zwischen Laub- und Nadelbaumhabitat erfolgt. Aufgrund der oligophagen Lebensweise² vieler bast- und holzbesiedelnder Insekten, jedoch polyphagen Lebensweise vieler Borkenkäferantagonisten, lassen sich durch den Austausch von Semiochemikalien zwischen Laub- und Nadelbaumhabitaten möglicherweise selektive Steuerungen der Zielinsekten erreichen, welche es zu untersuchen gilt.

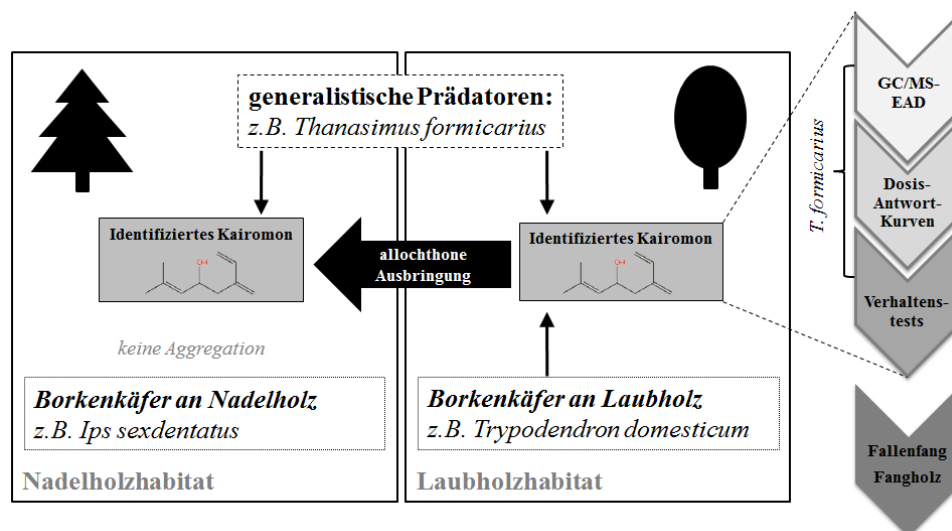


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Schwerpunktes der Forschungsarbeit

Die Untersuchungen gliedern sich in die drei großen Teilbereiche A bis C, deren Zielstellung im Folgenden genauer dargestellt werden soll.

Teil A: Untersuchung zur Besiedlungsdynamik bast- und holzbesiedelnder Insekten an Laubholz

Zur Analyse der Besiedlungsdynamik bast- und holzbesiedelnder Insekten an den Baumarten Rot-Buche, Eiche und Gemeiner Esche wurden Einschlagterminversuche

¹ Zu den Zielarten werden in diesem Zusammenhang nicht nur Zielarten der bast- und holzbesiedelnden Insekten gezählt, sondern auch deren Prädatoren.

² Oligophagie wird in diesem Zusammenhang bezogen auf das Vorkommen von Arten in verschiedenen Nadelbaumhabitaten bzw. in verschiedenen Laubbaumhabitaten.

angelegt. Mit diesen Einschlagterminversuchen sollten die Schädlingspotentiale der bast- und holzbesiedelnden Insekten am Laubholz untersucht werden. Dabei werden zeitliche und räumliche Effekte im Besiedlungsverhalten abgeleitet. Zudem dienen die Einschlagterminversuche der Bereitstellung von Holzproben für die chemische Analyse von emittierten Baumvolatilen aus unterschiedlichen Einschlagterminen.

*Teil B: Analyse von Semiochemikalien aus den Untersuchungshabitaten und deren Wahrnehmung von *Thanasimus formicarius**

Der Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* ist als Prädator einer Vielzahl von bast- und holzbesiedelnden Insekten am Nadelholz bekannt. Darüber hinaus wird dieser auch am Laubholz als Prädator von bast- und holzbesiedelnden Insekten vermutet. Aufgrund der generalistischen Lebensweise in Laub- und Nadelbaumhabitaten muss dieser eine Vielzahl von Semiochemikalien wahrnehmen können, um seine Beutetiere olfaktorisch zu lokalisieren. Diesbezüglich ist eine Wahrnehmung von baumbürtigen Volatilen als auch käferbürtigen Kairomonen bekannt. Der Ameisenbuntkäfer scheint daher geeignet, als biologischer Detektor im Rahmen der Laboranalysen zu fungieren um Semiochemikalien aus Laubwaldhabitaten zu identifizieren. Dabei sollten im Rahmen von GC-MS/EAD-Analysen zunächst Semiochemikalien aus Beständen der Rot-Buche, der Gemeinen Esche und der Eichen identifiziert werden, welche vom Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* wahrgenommen werden können (Abbildung 1). Aus anschließenden Dosis-Antwort- und Verhaltensexperimenten sollte die Bedeutung der Semiochemikalien für *T. formicarius* in der olfaktorischen Orientierung in Laubwaldhabitaten abgeleitet werden.

Teil C: Untersuchungen zur Wirkung ausgewählter Semiochemikalien im Freiland

Für *T. formicarius* als olfaktorisch aktiv erfasste Semiochemikalien, wurden anschließend in Freilandexperimenten auf deren Wirksamkeit untersucht. Dabei ließen sich neben *T. formicarius* vermutlich auch Reaktionen weiterer Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnder Insekten nachweisen. In die Untersuchungen sollten auch aus der Literatur abgeleitete Substanzen mit Verdacht auf olfaktorische Bedeutung im Laubwaldhabitat integriert werden. Neben einer Aufklärung in der inter- und intraspezifischen Funktion der zu testenden Semiochemikalien in Laubwaldhabitaten sollten zudem Möglichkeiten für einen Einsatz der Substanzen im naturnahen Borkenkäfermanagement abgeleitet werden.

3 UNTERSUCHUNGSGBIETE

3.1 VERSUCHSFLÄCHE ROT-BUCHE

Die Versuchsfläche mit Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) wurde im Forstbezirk Bärenfels, Revier Grillenburg im südöstlichen Teil des Tharandter Waldes (Teilfläche 604a¹ und 605a¹ und a³, Höhe über NN 386 m) angelegt (Abbildung 2).

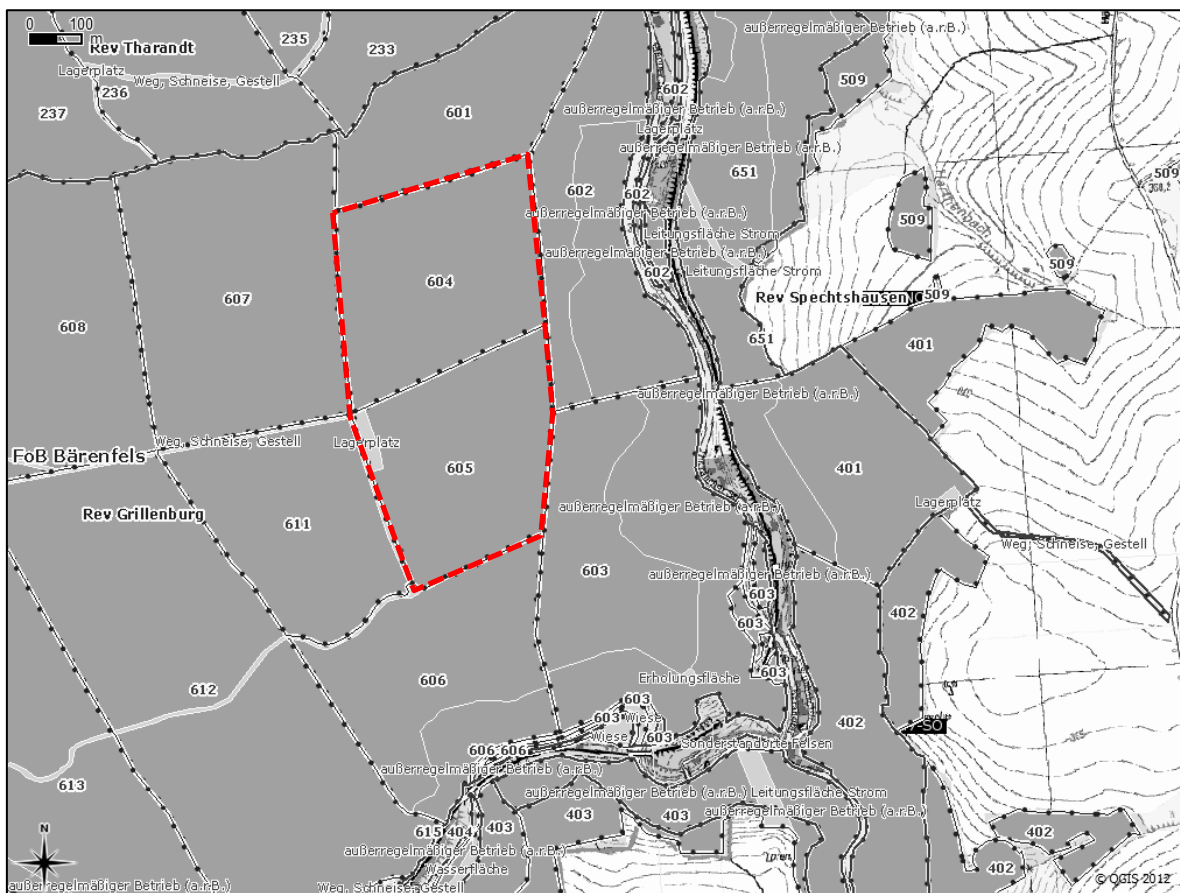


Abbildung 2: Lage der Versuchsfläche Rot-Buche im Tharandter Wald mit Kennzeichnung der Forstabteilungen, Quelle: Sachsenatlas, bearbeitet mit Quantum GIS 1.7.3.

Der Oberstand der Abteilung 604a¹ ist charakterisiert durch Rot-Buchen im Alter von 38 bis 53 Jahren. Zudem findet sich in der Mitte der Teilfläche gruppenweise eingemischte Europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.). Die umliegenden Abteilungen (Abteilung 601 und 605) sind durch Rot-Buchen im Alter von über 120 Jahren charakterisiert. Die westlich angrenzenden Abteilungen hingegen sind überwiegend von Nadelbäumen (*Picea abies* L. und *Pinus sylvestris* L.) geprägt.

3.2 VERSUCHSFLÄCHE GEMEINE ESCHKE

Als Eschen-Versuchsfläche wurde ein inselartige Laubwaldfläche bei Zwenkau/Leipzig im Forstbezirk Leipzig, Revier Leipzig gewählt (Teilfläche 458a⁴, 458a⁷, 459a⁴ und 460a², Höhe über NN: 135 m). Es handelt sich dabei um Mischbestände aus Gemeiner Esche (*Fraxinus excelsior*), Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Edellaubbäumen (Abbildung 3).

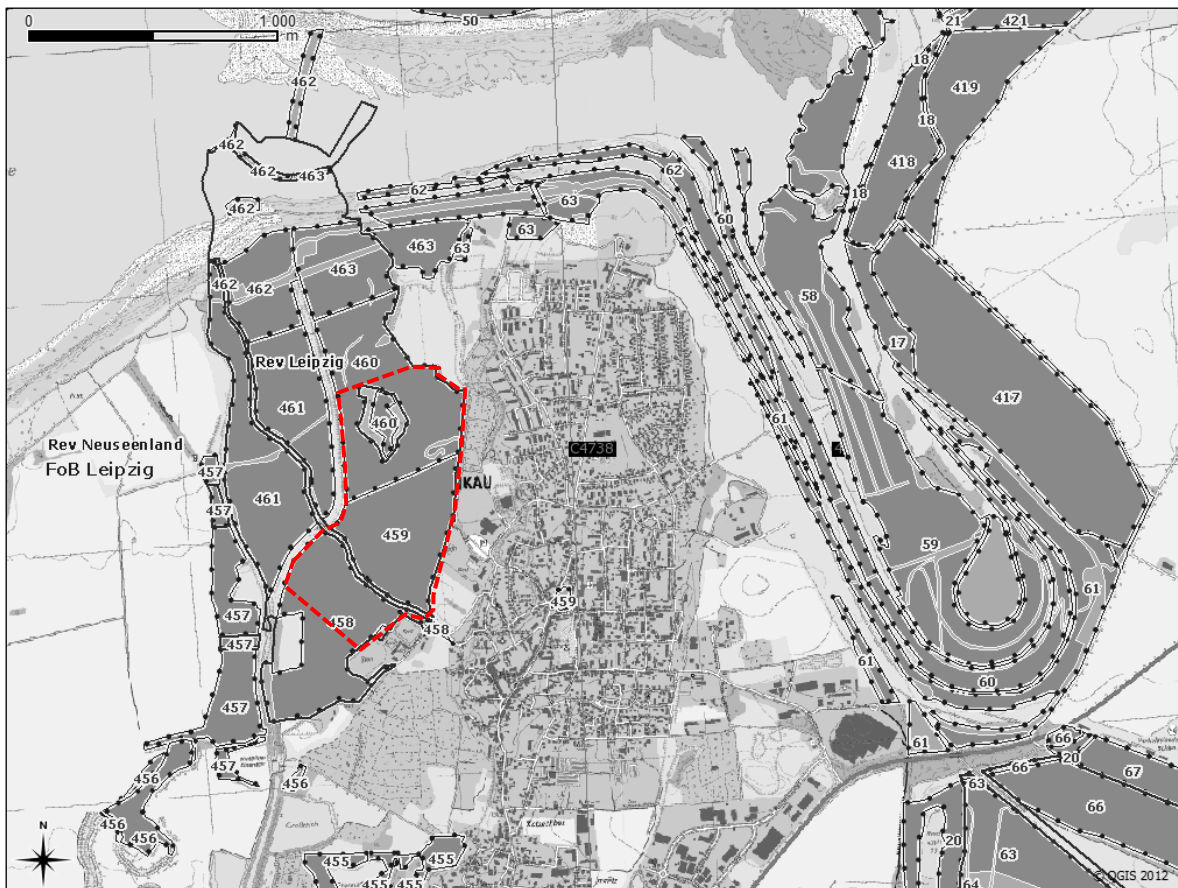


Abbildung 3: Versuchsfläche Gemeine Esche bei Zwenkau / Leipzig mit Kennzeichnung der Forstabteilungen, Quelle: Sachsenatlas, bearbeitet mit Quantum GIS 1.7.3.

Teilfläche 458a⁴ ist im Oberstand charakterisiert durch Gemeine Esche im Alter von 70 Jahren. Auf ganzer Fläche sind Bergahorn (*Acer pseudoplatanus* L.), Stieleiche, Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.) und Hainbuche (*Carpinus betulus* L.) baumweise bis gruppenweise eingemischt.

Teilfläche 459a⁴ ist im Oberstand charakterisiert durch Stieleiche im Alter von 157 Jahren. Auf ganzer Fläche baumweise bis gruppenweise Gemeine Esche und baumweise bis truppweise Bergahorn.

Teilfläche 460a² ist im Oberstand charakterisiert durch Gemeine Esche im Alter von 109 Jahren. Auf ganzer Fläche baumweise bis truppweise Bergahorn eingemischt. Im Osten baumweise bis truppweise Stieleiche.

3.3 VERSUCHSFLÄCHE EICHEN³

Eichenversuchsfläche bei Wermsdorf

Die Eichen-Versuchsfläche wurde im Forstbezirk Leipzig, Revier Collm angelegt (Abteilung 78b¹ und 79b⁶, Höhe über NN 219 m) (Abbildung 4).

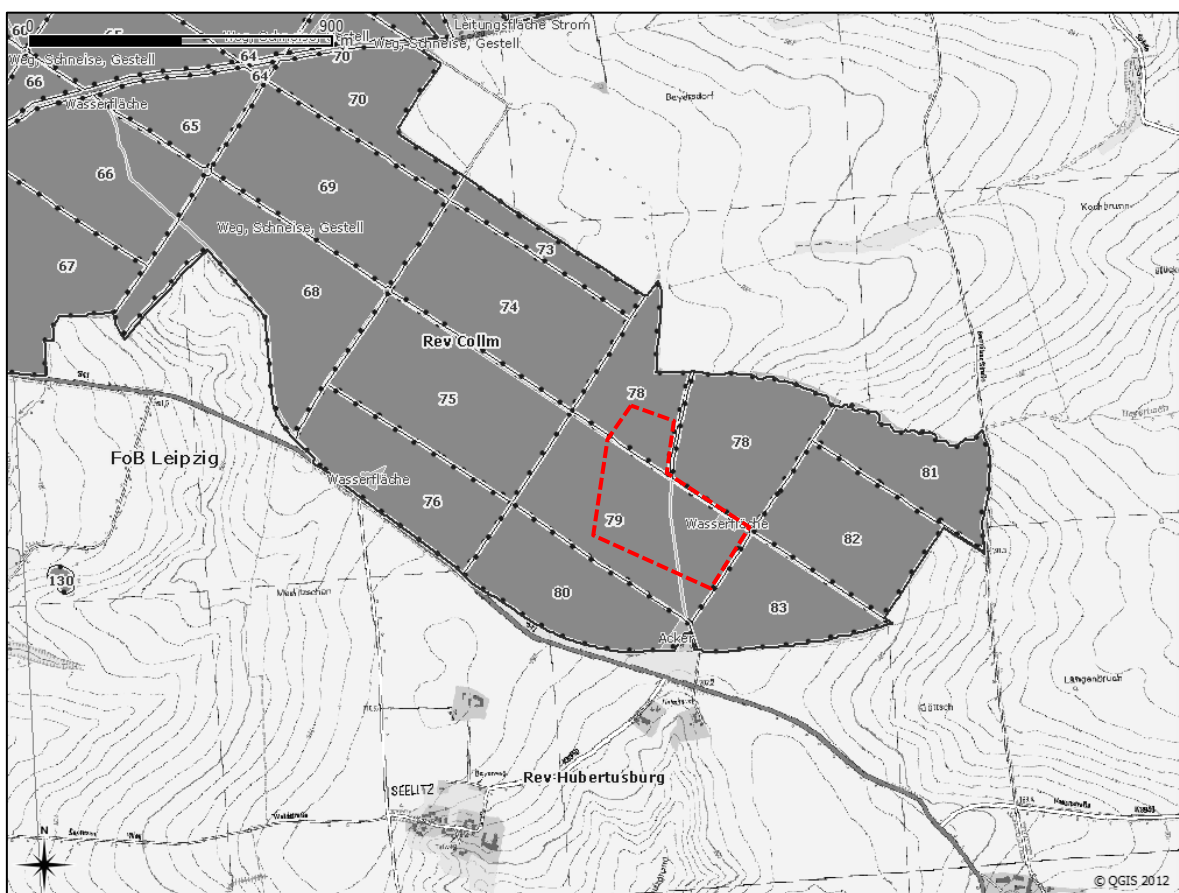


Abbildung 4: Versuchsfläche Eiche bei Wermsdorf mit Kennzeichnung der Forstabteilungen, Quelle: Sachsenatlas, bearbeitet mit Quantum GIS 1.7.3.

Die Eichen (überwiegend *Quercus robur* L.) der Versuchsfläche sind im Alter von 50 bis 59 Jahren. Vereinzelt und vor allem entlang des Bestandesrandes sind Alteichen zu finden. In direkter Nachbarschaft des Eichenbestandes befinden sich im Westen und Nordosten

³ In den Untersuchungen wurden Mischbestände aus Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) verwendet, weshalb an dieser Stelle auf eine differenzierte Darstellung verzichtet wird.

Kiefernbestände (*P. sylvestris*) sowie ein angrenzender Buchenbestand (*F. sylvatica*) im Norden.

Eichenversuchsfläche bei Luckau

Eine weitere Eichenversuchsfläche wurde in der Rochau-Kolpiener-Heide bei Luckau, Revier Walddrehna zwischen der B87 und der Ortschaft Altsorgefeld angelegt (5182a¹). Die Eichen (überwiegend *Q. robur*) auf der Versuchsfläche haben ein Alter von 50 Jahren. Die umliegenden Bestände sind hauptsächlich durch Gemeine Kiefer (*P. sylvestris*) charakterisiert. Etwa 300 m in westlicher Richtung befindet sich ein Alteichenbestand (Abbildung 5).

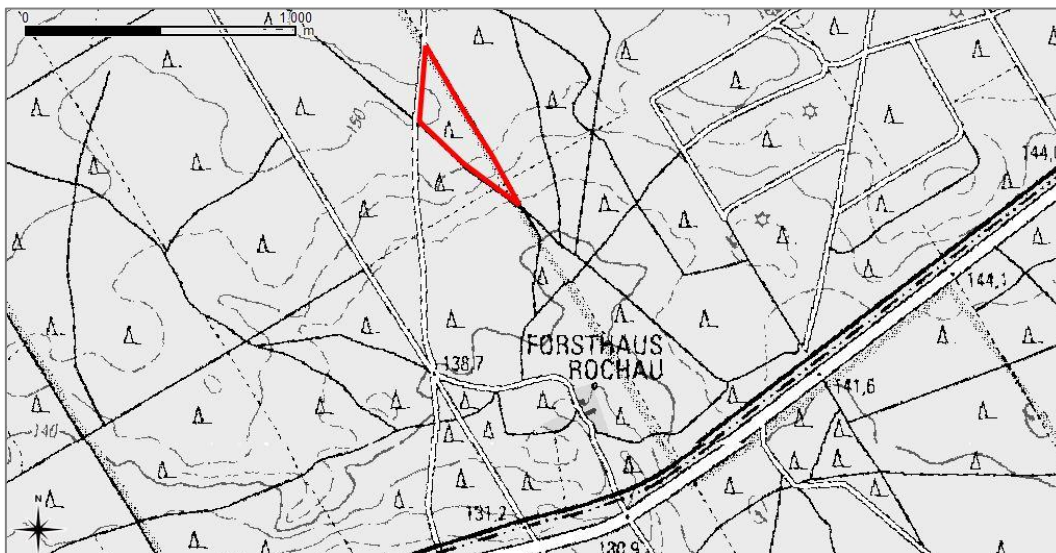


Abbildung 5: Versuchsfläche Eiche bei Luckau, Quelle: Geoportallandesbetrieb Forst Brandenburg

3.4 VERSUCHSFLÄCHE GEMEINE KIEFER

Die Kiefern-Versuchsfläche (*P. sylvestris*) wurde bei Baruth /Mark östlich des Classen Holzverarbeitungswerkes in einem weitläufigen Kieferngelände angelegt (Abteilung 792 a¹ und 792 a²). Die Kiefern der Versuchsfläche hatten ein Alter von 58 bis 103 Jahren (Abbildung 6).

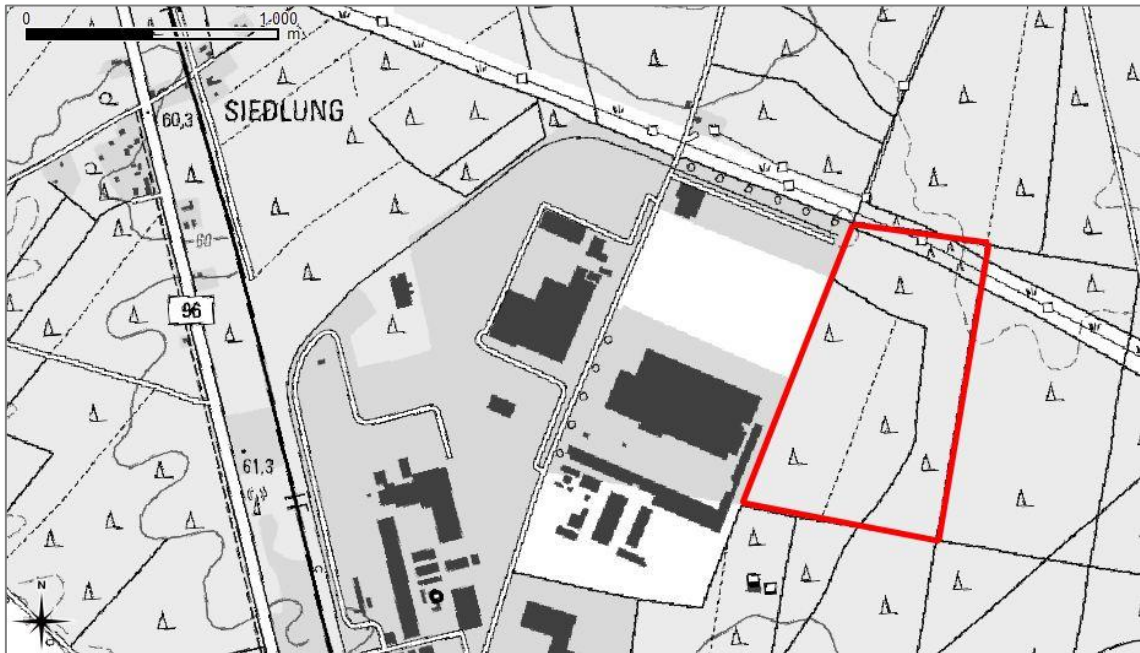


Abbildung 6: Versuchsfläche Gemeine Kiefer bei Baruth / Mark, Quelle: Geoportal Landesbetrieb Forst Brandenburg

**TEIL A: UNTERSUCHUNGEN ZUR
 BESIEDLUNGSDYNAMIK BAST- UND
 HOLZBESIEDELNDER INSEKTEN AN
 LAUBHOLZ**



Gliederung Teil A		Seite
4	Einschlagterminversuch	22
4.1	Zielstellung	22
4.2	Methodik	22
4.3	Ergebnisse	24
4.4	Diskussion	34
4.5	Schlussfolgerungen aus den durchgeführten Einschlagterminversuchen	40

4 EINSCHLAGTERMINVERSUCH

4.1 ZIELSTELLUNG

Die Einschlagterminversuche mit den Baumarten Rot-Buche, Gemeine Esche und Eichen dienten der Beobachtung der natürlichen Besiedlungsdynamik bast- und holzbesiedelnder Borkenkäferarten an diesen Baumarten. Aus den Beobachtungen sollten Zusammenhänge zwischen Befallsdisposition eingeschlagenen Holzes und dessen Lagerdauer abgeleitet werden. Zudem sollte der Einfluss des Stammteils eines Baumes auf die Besiedlungsintensität unterschiedlicher Arten untersucht werden. Mit zunehmender Alterung des Holzes wird sich das von einem eingeschlagenen Baum emittierte Volatilmuster grundlegend verändern (Holighaus und Schütz 2006). Aus den Einschlagterminversuchen sollten daher Proben für CLSA-Absorptionen gewonnen werden (vgl. Kapitel 5.1.2.), um das Volatilmuster der Baumarten während der Alterung zu bestimmen.

4.2 METHODIK

In den auf der Untersuchungsfläche Rot-Buche, Gemeine Esche und Eiche (Wermsdorf) angelegten Einschlagterminversuchen wurden ab Dezember 2009 quartalsweise jeweils vier Bäume gefällt. Vor dem Fällen der Stämme wurde für jeden Stamm eine Identifikationsnummer vergeben und am Stamm angebracht (Tabelle 2). Zudem erfolgte für jeden Stamm eine Aufnahme der Gesamtlänge, des Kronenansatzes sowie des Brusthöhendurchmessers (BHD).

Tabelle 2: *Einschlagtermine und deren Nummerierung am Stamm*

Einschlagtermin	Nummerierung/ID	Rot-Buche	Eiche	Gemeine Esche
Dezember 2009	I/1 bis 4	21.12.2009	17.12.2009	17.12.2009
März 2010	II/1 bis 4	19.03.2010	17.03.2010	17.03.2010
Juni 2010	III/1 bis 4	20.06.2010	25.06.2010	24.06.2010
September 2010	IV/1 bis 4	-	-	20.09.2010
Dezember 2010	V/1 bis 4	17.12.2010	17.12.2010	17.12.2010
März 2011	VI/1 bis 4	22.03.2011	30.03.2011	07.04.2011
Juni 2011	VII/1 bis 4	-	27.06.2011	-

Besiedlungsanalyse

Die Besiedlungsanalyse wurde in einem monatlichen Turnus von März 2010 bis Juli 2011 durchgeführt. Im Zeitraum von September 2010 bis Februar 2011 erfolgte keine Kontrolle der Stammteile.

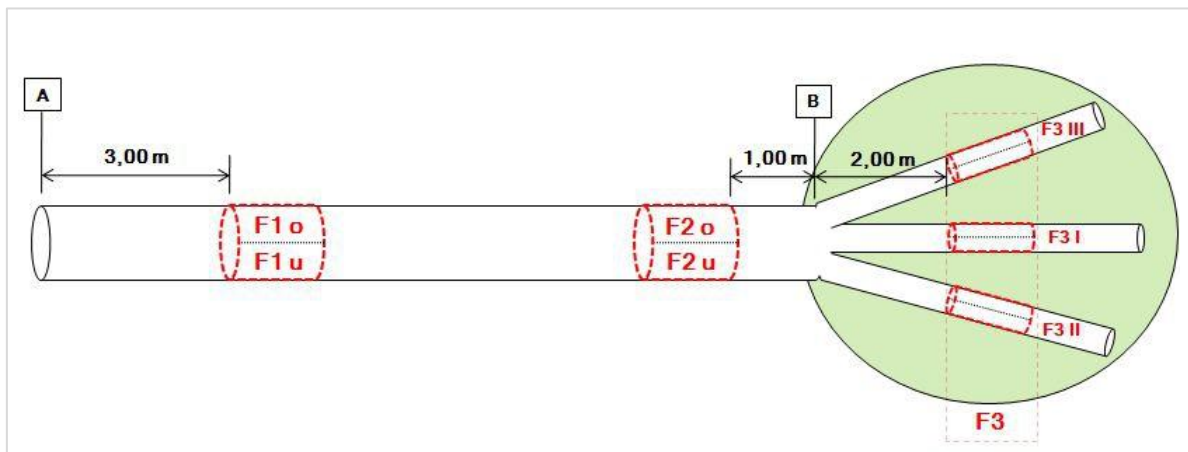


Abbildung 7: Vermessung der Kontrollfenster am Einzelstamm (A = Stammfuß; B = Kronenansatz; Länge der Kontrollfenster F1, F2 und F3 = 1 m; o = Oberseite; u = Unterseite)

Zur Überwachung der Besiedlung wurden pro Stamm drei Kontrollfenster von jeweils einem Meter Länge angelegt (Tieg 2002). Dabei wurde das erste Kontrollfenster (F1) in den dickborkigen Stammabschnitt, das zweite Kontrollfenster (F2) in den mittleren Stammbereich und das dritte Kontrollfenster (F3) im Kronenbereich angelegt. Das Kontrollfenster F1 wurde drei Meter entfernt vom Stammfuß angelegt, um den Einfluss der Austrocknung des Stammes zu minimieren. Das Kontrollfenster F2 wurde einen Meter unterhalb des Kronenansatzes festgelegt und das Kontrollfenster F3 zwei Meter oberhalb des Kronenansatzes (Abbildung 7). Aufgrund der Lage des Kontrollfensters F3 im Kronenbereich, wurden hier, je nach Beschaffenheit der Krone, ein bis drei Äste pro Kontrollfenster untersucht. Für jedes Kontrollfenster wurde der Mittendurchmesser aufgenommen, um später die Mantelfläche berechnen zu können. Zudem erfolgte pro Kontrollfenster eine differenzierte Betrachtung der Besiedlung von Fensterober- und Fensterunterseite.

Zu jedem Beobachtungstermin wurden die neu hinzugekommenen Einbohrlöcher mit Stecknadeln markiert, wobei die Stecknadeln nicht in das Einbohrloch, sondern rechts neben dem Einbohrloch positioniert wurden.

4.3 ERGEBNISSE

4.3.1 EINSCHLAGTERMINVERSUCH MIT ROT-BUCHE

An den eingeschlagenen Rot-Buchen konnten im Versuchszeitraum von März 2010 bis Juli 2011 bast- und holzbesiedelnde Borkenkäferarten erfasst werden. Von den holzbesiedelnden Borkenkäfern wurde *T. domesticum* (Bohrlochdurchmesser ~ 2 mm) und *Xylosandrus germanus* (Bland.) (Bohrlochdurchmesser ~ 1 mm) nachgewiesen. Die Einbohrlöcher von etwa 1 mm Durchmesser hätten auch auf *Xyleborus saxeseni* (Ratz.) hindeuten können, jedoch wurden bei Kontrollen ausschließlich Individuen von *X. germanus* bestimmt. Darüber hinaus konnten die eindeutig auf *X. germanus* zurückzuführenden Bohrmehlwürstchen aus den Einbohrlöchern beobachtet werden. Von den bastbesiedelnden Borkenkäfern wurde *T. bicolor* an den Rot-Buchen Stämmen nachgewiesen.

Wie in Abbildung 8 deutlich wird, haben alle drei erfassten Arten unterschiedliche Präferenzen hinsichtlich des Holzalters bzw. unterschieden sich im Schwärmverhalten. Der Nutzholzborkenkäfer *T. domesticum* konnte im ersten Versuchsjahr an keinem der eingeschlagenen Rot-Buchen-Stämme nachgewiesen werden. Erst im Frühjahr 2011 wurde eine Besiedlung an den Stämmen des Einschlagterminversuches beobachtet. Dabei wurden von *T. domesticum* zum überwiegenden Teil die Stämme befallen, welche schon seit über einem Jahr eingeschlagen waren (Dezember 2009 und März 2010). Zum Kontrolltermin Ende April war die Besiedlung durch *T. domesticum* zum überwiegenden Teil abgeschlossen (Abbildung 8 oben).

Der Schwarze Nutzholzborkenkäfer *X. germanus* wurde bereits im Versuchsjahr 2010 im Zeitraum von Juni bis August an den eingeschlagenen Rot-Buchen-Stämmen erfasst und besiedelte überwiegend das im März 2010 eingeschlagene Rot-Buchen-Holz (Abbildung 8 mittig). Eine Besiedlung des im Juni, zur Hauptschwärmzeit von *X. germanus*, eingeschlagenen Holzes wurde nicht beobachtet. Im Zeitraum April bis Mai 2011 wurde die stärkste Besiedlungsaktivität von *X. germanus* an den ältesten eingeschlagenen Rot-Buchen-Stämmen beobachtet. Die besiedelten Stämme waren zu diesem Zeitpunkt 17-20 Monate alt. Darüber hinaus wurden, analog zum Versuchsjahr 2010, ab Juni 2011 aber auch Stämme befallen, welche erst drei Monate eingeschlagen waren (Abbildung 8 mittig).

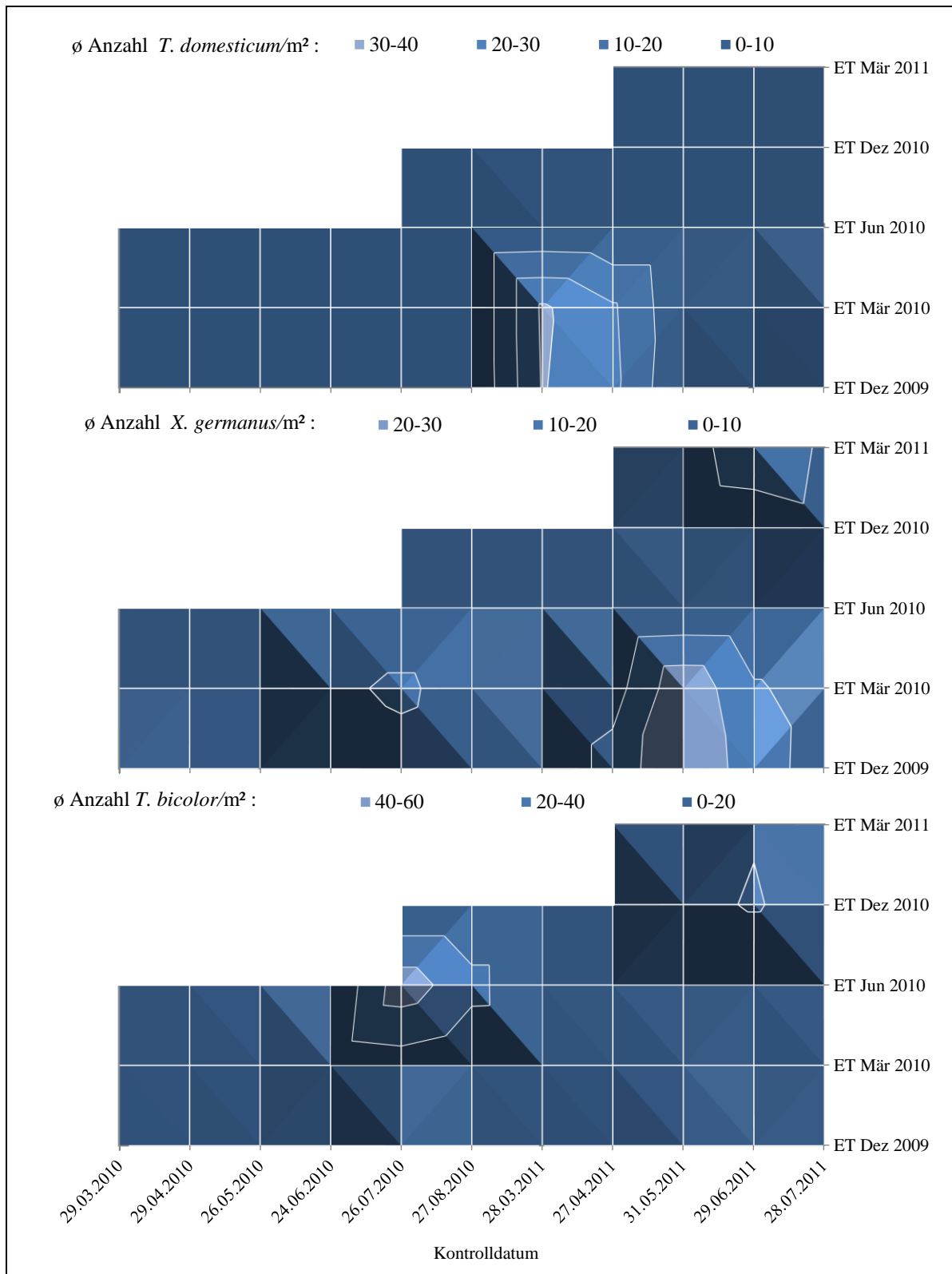


Abbildung 8: Anzahl der pro m² durchschnittlich pro Kontrollfenster erfassten Einbohrlöcher von *T. domesticum*, *X. germanus* und *T. bicolor* in Abhängigkeit vom Kontrolldatum und dem Einschlagtermin (ET) des Rot-Buchen-Holzes

Der kleine Buchenborkenkäfer *T. bicolor* konnte sowohl im Versuchsjahr 2010 als auch im Versuchsjahr 2011 hauptsächlich im Zeitraum Juni bis August an den Rot-Buchen-Stämmen erfasst werden. Dabei schien *T. bicolor* eine Präferenz für frisch eingeschlagenes

Holz zu besitzen (Abbildung 8 unten). Im Versuchsjahr 2010 wurde Holz besiedelt, welches bereits zwischen einem und vier Monaten eingeschlagen war. Im Versuchsjahr 2011 besiedelte *T. bicolor* zwei bis sieben Monate altes Holz, welches zum Zeitpunkt des Schwarmes jedoch das zuletzt eingeschlagene Holz darstellte. Im Juni eingeschlagenes Holz stand *T. bicolor* im Versuchsjahr 2011 nicht zur Verfügung.

Neben der unterschiedlichen Präferenz der drei erfassten Arten für unterschiedliche Holzalter konnten auch Unterschiede der Besiedlungsschwerpunkte am Stamm erfasst werden (Abbildung 9). Während für *T. domesticum* keine Präferenz für einen Stammteil erfasst wurde, zeigte sich, dass *X. germanus* das Rindenfenster F1 im Vergleich zu den Fenstern F2 und F3 geringfügiger besiedelte. Zudem konnte von *X. germanus* im mittleren Stammteil (F2) eine höhere Besiedlungsintensität auf der Stammoberseite erfasst werden. Im Kronenbereich (F3) hingegen wurde der untere Stammbereich stärker besiedelt. Vergleichbare Ergebnisse wurden auch von *T. bicolor* erfasst, der im Fenster F1 häufiger an der Oberfläche des Rindenfensters zu finden war, im Fenster F3 hingegen häufiger an der Unterseite. Am intensivsten wurde von *T. bicolor* der mittlere Stammbereich (F2) besiedelt, der sich in der Besiedlungsintensität zumindest signifikant vom Kronenbereich (F3) unterschied.

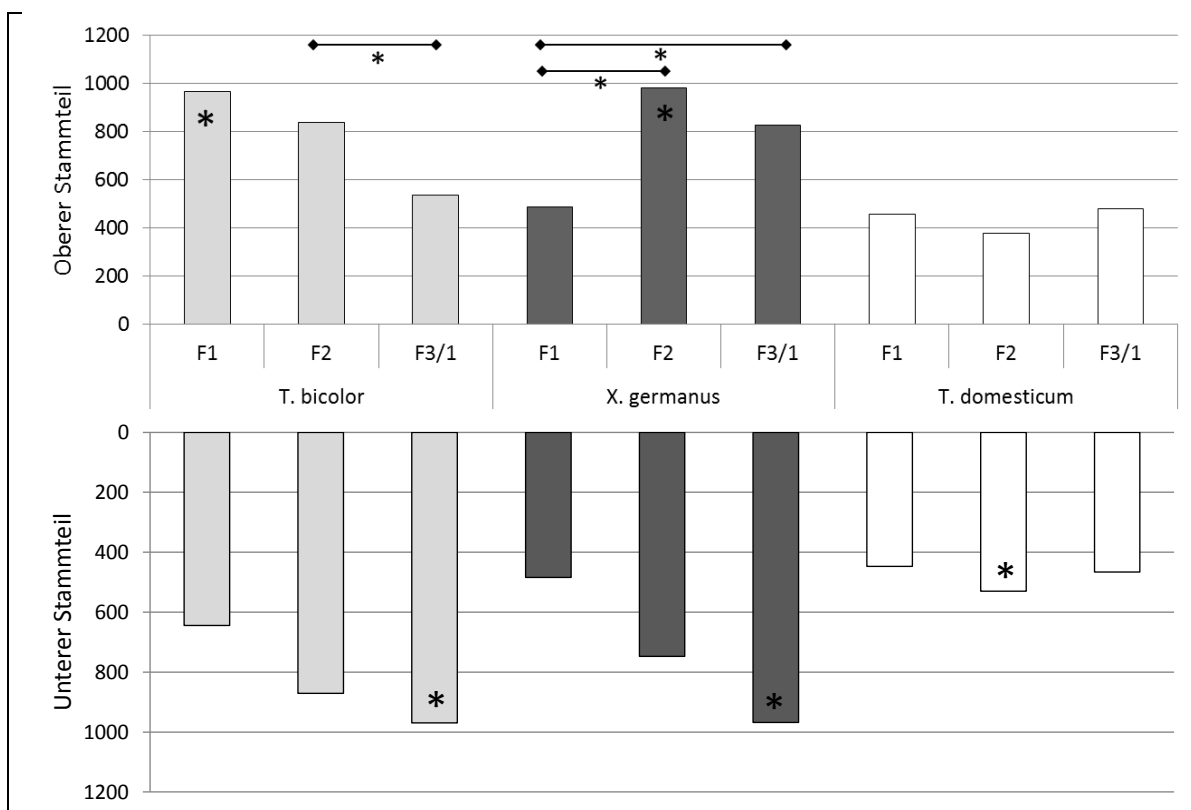


Abbildung 9: Summierte Anzahl an Einbohrlöchern/m² der Arten *T. bicolor*, *X. germanus* und *T. domesticum* (Statistik: Chi-Quadrat-Test: $p < 0,05$ = * = signifikant) an den Kontrollfenstern (* in Säulen beschreiben signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Kontrollfensters)

Wie der Tabelle 3 entnommen werden kann, konnte lediglich für *T. bicolor* ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl an Einbohrlöchern und dem Durchmesser des Rot-Buchenstammabschnittes nachgewiesen werden, der einer kubischen Funktion am nächsten kam. Die kubische Funktion deckt sich zudem sehr gut mit den für *T. bicolor* in Abbildung 9 dargestellten Ergebnissen, welche ein Maximum der Besiedlungsintensität im Beobachtungsfenster F2 nachwiesen, wenngleich das Bestimmtheitsmaß der Funktion als relativ gering klassifiziert werden muss. Für *X. germanus* und *T. domesticum* konnte eine Abhängigkeit der Besiedlungsintensität vom Alter des Stammes erfasst werden. Ein hohes Bestimmtheitsmaß der Funktionen ließ sich jedoch nicht nachweisen. Die für *X. germanus* erfasste quadratische Funktion der Anzahl an Einbohrlöchern in Abhängigkeit vom Alter des Stammes deckt sich sehr gut mit den in Abbildung 8 (mittig) dargestellten Besiedlungsschwerpunkten, welche sich an sehr frischem und sehr altem Holz zeigten. Für *T. domesticum* hingegen wurde mit zunehmendem Alter der Stämme eine signifikant stärkere Besiedlung erfasst.

Tabelle 3: Regressionen der Anzahl an Einbohrlöchern von *T. bicolor*, *X. germanus* und *T. domesticum* in Abhängigkeit der Merkmale Alter und Durchmesser der Rot-Buchenstammabschnitte. Regression in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde nur an den Hölzern des Einschlagterminversuches durchgeführt, welche von der jeweiligen Art am stärksten besiedelt wurden: *T. bicolor* (Stämme III 1-4), *X. germanus* und *T. domesticum* (Stämme I 1-4).

Anzahl Einbohrlöcher (Σ/m^2) abhängig von:		<i>T. bicolor</i>			
		R ²	p	Funktion	Formel
Alter (a)		0,084	0,160	linear	$y = -0,504x + 280,064$
Durchmesser (d)		0,476	0,045	kubisch	$y = 204,176x^3 - 20,623x^2 + 0,618x - 410,546$
		<i>X. germanus</i>			
		R ²	p	Funktion	Formel
Alter (a)		0,316	0,033	quadratisch	$y = -1,519x^2 + 0,004x + 224,660$
Durchmesser (d)		0,110	0,613	kubisch	$y = 98,024x^3 - 7,185x^2 + 0,152x - 219,343$
		<i>T. domesticum</i>			
		R ²	p	Funktion	Formel
Alter (a)		0,171	0,040	linear	$y = 0,584x - 66,61$
Durchmesser (d)		0,057	0,825	kubisch	$y = 23,771x^3 - 1,126x^2 + 0,006x - 4,542$

4.3.2 EINSCHLAGTERMINVERSUCH MIT GEMEINER ESCHEN

Auch an den eingeschlagenen Gemeinen Eschen konnten im Versuchszeitraum von März 2010 bis Juli 2011 bast- und holzbesiedelnde Borkenkäferarten erfasst werden. Die am häufigsten aufgetretene bastbesiedelnde Borkenkäferart war *L. varius*. Der Große schwarze Eschenbastkäfer (*Hylesinus crenatus* F.) wurde in weitaus geringerer Besiedlungsdichte nachgewiesen. Von den holzbesiedelnden Borkenkäfern wurde *T. signatum* (Bohrlochdurchmesser ~ 2 mm) erfasst (Abbildung 10).

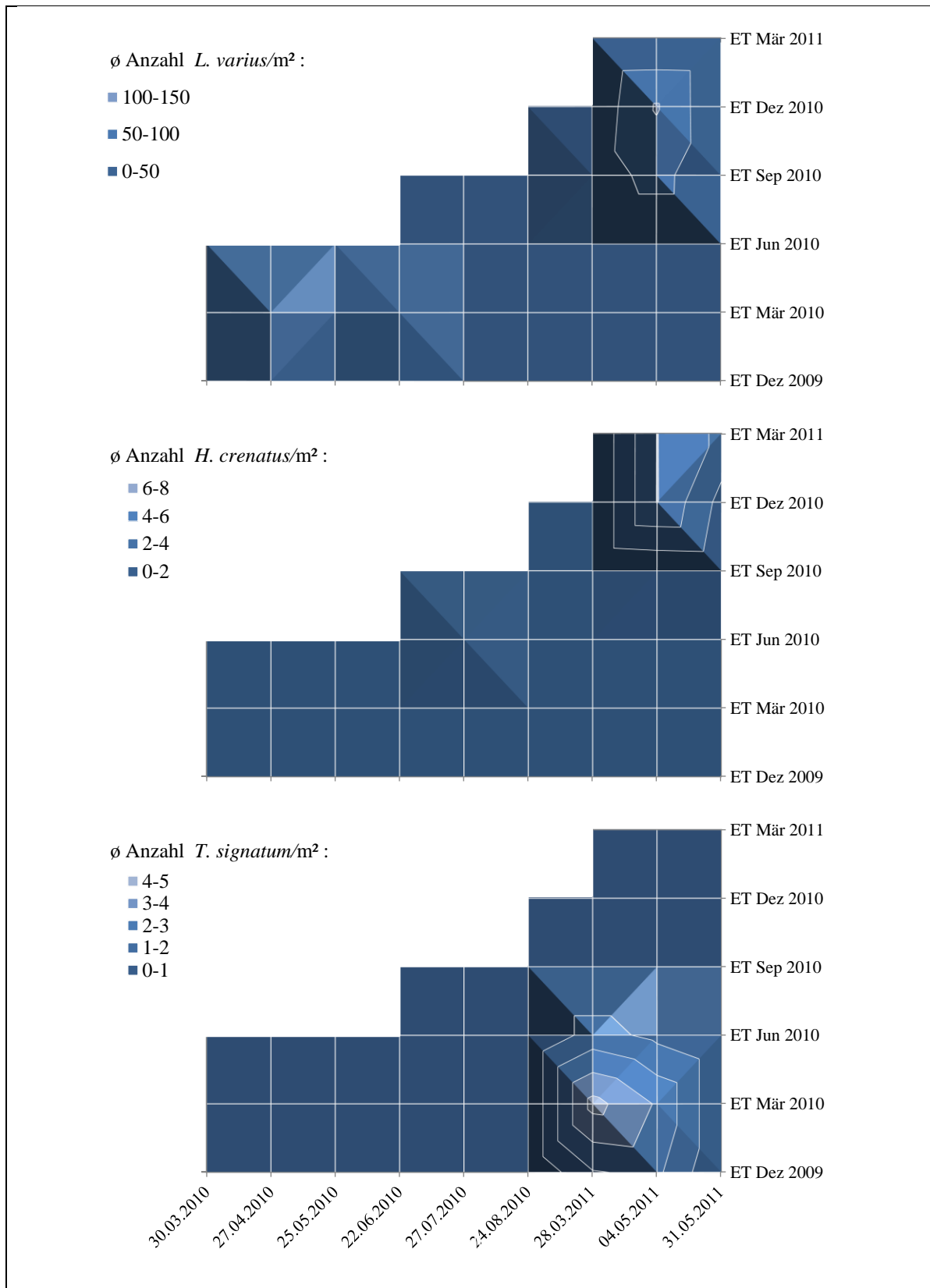


Abbildung 10: Anzahl der pro m² durchschnittlich pro Kontrollfenster erfassten Einbohrlöcher von *L. varius*, *H. crenatus* und *T. signatum* in Abhängigkeit vom Kontrolldatum und dem Einschlagtermin des Eschen-Holzes

Die bastbesiedelnden Arten *L. varius* und *H. crenatus* wiesen eine ähnliche Präferenz des eingeschlagenen Holzes auf, zeigten jedoch ein saisonal leicht differenziertes Auftreten

(Abbildung 10). Eine im Jahresverlauf frühere Besiedlungsaktivität an den Eschenstämmen wurde von *L. varius* beobachtet, welcher ab Ende März begann, die Eschenstämmen des Einschlagterminversuches zu besiedeln. Das Maximum der Besiedlungsaktivität wurde im April verzeichnet und schwächte sich im Mai deutlich ab. Ein etwas späteres Schwarmmaximum wurde hingegen von *H. crenatus* beobachtet, dessen Besiedlung der Eschenhölzer hauptsächlich im Mai stattgefunden hatte. Beide Bastkäfer schienen vornehmlich frischeres Eschenholz für ihre Besiedlung zu präferieren. Zu Beginn der Schwärmphase von *L. varius* im März wurde hauptsächlich das im Dezember des Vorjahres geschlagene Holz besiedelt, was bis dato ein Alter von etwa 3-4 Monaten hatte. Das im März 2010 eingeschlagene Holz wurde von *L. varius* erst im April 2010 stärker besiedelt und wies im Mai 2010 eine höhere Attraktivität für *L. varius* auf, als das im Dezember 2009 eingeschlagene Holz. Im Versuchsjahr 2011 hingegen blieb das im März 2011 eingeschlagene Holz fast gänzlich unbesiedelt. Wie der Abbildung 10 (oben) zu entnehmen ist, besiedelte *L. varius* im Versuchsjahr 2011 fast ausschließlich Eschenholz, welches im Vorjahr im Zeitraum September bis Dezember geschlagen wurde. Der Schwerpunkt der Besiedlung lag dabei auf dem im Dezember des Vorjahres geschlagenen Eschenholz. Auch *H. crenatus* besiedelte die von September bis Dezember des Vorjahres eingeschlagenen Eschenhölzer, wobei die im September geschlagenen Hölzer deutlich geringer besiedelt wurden, als die im Dezember geschlagenen Hölzer. Im Gegensatz zu *L. varius* schien *H. crenatus* eine stärkere Präferenz für sehr frisch eingeschlagenes, etwa ein bis zwei Monate altes Holz, zu besitzen.

Von *T. signatum* lässt sich eine Besiedlungsaktivität von März bis Anfang Mai erkennen (Abbildung 10). Dabei wurden vornehmlich Eschenhölzer besiedelt, welche im März des Vorjahres geschlagen wurden. Das vom Einschlagtermin gesehen jüngste Eschenholz, von dem Besiedlung mit *T. signatum* nachgewiesen werden konnte, wurde im Juni des Vorjahres geschlagen und war dem Alterungs- und Zersetzungsprozess damit etwa 9 Monate ausgesetzt.

Hinsichtlich einer Präferenz von *L. varius* für einen Stammteil am eingeschlagenen Eschenholz, wurde am häufigsten der mittlere Stammabschnitt (F2) besiedelt. Die signifikant geringste Besiedlung wurde am Beobachtungsfenster F1 erfasst. Sowohl am Beobachtungsfenster F1, als auch am Beobachtungsfenster F3 wurde eine signifikant höhere Besiedlung auf der Stammoberseite nachgewiesen. Auch *H. crenatus* und *T. signatum* besiedelten die Stammoberseite signifikant häufiger als die Stammunterseite. Im

Gegensatz zu *L. varius* nahm die Besiedlungsintensität von *H. crenatus* und *T. signatum* jedoch vom Beobachtungsfenster F1 zum Beobachtungsfenster F3 hin, ab (Abbildung 11).

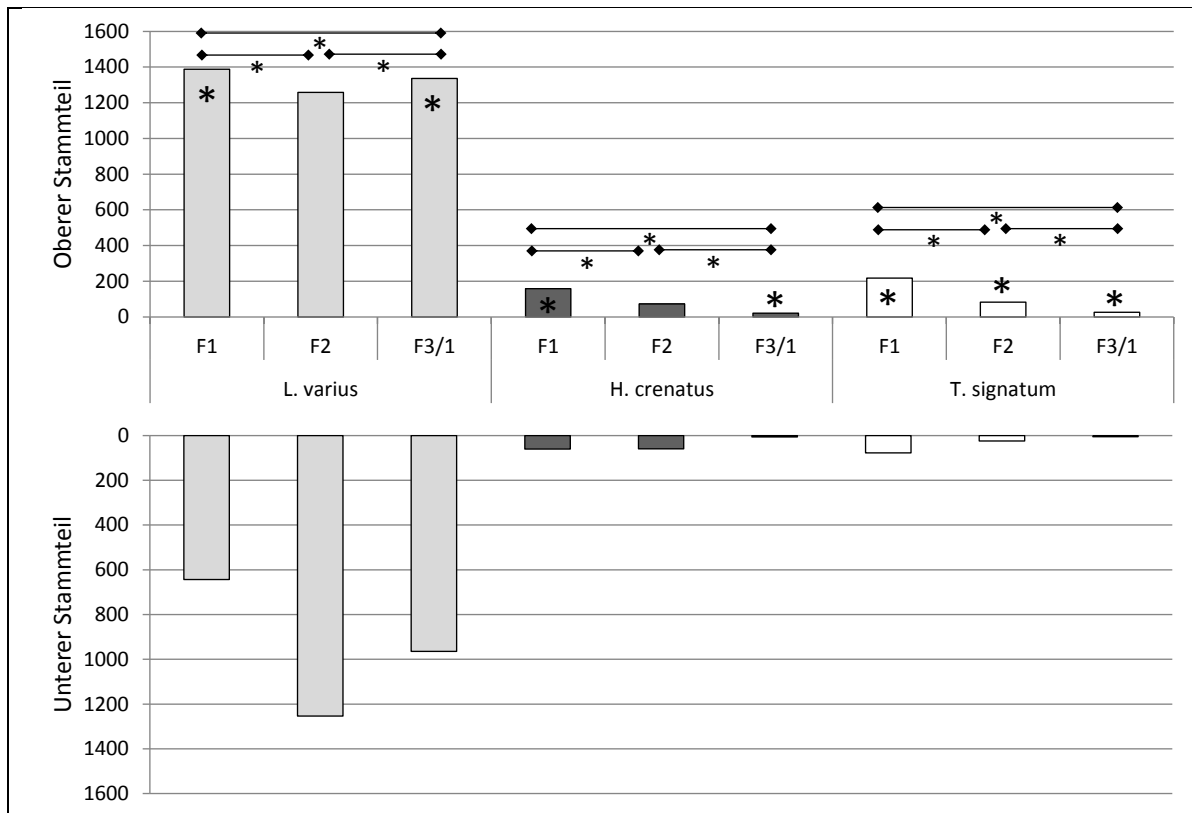


Abbildung 11: Summierte Anzahl an Einbohrlöchern/m² der Arten *L. varius*, *H. crenatus* und *T. signatum* (Statistik: Chi-Quadrat-Test: $p < 0,05$ = * = signifikant) an den Kontrollfenstern (* in Säulen beschreiben signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Kontrollfensters)

Die für *H. crenatus* und *T. signatum* erfasste Präferenz für das Beobachtungsfenster F1 konnte mit den in Tabelle 4 dargestellten Regressionen nicht signifikant nachgewiesen werden.

Tabelle 4: Regressionen der Anzahl an Einbohrlöchern von *L. varius*, *H. crenatus* und *T. signatum* in Abhängigkeit der Merkmale Alter und Durchmesser der Eschenstammabschnitte. Regression in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde nur an den Hölzern des Einschlagterminversuches durchgeführt, welche von der jeweiligen Art am stärksten besiedelt wurden: *L. varius* (Stämme IV 1-4), *H. crenatus* (Stämme V 1-4) und *T. signatum* (Stämme II 1-4).

Anzahl Einbohrlöcher		<i>L. varius</i>			
(Σ/m^2) abhängig von:	R ²	p	Funktion	Formel	
Alter (a)	0,050	0,228	linear	$y = -0,690x + 379,911$	
Durchmesser (d)	0,321	0,213	quadratisch	$y = 127,211x^2 - 5,485x - 425,340$	
		<i>H. crenatus</i>			
	R ²	p	Funktion	Formel	
Alter (a)	0,135	0,042	logarithmisch	$y = -12,980\ln(x) + 77,113$	
Durchmesser (d)	0,099	0,449	logarithmisch	$y = 31,664\ln(x) - 69,066$	
		<i>T. signatum</i>			
	R ²	p	Funktion	Formel	
Alter (a)	0,443	0,001	kubisch	$y = -0,615x^3 + 0,004x^2 - 4,62E-6 + 20,809$	
Durchmesser (d)	0,227	0,073	linear	$y = 4,638x - 31,213$	

Zumindest für *T. signatum* zeigte sich jedoch in der Tendenz ein linearer Zusammenhang einer steigenden Besiedlungsintensität mit zunehmendem Durchmesser des Eschenstammes (Tabelle 4). Die Präferenz von *L. varius* für das Beobachtungsfenster F2 wird zudem durch die quadratische Funktion abgebildet, welche jedoch nicht als statistisch gesichert beschrieben werden kann. Signifikante Zusammenhänge hinsichtlich der Anzahl erfasster Einbohrlöcher und dem Alter der Stämme konnten für *H. crenatus* und *T. signatum* nachgewiesen werden, wenngleich die Bestimmtheitsmaße der Formeln als gering klassifiziert werden müssen. Entsprechend der logarithmischen Abhängigkeit der Besiedlungsintensität bei *H. crenatus* vom Alter des Eschenstammes, scheint dieser wie schon aus Abbildung 10 zu vermuten war, frisch eingeschlagenes Eschenholz deutlich zu präferieren. Für *T. signatum* kann eine kubische Abhängigkeit der Besiedlungsintensität vom Alter des Eschenstammes beschrieben werden, wobei diese Abhängigkeit vor allem eine zunehmende Besiedlungsintensität mit steigendem Alter des Eschenstammes beschreiben sollte. Eine Zunahme der Besiedlungsintensität an sehr frisch gefällten Eschenstämmen kann, entsprechend den Ergebnissen aus Abbildung 10, ausgeschlossen werden. Entsprechend sollte der Teil der Funktion vom Koordinatenursprung bis zum ersten Schnittpunkt mit der X-Achse unberücksichtigt bleiben.

4.3.3 EINSCHLAGTERMINVERSUCH MIT EICHEN

An den eingeschlagenen Eichen konnte im Versuchszeitraum von März 2010 bis Juli 2011 überwiegend eine Besiedlung mit *S. intricatus* und *X. germanus* festgestellt werden. Beide Arten schienen, wie in Abbildung 12 ersichtlich, neben einer ähnlichen Flugaktivität auch gleiche Holzalter der eingeschlagenen Eichen zu präferieren. Die Besiedlungsaktivität beider Arten erreichte im Juni ihren Höhepunkt und dauerte bis Ende Juli an. Beide Arten schienen im Dezember des Vorjahres eingeschlagenes Holz zu präferieren, welches zum Besiedlungszeitpunkt seit etwa 6 Monaten geschlagen war. Darüber hinaus besiedelte *S. intricatus* jedoch auch frisch eingeschlagenes Eichenholz, welches Ende Juni geschlagen wurde. Im Juli wurde dieses Holz am stärksten durch *S. intricatus* besiedelt. Von *X. germanus* hingegen, wurde das im Juni eingeschlagene Holz nur geringfügig besiedelt (Abbildung 12).

Auch hinsichtlich des Stammereiches, welchen beide Arten präferierten, konnten Analogien festgestellt werden. Wie in Abbildung 13 dargestellt, wurden die höchsten Besiedlungsdichten von *S. intricatus* als auch von *X. germanus* im Beobachtungsfenster F2

festgestellt. Jedoch bevorzugte *S. intricatus* die Unterseite des Eichenstammes und *X. germanus* die Oberseite des Eichenstammes. Die geringste Besiedlungsdichte von *S. intricatus* wurde im stammfußnahen Beobachtungsfenster F1 erfasst, hingegen war die Besiedlungsdichte von *X. germanus* im Kronenbereich am niedrigsten. Entsprechend den Erkenntnissen von *X. germanus* an Rot-Buche (Abbildung 9), scheinen Unterschiede in der Präferenz für Stammpartien bei unterschiedlichen Wirtsbäumen zu existieren.

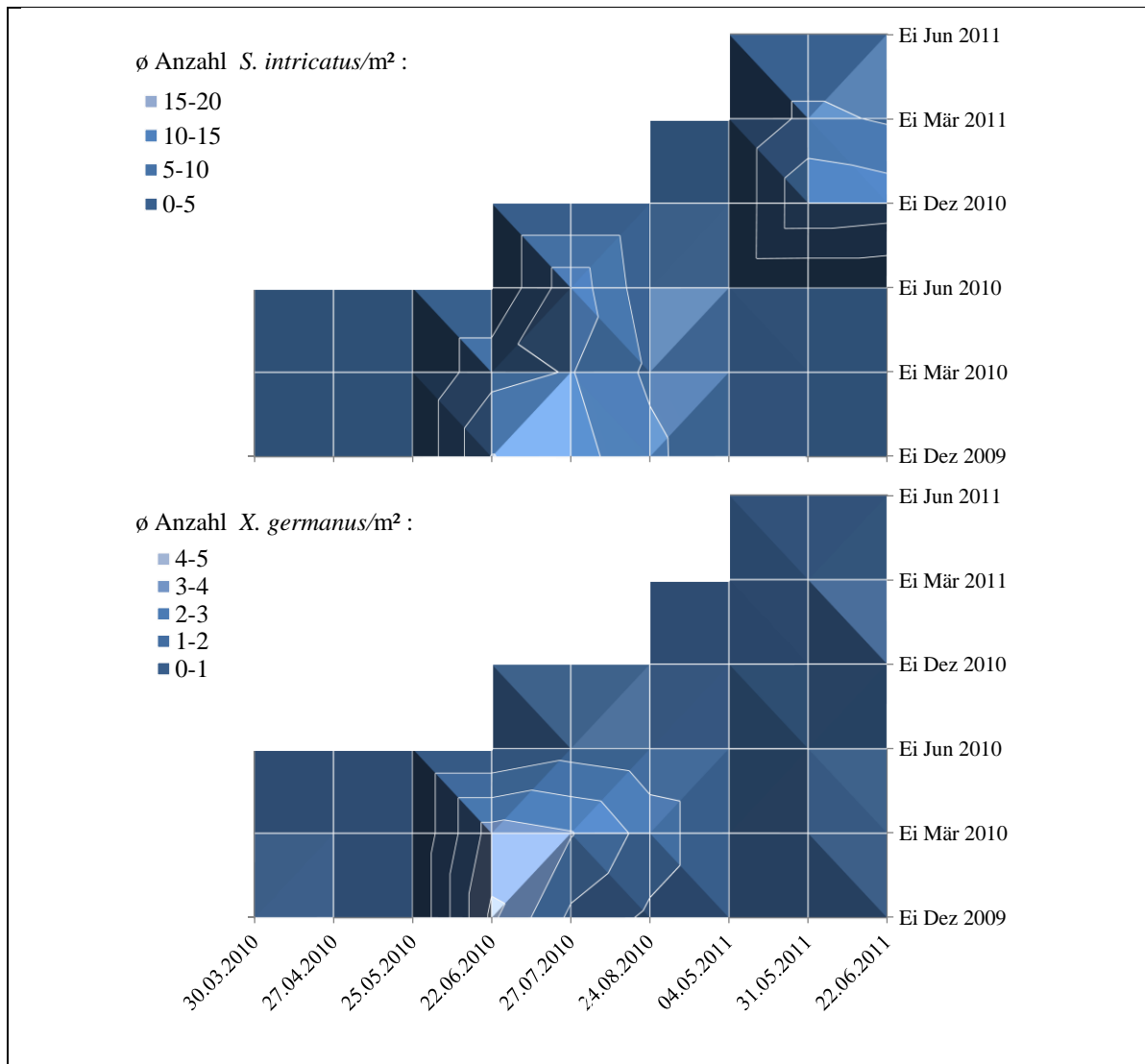


Abbildung 12: Anzahl der pro m² durchschnittlich pro Kontrollfenster erfassten Einbohrlöcher von *S. intricatus* und *X. germanus* in Abhängigkeit vom Kontrolldatum und dem Einschlagtermin des Eichen-Holzes

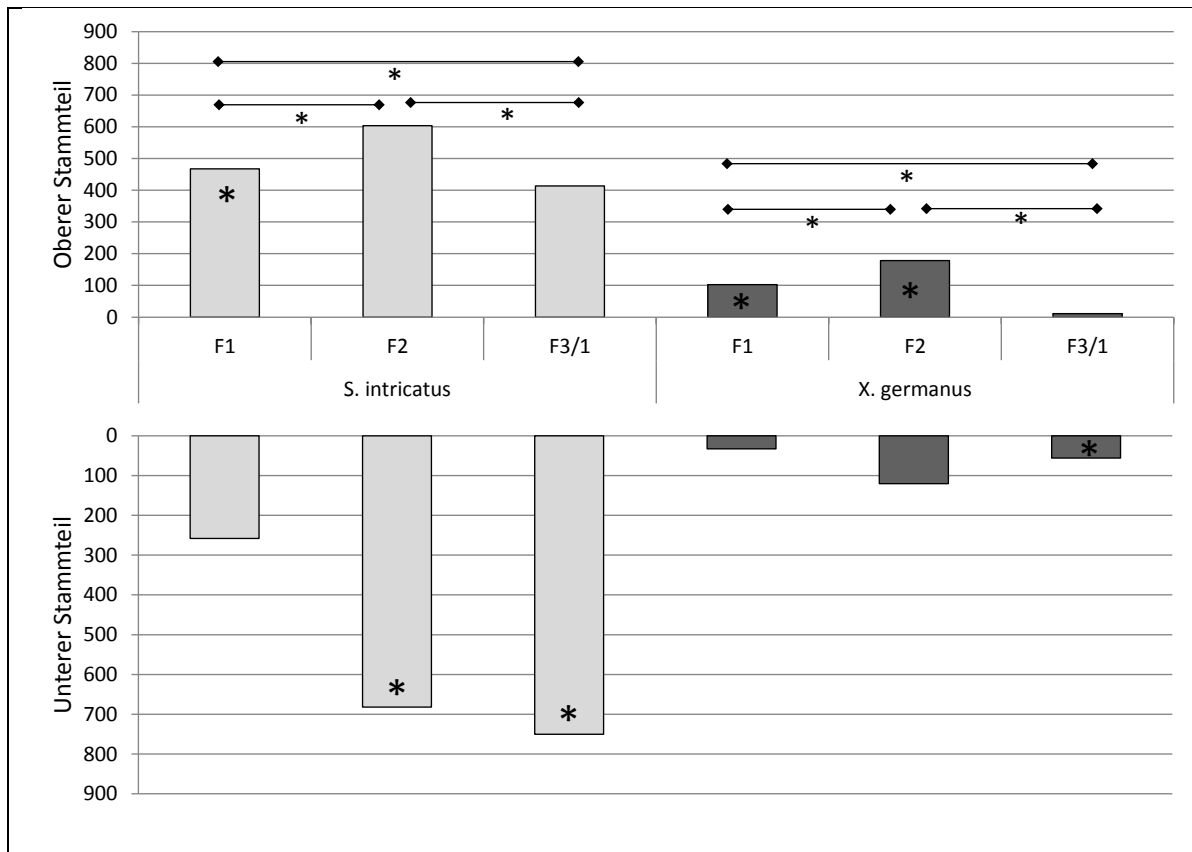


Abbildung 13: Summierte Anzahl an Einbohrlöchern/m² der Arten *S. intricatus* und *X. germanus* (Statistik: Chi-Quadrat-Test: $p < 0,05 = * =$ signifikant) an den Kontrollfenstern (* in Säulen beschreiben signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Kontrollfensters)

Für beide Arten konnten kaum Regressionen zwischen der Besiedlungsintensität und dem Alter bzw. dem Durchmesser der Stämme des Einschlagterminversuches nachgewiesen werden (Tabelle 5). Einzig für *S. intricatus* konnte eine kubische Beziehung zwischen der Besiedlungsintensität und dem Alter erfasst werden, deren Bestimmtheitsmaß jedoch sehr gering war. Das Maximum der Funktion deutet dennoch auf eine verstärkte Besiedlungsaktivität von *S. intricatus* an Eichenstämmen, welche ca. 6 Monate vor der Besiedlung geschlagen wurden, hin.

Tabelle 5: Regressionen der Anzahl an Einbohrlöchern von *S. intricatus* und *X. germanus* in Abhängigkeit der Merkmale Alter und Durchmesser der Eichenstammabschnitte. Regression in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde nur an den Hölzern des Einschlagterminversuches durchgeführt, welche von der jeweiligen Art am stärksten besiedelt wurden: *S. intricatus* (Stämme I 1-4) und *X. germanus* (Stämme II 1-4).

Anzahl Einbohrlöcher (Σ/m^2) abhängig von:	<i>S. intricatus</i>			
	R ²	p	Funktion	Formel
Alter (a)	0,153	0,020	kubisch	$y = 2,701x^3 - 0,011x^2 + 1,03E-5 - 12,559$
Durchmesser (d)	0,182	0,375	kubisch	$y = 68,114x^3 - 5,861x^2 + 0,151x - 149,473$
	<i>X. germanus</i>			
	R ²	p	Funktion	Formel
Alter (a)	0,178	0,062	kubisch	$y = 0,678x^3 - 0,003x^2 + 2,45E-6 - 16,145$
Durchmesser (d)	0,305	0,131	kubisch	$y = -27,395x^3 + 2,377x^2 - 0,60x + 99,106$

4.4 DISKUSSION

Die erfassten Zeitpunkte der Besiedlung der Hölzer des Einschlagterminversuches durch die nachgewiesenen bast- und holzbesiedelnden Arten waren identisch mit den für diese Arten erfassten Schwarmaktivitäten in den Fallenfangexperimenten (vgl. Kapitel 8.4.3).

Demnach ist in Rot-Buchenbeständen vor allem im zeitigen Frühjahr (ab März bis April) mit einem Anflug von *T. domesticum* auf eingeschlagene Rot-Buchen-Hölzer zu rechnen. Der jahreszeitlich frühe Flug führt dazu, dass an stehenden Bäumen noch kein Laubaustrieb stattgefunden hat und die natürlichen Abwehrkräfte des Baumes jahreszeitlich am niedrigsten sind, was die Aussichten einer erfolgreichen Besiedlung erhöht (Kühnholz et al. 2001). *T. domesticum* tritt gewöhnlich als sekundärer Art auf, was an stehenden Rot-Buchen prädisponierende Faktoren für einen Befall voraussetzt (Anonymus 2008). Dennoch konnten im Jahr 2001 in Belgien und anderen Teilen Europas Besiedlungen von scheinbar vitalen Rot-Buchen mit *T. domesticum* beobachtet werden (Grégoire et al. 2001). An liegenden Hölzern besitzt *T. domesticum* eine deutliche Affinität für länger lagernde Hölzer, an welchen die Zersetzungsprozesse bereits vorangeschritten sind. In den eigenen Untersuchungen waren dies Rot-Buchen, welche vor 12-15 Monaten eingeschlagen wurden. Auch in den Untersuchungen von Petercord (2006b) erfolgte die Besiedlung von Rot-Buchen durch *T. domesticum* erst, nachdem diese 17 Monate am Waldboden lagerten. Eine von Francke (1973) beschriebene Besiedlung von Stämmen, welche im Herbst oder Winter des vergangenen Jahres geschlagen wurden, konnte nicht erfasst werden – obwohl das Vorkommen von *T. domesticum* mit Fallenfängen nachgewiesen wurde. Von Petercord (2006b) konnte zwar keine vom Einschlagtermin der Rot-Buchen abhängige Besiedlung nachgewiesen werden, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass alle eingeschlagenen Buchen bei beobachteter Besiedlung durch *T. domesticum*, schon länger als 12 Monate eingeschlagen waren. Dennoch zeigte sich in den Ergebnissen von Petercord (2006b), dass *T. domesticum* bevorzugt die Stammpartien befällt, welche für den Zersetzungsgrad Z^o1b charakteristisch orange Verfärbungen im Bast aufwiesen. Nach Petercord (2006b) besaßen diese Bereiche eine Holzfeuchte zwischen 60 und 85 %. Als mögliche Ursache für diesen präferierten Feuchtebereich werden von Petercord (2006b) und Parini und Petercord (2006) optimale Bedingungen für die Zucht der von den Nutzholzborkenkäfern kultivierten Ambrosiapilze vermutet. Da die Ambrosiapilze als Nahrungsquelle für die Elterntiere, als auch für deren Brut dienen, müssen die Nutzholzborkenkäfer ihren Wirt entsprechend der ökologischen

Voraussetzungen ihres Nährpilzes auswählen (Klimetzek 1984). Entsprechend beschreibt Klimetzek (1984), dass das Fehlen einer ausreichenden Feuchte am Stamm, den Befall limitiert. Aus den Ergebnissen lassen sich Einschlagszeitpunkte ableiten, die eine Wahrscheinlichkeit der Besiedlung von Rot-Buchenholz mit *T. domesticum* im Frühjahr reduzieren. Folglich dürfte ab Juni eingeschlagenes Rot-Buchen-Holz im Folgejahr wenig Attraktivität für *T. domesticum* besitzen. Dabei sollte zudem beachtet werden, dass der Austrocknungsprozess durch die Exposition des liegenden Holzes beeinflusst werden kann. Entsprechend dürften Stämme, welche einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, möglicherweise schneller Attraktivität für *T. domesticum* erlangen. Da jedoch neben *T. domesticum* noch weitere bast- und holzbesiedelnde Insekten an eingeschlagenen Rot-Buchenstämmen siedeln, reduziert sich der Korridor für den optimalen Einschlagstermin, welcher eine Besiedlung des eingeschlagenen Holzes ausschließt.

Entsprechend den erfassten Ergebnissen besiedelt *T. bicolor* weitestgehend frisch eingeschlagene Rot-Buchenstämmen. Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in den Untersuchungen von Petercord (2006b). Eine von Schönherr und Krautwurst (1979) beschriebene breite ökologische Valenz in der Auswahl des Brutsubstrates konnte von *T. bicolor* nicht beobachtet werden. Dennoch beschreiben Schönherr und Krautwurst (1979) eine Präferenz für frisch geschlagene Hölzer, welche mit den eigenen Untersuchungen klar bestätigt werden kann. Hingegen konnte für *X. germanus* eine Besiedlung von frisch eingeschlagenem, als auch länger lagerndem Rot-Buchenholz nachgewiesen werden. Beide Arten (*T. bicolor* und *X. germanus*) treten hauptsächlich in den Monaten April bis September auf (Schönherr und Krautwurst 1979, Graf und Manser 2000, Böll et al. 2005), weshalb eine Waldlagerung von Rot-Buchenholz in diesem Zeitraum vermieden werden sollte. Die eigenen Untersuchungen deuten zwar auf eine Aktivitätsphase beider Arten zwischen Mai und Juli hin, jedoch sind die Schwärmphasen aufgrund der Wetterlage jährlichen Schwankungen unterworfen, was entsprechende Abweichungen bewirken kann. Der günstigste Zeitpunkt für den Einschlag von Rot-Buchenholz scheint sich folglich von September bis Ende März zu erstrecken, wobei ein Abtransport des Holzes bis Ende März empfohlen werden sollte, um Besiedlung des Holzes mit *T. bicolor* und *X. germanus* zu vermeiden. Ähnliche Empfehlungen geben auch Schönherr und Krautwurst (1979), welche zudem eine Entfernung des Schlagabraums als mögliches Brutsubstrat empfehlen.

Hinsichtlich der Verteilung der Besiedlungsaktivitäten am Buchenstamm konnten bei *T. domesticum* keine Unterschiede beobachtet werden und alle Durchmesserklassen wurden

weitestgehend einheitlich besiedelt. Der von Parini und Petercord (2006) erfasste Schwerpunkt einer Besiedlung des Stammfußes durch *T. domesticum* konnte nicht nachgewiesen werden. Jedoch zeigte sich eine Präferenz in der Besiedlung der unteren Stammbereiche, welche bereits von Schneider (1991) beschrieben wurde. Da die von den Holzbrütenden Käfern kultivierten Ambrosiapilze empfindlich auf Austrocknung reagieren, vermutet Schneider (1991) eine präferierte Besiedlung feuchterer Stellen am Stamm, welche an der Unterseite des Stammes häufiger zu finden sein dürften. Auch bei *T. bicolor* ließ sich keine klare Präferenz für einen Teil des Stammes erkennen, wenngleich der Besiedlungsschwerpunkt im mittleren Stammbereich zu finden war. Möglicherweise ist in diesem Stammbereich die Austrocknung des Holzes am wenigsten vorangeschritten und weißt damit den für *T. bicolor* frischesten Zustand auf, welcher nach Schönherr und Krautwurst (1979) bevorzugt besiedelt wird. Für *X. germanus* konnte eine tendenzielle Meidung in der Besiedlung des Stammfußes beobachtet werden – da auch *X. germanus* Ambrosiapilze züchtet, ist dies möglicherweise auf für ihn ungünstige Feuchtezustände am Stammfuß zurückzuführen. Auch Oliver und Mannion (2001) beschreiben die Notwendigkeit einer bestimmten Holzfeuchte in der Pilzkultivierung von *X. germanus*.

In Beständen der Gemeinen Esche muss im zeitigen Frühjahr mit einem Anflug von *L. varius*, *H. crenatus* und *T. signatum* gerechnet werden. Während von *L. varius* und *H. crenatus* analog zu Rudinsky und Vallo (1979) eine bevorzugte Besiedlung frisch eingeschlagener Eschenhölzer beobachtet werden konnte, befällt *T. signatum*, analog zu *T. domesticum*, verstärkt bereits länger lagernde Stämme. Auch Kühnholz et al. (2001) beschreiben ein zu *T. domesticum* vergleichbares Verhalten von *T. signatum*. Entsprechend der Ergebnisse waren im zeitigen Frühjahr alle Stämme des Einschlagterminversuches für eine Besiedlung mit bast- oder holzbesiedelnden Insekten prädisponiert. Lediglich die Stämme des Juni-Einschlages schienen im Frühjahr des Folgejahres für alle genannten Arten ungeeignetes Brutsubstrat darzustellen. Dennoch könnten bei veränderter Exposition der Stämme des Einschlagterminversuches Verschiebungen im Befallsmuster auftreten. Da jedoch alle erfassten bast- und holzbesiedelnden Arten bis Ende Mai die Besiedlung der Eschenstämme weitestgehend abgeschlossen hatten, kann der Zeitraum Juni bis Februar als günstig, hinsichtlich einer Befallsvermeidung angegeben werden. Ein Abtransport der Stämme sollte jedoch bis Spätestens Ende Februar erfolgt sein. Ein Holzeinschlag im Zeitraum März bis Mai sollte aufgrund der Prädisposition des eingeschlagenen Holzes für einen Befall mit *L. varius* und *H. crenatus* möglichst vermieden werden. Bei einer

Waldlagerung von in diesem Zeitraum geschlagenen Hölzern werden Managementmaßnahmen zur Befallsprophylaxe notwendig.

Alle erfassten Arten im Eschenhabitat besiedelten bevorzugt die Oberseite der Eschenstämme. Zumindest für *T. signatum* wäre analog zu *T. domesticum* eine Bevorzugung der Stammunterseite zu erwarten gewesen. Auch *T. signatum* ernährt sich in seinem Brutsystem von einem selbst gezüchteten Ambrosiapilz (Klimetzek 1984), was darauf schließen lässt, dass für ihn die Feuchtebedingungen in den Eschenstämmen auch auf der Stammoberseite ausreichend gewesen sein müssen. Hinsichtlich einer Präferenz für einen Stammteil konnte *H. crenatus* analog zu Kunca et al. (2011) bevorzugt an den dicksten Stammdurchmessern erfasst werden. *L. varius* besiedelte hingegen am häufigsten im etwas dünneren Stammbereich (F2). Konnte für *T. domesticum* keine von Parini und Petercord (2006) beobachtete Affinität für den dickeren Stammbereich nachgewiesen werden, so zeigte sich eben diese bei *T. signatum* an Gemeiner Esche.

An den Stämmen des Eichen-Einschlagterminversuches wurden *S. intricatus* und *X. germanus* nachgewiesen. Beide Arten zeigten Besiedlungsaktivität von Mai bis August. Analog zur Rot-Buche zeigt *X. germanus* auch an Eiche ein breites Spektrum an Einschlagterminen, welche dieser erfolgreich besiedelt. Der Eichensplintkäfer zeigte eine deutliche Präferenz für Stämme, welche im Dezember des Vorjahres geschlagen wurden, siedelte jedoch auch an Stämmen, welche früher oder später geschlagen wurden. Auch Doganlar und Schopf (1984) konnten nachweisen, dass abgetrennte Äste nach etwa 6 Monaten für die Anlage der Brutsysteme bei *S. intricatus* besser geeignet waren, als Äste welche frisch abgetrennt wurden. Entsprechend der Ergebnisse wäre ein Einschlag des Eichenholzes im Zeitraum September bis Ende April zu empfehlen, wobei der Abtransport des Holzes bis Ende April erfolgen sollte. Rundholz, welches im Zeitraum Mai bis August in Eichenbeständen gelagert wird, bedarf hingegen Managementmaßnahmen zur Befallsvermeidung von *S. intricatus* und *X. germanus*.

Yates (1984) beschreibt eine Besiedlung durch *S. intricatus* an Ästen mit einem Durchmesser größer 5 cm, Kamp (1951) sogar eine Besiedlung von nur 1,8 cm dicken Ästen. Der Kronenbereich wurde stärker von *S. intricatus* besiedelt als der Bereich des Stammfußes, dennoch lag der Besiedlungsschwerpunkt im mittleren Stammbereich. Auch Kamp (1951) beschreibt eine Besiedlung von der Krone bis zum Stamm. Darüber hinaus besiedelte *S. intricatus* mit abnehmendem Durchmesser des Eichen-Stammes vermehrt an der Stammunterseite, was möglicherweise auf eine höhere Holzfeuchte auf der

Stammunterseite zurückgeführt werden könnte. Für *X. germanus* zeigte sich analog zu den Ergebnissen an Rot-Buche, eine Meidung in der Besiedlung des Stammfußes. Hingegen lag der Besiedlungsschwerpunkt von *X. germanus* an Eiche im mittleren Stammbereich.

Die Ergebnisse des Einschlagterminversuches verdeutlichen, dass mit den Baumarten Rot-Buche, Gemeine Esche und Eiche über einen Großteil des Jahres ein Schutz des eingeschlagenen Holzes vor einem Befall mit bast- und holzbesiedelnden Borkenkäferarten aus dem Einschlagtermin heraus realisiert werden kann. Dieser natürliche Schutz vor Besiedlung ergibt sich größtenteils aus dem Schwarmverhalten der bast- und holzbesiedelnden Borkenkäfer. Entsprechend ist ein Schutz vor einem Befall durch bast- und holzbesiedelnde Borkenkäfer vor allem durch einen Einschlag des Holzes vom Spätsommer bis zum darauffolgenden Frühjahr zu realisieren. Auch Graf und Manser (2000) beschreiben bei ihren Erkenntnissen aus Nadelwaldhabitaten, dass eingeschlagene Rundhölzer ab August keinem Befall durch Nutzholzinsekten ausgesetzt sind. Entsprechend erfordert die Zeitspanne von März bis August, in welcher die Hauptschwärmphasen der bast- und holzbesiedelnden Insekten stattfinden, entsprechende Managementmaßnahmen zum Schutz des eingeschlagenen Rundholzes (Graf und Manser 2000), welche über den Einschlagstermin hinausgehen.

Es wird zudem deutlich, dass die holzbesiedelnden Arten *T. domesticum* und *T. signatum* sowie die bastbesiedelnden Arten *L. varius*, *H. crenatus* und *T. bicolor* eine starke Präferenz für einen bestimmten Einschlagstermin aufwiesen. Das ermöglicht im Einzelmanagement dieser Arten auch die Konzentration auf einen günstigen Einschlagstermin. Im Management der benannten holzbesiedelnden Arten sollte während derer Schwärmzeit vermieden werden Holz im Bestand zu lagern, welches vor mehr als acht Monaten eingeschlagen wurde. Zur Schwärmzeit der benannten bastbesiedelnden Arten sollte hingegen vermieden werden Holz im Bestand zu lagern, welches sehr frisch geschlagen wurde und folglich weniger als acht Monate im Bestand lagert.

Dennoch scheint ein Management über einen Einschlagstermin sehr riskant, da sich die zeitlichen und räumlichen Abundanzen verschiedener Borkenkäferarten häufig überschneiden. Zudem sollte zumindest während der Schwärmzeit von *X. germanus* gänzlich vermieden werden, eingeschlagenes Holz im Bestand zu lagern. Wie die Ergebnisse zeigen, wird von *X. germanus* sowohl frisches als auch länger lagerndes Holz besiedelt. Ähnliche Ergebnisse hinsichtlich eines unspezifischen Befalls von *X. germanus* konnten auch Graf und Manser (2000) feststellen. Entsprechend den Formulierungen von

Grüne (1979) sowie Graf und Manser (2000) dürften von den untersuchten Baumarten vor allem eingeschlagene Rot-Buchen und Eichen von einer Besiedlung mit *X. germanus* betroffen sein. Als stark polyphage Art befällt *X. germanus* ein sehr breites Spektrum an Laub- und Nadelhölzern (Blaschke und Bussler 2012). Ein Befall an Gemeiner Esche konnte in den eigenen Untersuchungen zwar nicht beobachtet werden, dennoch führen López et al. (2007) *Fraxinus* spec. als potentielle Wirtsbäume von *X. germanus* auf. Ein Holzeinschlag während der Hauptschwärmzeit im Zeitraum Mai bis Juli (Graf und Manser 2000) sollte daher, bei Vorkommen von *X. germanus*, mit einem raschen Abtransport des eingeschlagenen Holzes verbunden werden. Eine potentielle Gefährdung durch *X. germanus* ist jedoch nicht nur auf gefällte Bäume zu beobachten. Von Ranger et al. (2012) wird eine schnelle Identifizierung stehender gestresster Bäume durch *X. germanus* beschrieben. *X. germanus* gilt zwar nicht als Primärschädling, kann jedoch gestresste Bäume zeitnah zum Absterben bringen und deren Regeneration verhindern – als problematisch dabei gilt zu beachten, dass *X. germanus* ein sehr breites Wirtsspektrum besitzt (Ranger et al. 2012).

Bei der Empfehlung der Maßnahmen und Einschlagszeitpunkte wurde die Besiedlung der eingeschlagenen Hölzer mit Pracht- und Bockkäfern nicht berücksichtigt. Entsprechend ist deren Gefahrenpotential in der Diskussion der Ergebnisse nicht mit bemessen. Eine Gefährdung der Rot-Buche durch Befall mit den Prachtkäfern *Agrilus viridis* L. und *Chrysobothris affinis* L. wäre beispielsweise im Zeitraum April bis September zu berücksichtigen (Anonymus 2004). Auch eingeschlagenes Eichenrohholz ist durch eine Besiedlung einer Vielzahl von Prachtkäferarten gefährdet, unter anderem *C. affinis*, *Agrilus angustulus* Ill., *Agrilus biguttatus* Fabr. und *Agrilus sulcicollis* Lac. (Mühle 2007).

Die Ergebnisse der Einschlagterminversuche verdeutlichen, dass die bast- und holzbesiedelnden Insekten zwischen Stämmen unterschiedlicher Einschlagtermine differenzieren können. Wie von Holighaus und Schütz (2006) beschrieben, müssen die Insekten zudem in der Lage sein, am liegenden Einzelstamm, der sich sehr heterogen hinsichtlich unterschiedlicher Zersetzungsstadien zeigt, zu unterscheiden. Aus der klaren Sondierung der Einschlagtermine hinsichtlich einer Besiedlung oder Meidung der Wirtsbäume durch die Arten *T. domesticum*, *T. signatum*, *T. bicolor*, *L. varius* und *H. crenatus*, lassen sich möglicherweise Semiochemikalien für naturnahe Managementverfahren ableiten. Denkbar wären naturnahe Ablenkverfahren von bast- und holzbesiedelnden Insekten durch Applikation von Semiochemikalien aus ungeeigneten

Zerfallsstadien ihrer Wirtsbäume. Darüber hinaus sind die Ergebnisse der Einschlagterminversuche hilfreich, um künftig gezielter nach volatilen Synergisten der Pheromone von bast- und holzbesiedelnden Borkenkäferarten zu forschen.

4.5 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DURCHGEFÜHRTEN EINSCHLAGSTERMINVERSUCHEN

Mit den durchgeführten Einschlagterminversuchen konnte gezeigt werden, dass ein Management von einzelnen bast- und holzbesiedelnden Arten durchaus über einen geeigneten Einschlagtermin realisiert werden könnte, da für die meisten Arten klare Präferenzen hinsichtlich des von ihnen bevorzugt besiedelten Holzes nachzuweisen waren.

Die Arten *T. domesticum* und *T. signatum* zeigten eine bevorzugte Besiedlung von über 9 Monate lagernden Hölzern. Demnach wäre ein Holzeinschlag während oder kurz vor deren Schwärmzeit im zeitigen Frühjahr unproblematisch bzw. die Waldlagerung von im Herbst des Vorjahres geschlagenen Holzes wäre über die Schwärmzeit beider Arten möglich. Die Arten *H. crenatus*, *L. varius* und *T. bicolor* hingegen besiedelten primär frisch eingeschlagenes Holz. Im Management dieser Arten über den Einschlagtermin wäre folglich kein Einschlag während oder kurz vor deren Schwärmzeit zu empfehlen. Eine Waldlagerung von Holz, welches zur Schwärmzeit dieser Arten bereits seit über 7 Monaten eingeschlagen ist, scheint unproblematisch. Es konnten jedoch auch Arten erfasst werden, für die keine eindeutige Präferenz für Holz eines bestimmten Einschlagtermins nachzuweisen war. Zwar schienen *X. germanus* und *S. intricatus* Stämme zu bevorzugen, welche ein halbes Jahr vor deren Schwarmperiode eingeschlagen wurden, zeigten jedoch auch eine intensivere Besiedlung von frisch eingeschlagenem Holz.

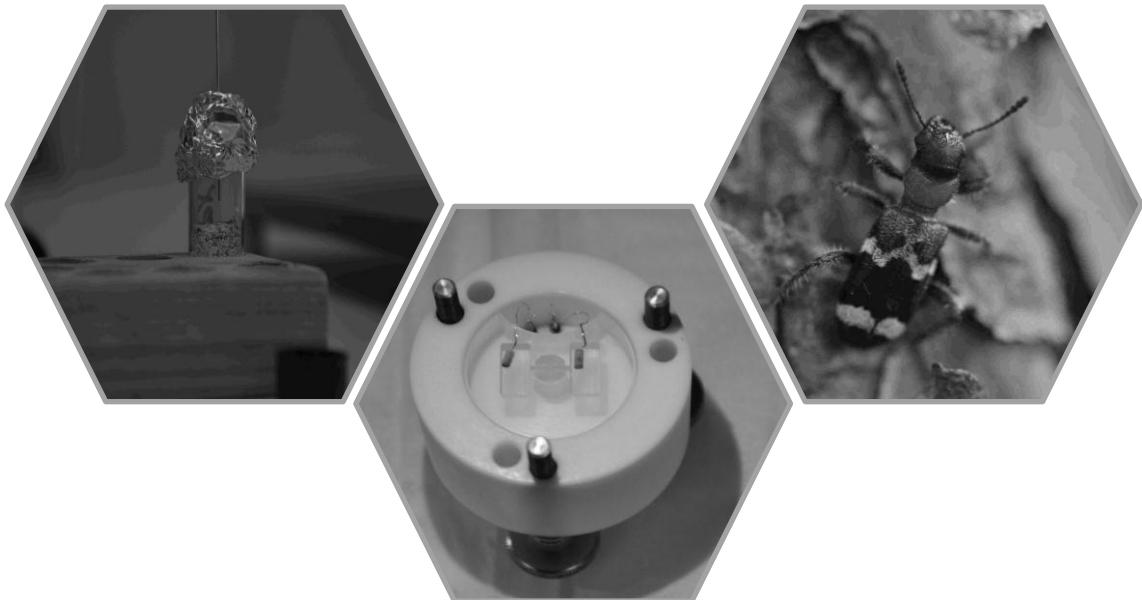
In der forstlichen Praxis ist die Vermeidung einer Besiedlung des eingeschlagenen Holzes jedoch nicht nur auf eine bestimmte Art von bast- und holzbesiedelnden Insekten ausgerichtet. Vielmehr geht es bei wertvollen Sortimenten um eine gänzliche Vermeidung des Borkenkäferbefalls am eingeschlagenen Holz, um eine Holzentwertung zu verhindern. Die im vorherigen Absatz beschriebenen Arten kommen teilweise in den gleichen Habitaten vor. Eine über den Einschlagtermin gesteuerte Vermeidung im Borkenkäferbefall ist daher mit größeren Unsicherheiten behaftet. Vor allem das Auftreten der als stark polyphag geltenden Art *X. germanus* schränkt dabei eine Steuerung über den Einschlagtermin ein. Den Ergebnissen entsprechend kann während der Schwärmzeit der meisten bast- und

holzbesiedelnden Arten vom Frühjahr bis in den Spätsommer eingeschlagenes Holz kaum ohne weitere Maßnahmen im Borkenkäfermanagement vor einer Besiedlung geschützt werden.

Bei der Übertragbarkeit der Ergebnisse in die forstliche Praxis sollte zudem beachtet werden, dass die Erfassung der Besiedlungspräferenzen am Einzelstamm erfolgte. Die Lagerung eingeschlagenen Holzes erfolgt jedoch hauptsächlich durch eine Polterung der Stämme. Die Bedingungen an einem Holzpolter können sich dabei grundlegend von den Bedingungen und Holzalterungsverläufen am Einzelstamm unterscheiden. Entsprechend wären in der Poltermitte höhere Holzfeuchtigkeiten zu erwarten als an der Mantelfläche des Polters. Folglich können sich die in den Ergebnissen für den Einzelstamm dargestellten Präferenzen für einen Einschlagtermin grundlegend von den Präferenzen am Polter unterscheiden, da am Holzpolter vermutlich ein breiteres Spektrum an unterschiedlichen Bruthabitaten vorhanden sein dürfte.

Aus den Ergebnissen des Einschlagterminversuches und den daraus abgeleiteten Besiedlungspräferenzen der erfassten bast- und holzbesiedelnden Arten lassen sich zudem Grundlagen für weitere chemoökologische Forschungen ableiten. Die Besiedlungspräferenzen geben Aufschluss, welche Holzalterungsstadien für eine Analyse von Semiochemikalien, die den Primärbefall der einzelnen Arten am Wirtsbaum induzieren, geeignet sind. Speziell bei den bast- und holzbesiedelnden Insekten am Laubholz besteht diesbezüglich noch weitreichender Forschungsbedarf, zumal die meisten Arten am Laubholz als Sekundärbesiedler beschrieben werden, bei denen die Orientierung an Wirtsvolatilen von besonderer Bedeutung ist.

**TEIL B: Analyse von Semiochemikalien aus den
Untersuchungshabitaten und deren
Wahrnehmung von *Thanasimus
formicarius* L.**



Gliederung Teil B		Seite
5	Untersuchungen zu baumbürtigen und käferbürtigen Semiochemikalien aus den Untersuchungshabitaten	43
5.1	Methodik	43
5.2	Ergebnisse	54
5.3	Diskussion und Begründung Substanzauswahl	68
6	Untersuchung zur olfaktorischen Wahrnehmung von ausgewählten Semiochemikalien bei <i>Thanasimus formicarius</i>	89
6.1	Methodik	89
6.2	Ergebnisse	96
6.3	Diskussion	122
7	Schlussfolgerungen aus der Analyse von Semiochemikalien aus den Untersuchungshabitaten	133

5 UNTERSUCHUNGEN ZU BAUMBÜRTIGEN UND KÄFERBÜRTIGEN SEMIOCHEMIKALIEN AUS DEN UNTERSUCHUNGSHABITATEN

5.1 METHODIK

5.1.1 AUSWAHL VON SEMIOCHEMIKALIEN AUS DER LITERATUR

Im ersten Untersuchungsjahr wurden ausschließlich Verdachtssubstanzen aus der Literatur verwendet. Es wurden dabei Semiochemikalien aus den drei Untersuchungshabitaten Rot-Buche, Eiche und Gemeine Esche ausgewählt, von denen Wirkungen auf die in dieser Arbeit definierten Zielarten zu erwarten waren.

Zudem konnten nur Substanzen in die Untersuchungen einbezogen werden, welche auf dem Markt frei zur Verfügung standen. Demensprechend wurden für das Versuchsjahr 2010 folgende Substanzen ausgewählt:

- Bei Veratrol handelt es sich um eine Substanz, für welche Holighaus und Schütz (2006) eine olfaktorische Reaktion von *T. domesticum* im Elektroantennogramm nachgewiesen haben. Eine Erprobung der Reaktion im Freiland ist bislang nicht erfolgt.
- Die Substanz 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-one ist ebenfalls aus dem Bouquet von *T. domesticum* bekannt und wird bei physischer Belastung (z. B. Schwärmflug, Anlage der Brutgänge) von Männchen und Weibchen abgegeben (Parini und Petercord 2006). Zudem ist nach Francke und Heemann (1974) bekannt, dass bei Ausbringung dieser Substanz an frischem Holz eine starke Aggregationswirkung auf *T. domesticum* zu erwarten ist. 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-one scheint zudem ein Weiser für Attraktivität des Brutraums, denn mit steigender Besiedlungsdichte wird die Produktion der Substanz von den Käfern reduziert (Schmidt et al. 1999, Parini und Petercord 2006).
- Das Keton Acetophenon ist nach Kohnle et al. (1987) ein geschlechtsspezifischer Duftstoff im Pheromonbouquet von *T. bicolor* und besitzt vorwiegend auf die Weibchen eine aggregierende Wirkung. Kohnle et al. (1987) weisen allerdings

darauf hin, dass die Lockwirkung des Acetophenons als Einzelsubstanz gering ist und vermutlich weitere Substanzen an der Aggregation beteiligt sind. Acetophenon scheint auch eine Lockwirkung auf Prädatoren zu erzeugen (Erbiglin et al. 2008).

- Eine Lockwirkung des Lineatin ist auf Nutzholzborkenkäfer als auch auf potentielle Prädatoren bekannt. Nach Borden und Slater (1969) zitiert bei Klimetzek et al. (1980) ist die Substanz im Bohrmehl der *Trypodendron*-Arten enthalten und bewirkt einen Anflug beider Geschlechter. Bei Abwesenheit von Ethanol vermuten Klimetzek et al. (1980) jedoch einen geringeren Anflug der Weibchen. Zudem ist die kairomonale Wirkung des Lineatin auf *T. formicarius* als auch auf *Rhizophagus* spec. nachgewiesen (Tømmerås 1988, Martikainen 2001, Zurr 2009, Petercord 2008).
- Das Keton Nonanon-2 wurde ausgewählt, da es nach Francke et al. (1979) neben *exo*-Brevicommin und (E)-Conophthorin als Männchen spezifische Komponente bei *L. varius* fungiert. Die beiden letztgenannten Substanzen waren auf dem Markt nicht als Reinsubstanzen verfügbar und konnten daher zunächst nicht in die Untersuchungen integriert werden.
- Eine Substanz, welche in der Primärattraktion vieler Insektenarten eine Rolle spielt und in allen drei Untersuchungshabitaten natürlich anzutreffen sein dürfte, ist das pflanzenbürtige Ethanol.
- Für das Pheromonbouquet von *S. intricatus* ist nach Vrkočová et al. (2003) das 4-Methylheptan-3-ol bekannt und wurde deshalb als Verdachtssubstanz des Eichen-Habitats gewählt.

5.1.2 ABSORPTION DER BAUMBÜRTIGEN SUBSTANZEN

Um volatile Substanzen zu erfassen, welche von den Bäumen aus dem Einschlagterminversuch zu unterschiedlichen Zeiten im Jahresverlauf 2010 emittiert wurden, wurde die Closed-Loop-Stripping Methode nach Boland et al. (1984) verwendet. Mit dieser Methode sollten VOC's (volatile organic compounds) identifiziert werden, welche von den Stämmen aus unterschiedlichen Alterungsstadien emittiert werden und die bei *T. formicarius* eine olfaktorische Reaktion bewirken.

Der Versuchsaufbau, mit welcher die Stammstücke analysiert wurden, ist in Anlehnung an Weiss (2009) entstanden. Bei dieser Methode wird eine von der Umgebungsluft abgedichtete Kammer um den Stammmantel gelegt, innerhalb derer die vom Stamm

emittierten VOCs abgesaugt werden (Abbildung 14). Die vom Stammabschnitt in die Kammer abgegebenen Volatile werden durch einen Kohlenstofffilter (CLSA-Röhrchen: Gränicher & Quartero, Daumazan, Frankreich) von einer Pumpe (FürGut Vakuumpumpe DC06/21FK) abgesaugt. Das CLSA-Röhrchen sammelt dabei über den Beprobungszeitraum (April-Absorption: 1,5 Stunden, August-Absorption: 3,0 Stunden) die von der Rinde emittierten VOCs, welche später mittels GC-MS/EAD analysiert werden können. Nach Weiss (2009) handelt es sich bei der Stammkammer um ein offenes System, da dem System kontinuierlich über eine Eintrittsöffnung Luft (synthetische Luft bzw. Freilandluft) zugeführt wird, welche über die zweite Öffnung mittels Pumpe abgesaugt wird.

Die Stammstücke wurden von einem PET-Bratschlauch (Ø 30 cm; Firma Kalle GmbH, ©Nalophan NA) ummantelt, welcher mittels Heißluftpistole und Spanngurten am Stammstück befestigt wurde. Vor der Verwendung des Bratschlauches wurde dieser zum Ausdampfen bei 60 °C eine Stunde im Trockenschrank behandelt. Weiterhin erfolgte für jede Probenahme eine Reinigung der Teflon-Flansches sowie der PET-Schläuche mit unvergältem Ethanol und eine anschließende Trocknung bei 80 °C im Trockenschrank.

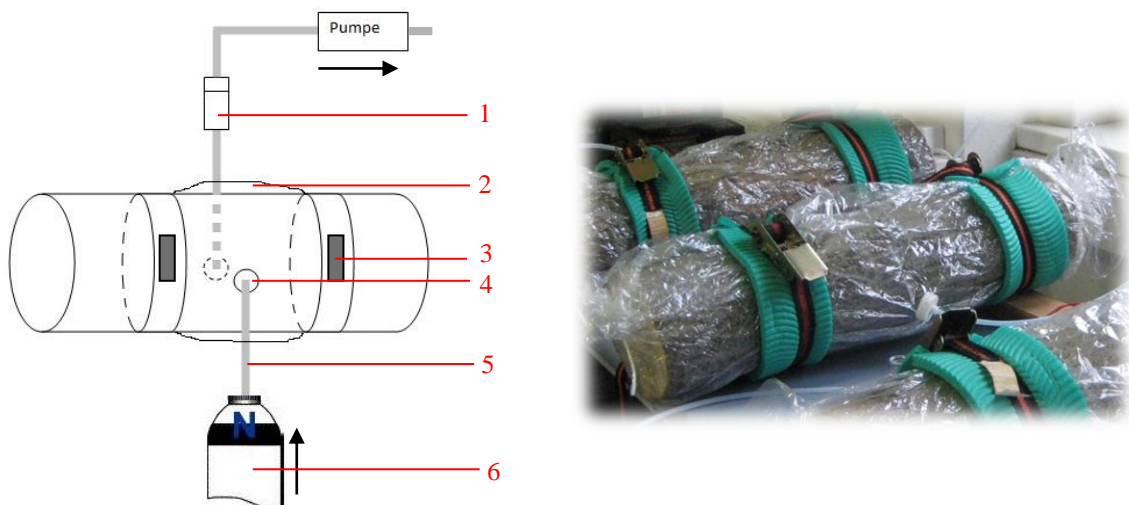


Abbildung 14: (links) Schematischer Aufbau der Versuchsanordnung (1 – CLSA-Röhrchen, 2 – durch Bratschlauch gebildete Beprobungskammer, 3 – Spanngurt mit darunter befindlichem Isoliermaterial, 4 – Teflon-Flansch, 5 – PET-Schlauch, 6 – synthetische Luft bzw. Freilandluft (rechts) Bildhafte Darstellung der Absorptionskammer

Vor dem Anlegen des Bratschlauches an die Stammabschnitte wurden mit einem 13 mm Stanzeisen zwei gegenüberliegende Löcher in den Bratschlauch gestanzt. Jedes der Löcher wurde mit einem Teflon-Flansch versehen, welcher der Aufnahme der PET-Schläuche (Innen-Ø 6,0 mm) für Zu- bzw. Abluft diente. Anschließend wurde der Bratschlauch über das zu erprobende Stammstück gezogen. Ziel war es, eine 40 cm lange und luftdichte

Kammer um die Stammantelfläche zu erzeugen. Dies wurde durch die Anbringung zweier Spanngurte in einem 40 cm Abstand erreicht. Unter den Spanngurten wurde zusätzlich ein 10 cm breiter Streifen Isoliermaterial platziert, welcher sich durch den Druck des Spanngurtes den Rindenunebenheiten anpassen und die Abdichtung der Kammer verbessern sollte. Die über das Stammstück reichenden Enden des Bratschlauches wurden mit Strick verschnürt.

Insgesamt wurden zwei Beprobungstermine (April und August 2010) angesetzt. Die Probestämme wurden von den Flächen der Einschlagterminversuche (vgl. Kapitel 4) entnommen. Die Gewinnung der Probestämme erfolgte am 20. April 2010 und am 27. Juli 2010. Eine Auflistung der beprobten Stämme sowie das Datum der Probenahme sind in Tabelle 6 ersichtlich.

Tabelle 6: Auflistung der verwendeten Stammproben

Absorption April 2010				Absorption August 2010			
Stammnummer	Durchmesser d [cm]	Probedatum	Lagerdauer [Monate]	Stammnummer	Durchmesser d [cm]	Probedatum	Lagerdauer [Monate]
Es I/1	14,8	21.04.2010	4	Es I/1	14,6	04.08.2010	7,5
Es I/2	15,3	21.04.2010	4	Es I/2	15,2	04.08.2010	7,5
Es I/3	16,8	21.04.2010	4	Es II/1	14,3	04.08.2010	4,5
Es II/1	14,7	22.04.2010	1	Es II/2	15,8	05.08.2010	4,5
Es II/2	17,9	22.04.2010	1	Es III/1	15,1	05.08.2010	1,5
Es II/3	14,5	22.04.2010	1	Es III/2	12,9	05.08.2010	1,5
Bu I/1	15,2	22.04.2010	4	Ei I/1	16,0	09.08.2010	7,5
Bu I/2	15,0	22.04.2010	4	Ei I/2	18,1	09.08.2010	7,5
Bu I/3	15,5	22.04.2010	4	Ei II/1	14,7	09.08.2010	4,5
Bu II/1	17,5	23.04.2010	1	Ei II/2	15,7	10.08.2010	4,5
Bu II/2	12,1	23.04.2010	1	Ei III/1	15,4	10.08.2010	1,5
Bu II/3	13,2	23.04.2010	1	Ei III/2	14,0	10.08.2010	1,5
Ei I/1	13,6	23.04.2010	4	Bu I/1	11,9	11.08.2010	7,5
Ei I/2	16,7	23.04.2010	4	Bu I/2	13,6	11.08.2010	7,5
Ei I/3	17,3	23.04.2010	4	Bu II/1	16,4	11.08.2010	4,5
Ei II/1	17,3	23.04.2010	1	Bu II/2	13,8	12.08.2010	4,5
Ei II/2	17,8	23.04.2010	1	Bu III/1	14,7	12.08.2010	1,5
Ei II/3	13,2	23.04.2010	1	Bu III/2	12,3	12.08.2010	1,5
Leerprobe	-	23.04.2010	0	Leerprobe	-	02.06.2010	0

Für den Beprobungstermin im April 2010 konnten Stämme aus dem Dezember- und dem Märzeinschlag untersucht werden. Für den Beprobungstermin im Juli 2010 standen zusätzlich Stammabschnitte aus dem Junieinschlag zur Verfügung. Zu dem Beprobungstermin im April wurden pro Einschlagtermin drei Stammabschnitte von jeweils 70 cm Länge von den unterschiedlichen Baumarten gewonnen und ins Labor transportiert (Tabelle 6 links). Bei dem Beprobungstermin im August waren es zwei Stammabschnitte pro Einschlagtermin und Baumart (Tabelle 6 rechts). Die Abschnitte wurden für den

Transport in handelsübliche Alufolie verpackt, um auf dem Transportweg ins Labor Kontaminationen mit weiteren Substanzen zu vermeiden. Die Stämme wurden bis zur Probenahme kühl gelagert. Für die Probenahme im April konnte ein Labor der Pflanzen- und Holzchemie in Tharandt genutzt werden – dabei wurde die Absorption mit synthetischer Luft (Praxair GmbH: 79-80 % Stickstoff, 20-21 % Sauerstoff; KW-frei) durchgeführt. Die Probenahme im August wurde, organisatorisch bedingt, im entomologischen Forstschutzlabor in Tharandt durchgeführt – für diese Absorption wurde Freilandluft (Außenluft) verwendet. Dies war auch die Ursache für den leicht modifizierten Versuchsaufbau bei beiden Probenahmen. Folglich wurden die Ansaugschläuche des Systems bei der August-Beprobung aus dem Laborfenster gehangen, um das Ansaugen von Freilandluft zu erzeugen. Weiterhin sollte damit die Absorption der Laborluft unterbunden werden.

5.1.3 ABSORPTION DER KÄFERBÜRTIGEN SUBSTANZEN (SPME)

Eine vor allem im Versuchsjahr 2011 angewandte Methode zur Beprobung von Stammteilen, welche mit bast- und holzbesiedelnden Insekten besiedelt waren, war die SPME-Methode.

Absorption im Mai 2011

Analyse von Bohrmehlproben

Durch die GC-MS/EAD-Analyse des von *L. varius* und *T. domesticum* produzierten Bohrmehls sollten olfaktorisch attraktive Substanzen für deren potentiellen Prädator *T. formicarius* erschlossen werden. Das Bohrmehl beider Beutearten wurde bei deren natürlichen Besiedlung ihrer Wirtsbäume gewonnen. Dazu wurde das frisch produzierte Bohrmehl mit einem Pinsel auf eine Petrischale gekehrt und anschließend in Rotalibo®-Gewindefläschchen (4 ml) gefüllt. Bis zur SPME-Absorption wurden die Gewindefläschchen im Tiefkühlschrank bei -40°C gelagert. Zwei Stunden vor der Absorption wurden die geschlossenen Gewindefläschchen bei Raumtemperatur gelagert. Für die Absorption erfolgte ein Verschluss der Gläschen mit Alufolie, durch welche die SPME-Faser in das Probevolumen eingeführt wurde. Die Absorption mit SPME-Fasern aus CarboxenTM/Polydimethylsiloxan (PDMS) StableFlexTM (85 µm) der Firma Supelco (USA) erfolgte über 1,5 Stunden.

Analyse von Eschenholz mit Besiedlung durch L. varius

Es wurden Eschenhölzer künstlich mit *L. varius* besiedelt und mittels SPME-Absorption beprobt. Dazu wurden SPME-Fasern aus CarboxenTM/Polydimethylsiloxan (PDMS) StableFlexTM (85 µm) der Firma Supelco (USA) verwendet. Die zu besiedelnden Hölzer wurden am 17.05.2011 in Zwenkau gewonnen und in 12 cm lange Stücke (Durchmesser 6-8 cm) gesägt. Am 17.05.2011 wurden an jeweils zwei Eschenholzstücken getrennt-geschlechtlich 20 Männchen und 20 Weibchen von *L. varius* zur Besiedlung angesetzt. Um den Käfern das Einbohren in das Holz zu erleichtern wurden pro Eschenholzstück 20 Löcher in den Splint mit einem Holzbohrer (Ø 6 mm) vorgebohrt. Von den 20 männlichen Eschbastkäfern schafften es im Mittel 8,5 Käfer sich einzubohren (Bohrmehl sichtbar), von den weiblichen Käfern waren es 7,5. Nach dem Ansetzen der Käfer wurde 48 Stunden bis zur Probenahme gewartet. Als Nullvariante des Versuches wurde ein unbesiedeltes Eschenholzstück verwendet. Zur Probenahme wurden die Hölzer einzeln in Bechergläsern aufbewahrt und mit Alufolie luftdicht verschlossen. Anschließend wurde die SPME-Faser durch die Alufolie gestochen und das sich im Becherglas befindliche Volatilgemisch über 15 Stunden von der Faser absorbiert.

Absorption im Juli 2011*Analyse von Eschenholz mit Besiedlung durch L. varius*

Der Versuch vom Mai 2011 wurde im Juli 2011 in etwas abgewandelter Art und Weise wiederholt. Für diese Absorption wurden SPME-Fasern aus CarboxenTM/Polydimethylsiloxan (PDMS) StableFlexTM (85 µm) der Firma Supelco (USA) verwendet. Für den Versuch wurden in sechs Eschenhölzer von jeweils 12 cm Länge und einem Durchmesser zwischen 6 und 8 cm mit einem Holzbohrer (Ø 6 mm) jeweils 20 Löcher in den Splint gebohrt. Zwei dieser Eschenhölzer wurden anschließend mit jeweils 20 männlichen *L. varius* besiedelt. Weitere zwei Eschenhölzer wurden mit jeweils 20 weiblichen *L. varius* besiedelt. Die übrigen zwei bebohrten Eschenhölzer wurden als Nullvariante, d. h. Eschenholz mit mechanischer Verletzung, verwendet. Nach dem Ansetzen der Käfer wurden 4 Tage bis zur Probenahme gewartet. Die Probenahme erfolgte analog zum Versuch vom Mai 2011. Die Zeit der Probenahme wurde um eine Stunde, auf 16 Stunden erweitert.

Analyse von natürlich besiedelten Laubhölzern

Es wurden Eichen- bzw. Rot-Buchen-Hölzer mittels SPME-Absorption beprobt, die von *S. intricatus*, *X. germanus* bzw. *T. bicolor* befallen waren. Dazu wurden die natürlich besiedelten Hölzer am 08.07.2011 von den Versuchsflächen der Eiche (Wermsdorf) und der Rot-Buche (vgl. Kapitel 3.1 und 3.3) gewonnen und bis zur Probenahme bei Zimmertemperatur gelagert. Als Nullvarianten wurden unbesiedelte Stammteile von den Probebäumen gewonnen. Zur Probenahme wurden die ca. 12 cm langen Holstücke in einem Becherglas aus Glas platziert und mit Alufolie luftdicht verschlossen. Die SPME-Absorption erfolgte mit SPME-Fasern aus CarboxenTM/Polydimethylsiloxan (PDMS) StableFlexTM (85 µm) der Firma Supelco (USA). Tabelle 7 gibt einen Überblick über die Zahl der Einbohrlöcher pro Holzstück und den Beprobungstermin.

Tabelle 7: Überblick über die mittels SPME-Absorption beprobten Holzstücke

Nr. Holzart	Besiedelt mit	Einbohrlöcher/Holzstück	Beprobungstermin	Absorptionszeit [h]
1 Eiche	<i>Scolytus intricatus</i>	5	11.07.2011	16
2 Eiche	<i>Scolytus intricatus</i>	4	11.07.2011	16
3 Eiche	<i>Scolytus intricatus</i>	6	11.07.2011	16
4 Rot-Buche	<i>Xylosandrus germanus</i>	12	13.07.2011	15
5 Rot-Buche	<i>Xylosandrus germanus</i>	14	13.07.2011	15
6 Rot-Buche	<i>Xylosandrus germanus</i>	5	13.07.2011	15
7 Rot-Buche	<i>Taphrorychus bicolor</i>	3	13.07.2011	15
8 Rot-Buche	<i>Taphrorychus bicolor</i>	5	14.07.2011	15
9 Rot-Buche	<i>Taphrorychus bicolor</i>	9	14.07.2011	15
10 Rot-Buche	<i>Taphrorychus bicolor</i>	5	14.07.2011	15

5.1.4 ABSORPTION DER KÄFERBÜRTIGEN SUBSTANZEN (CLSA)

Zur Absorption der von *L. varius* in unterschiedlichen Besiedlungsstadien produzierten Pheromonbestandteile wurde eine ähnliche Methode wie in Kapitel 5.1.2 verwendet. Jedoch wurde hier der Bratschlauch nicht um das von den Käfern besiedelte Stammstück, sondern um einen Glas-Zylinder befestigt (Ø 10,5 cm, Länge 20,0 cm), in welchen das besiedelte Stammstück gelegt wurde (Abbildung 15 rechts unten). Die Abdichtung des Bratschlauches, welcher die Zylinderenden verschloss, erfolgte mit einem elastischen Gummiband. Vor dem Aufbau der Apparatur erfolgte eine Reinigung der Materialien. Der Bratschlauch wurde bei 60 °C im Trockenschrank ausgedampft, alle PET-Materialien wurden mit unvergälltem Alkohol gereinigt und anschließend bei 80 °C im Trockenschrank getrocknet. Eine Auflistung der einzelnen Proben sowie deren Besiedlungsstatus ist in Abbildung 15 (links) zu finden. Folglich wurden drei Eschenhölzer mit Eschenbastkäfern besetzt und die Luft in der durch den Glas-Zylinder gebildeten

Kammer zu unterschiedlichen Zeitpunkten jeweils 3 Stunden lang abgesaugt. Analog zu Kapitel 5.1.2 erfolgte auch hier die Absorption der volatilen Substanzen von einem Aktivkohlefilter (CLSA-Röhrchen). Da die Käfer anfänglich Probleme beim Einbohren hatten, wurden die Stammstücke mit einem mechanischen Handbohrer vorbereitet und kleine 0,5 cm tiefe Löcher in die Rinde gebohrt, welche den Käfern das Einbohren erleichterten. Nach dem Einbohren der weiblichen Käfer wurden männliche Eschenbastkäfer angesetzt und zu einem späteren Zeitpunkt noch Ameisenbuntkäfer.

Probe	Besiedlungsstatus	Datum
Null 1	Testlauf/Leerlauf System	02.06. 2010
Null 2		
Null 3		
Holz 1	Durchlauf nur mit Holz	03.06. 2010
Holz 2	Holz1: $\varnothing = 7,8$ cm; l = 16,2 cm	
Holz 3	Holz2: $\varnothing = 7,9$ cm; l = 15,2 cm Holz3: $\varnothing = 7,9$ cm; l = 15,8 cm	
K 1/1	frisch angesetzte weibliche Käfer (70 pro Probe)	03.06. 2010
K 1/2		
K 1/3		
K 2/1	weibliche Käfer beim Einbohren	04.06. 2010
K 2/2		
K 2/3		
K 3/1	weibliche Käfer eingebohrt, Bohrmehl sichtbar	07.06. 2010
K 3/2		
K 3/3		
K 4/1	Zugabe von 25 männlichen Käfern pro Probe (1 h vor Beprobung)	08.06. 2010
K 4/2		
K 4/3		
K 5/1	Beprobung mit männlichen Käfern nach 24 h	09.06. 2010
K 5/2		
K 5/3		
K 6/1	pro Stamm fünf Ameisenbuntkäfer angesetzt (1 h vor Beprobung)	10.06. 2010
K 6/2		
K 6/3		



Abbildung 15: (links) Übersicht der Proben (rechts oben) Überblick über die vollständige Versuchsanlage (rechts unten) Ansicht einer einzelnen Beprobungskammer

5.1.5 BEHANDLUNG DER CLSA-RÖHRCHEN NACH PROBENAHEME

Nach Beendigung der Absorption (Kapitel 5.1.2 und 5.1.4) erfolgte eine zeitnahe Ausspülung der CLSA-Röhrchen. Dennoch wurden die CLSA-Röhrchen zunächst in Alufolie gewickelt, um Verunreinigungen zu vermeiden. Im Inneren eines CLSA-Röhrchens werden die flüchtigen Substanzen an der Oberfläche eines Aktivkohlefilters gebunden. Zum Lösen der absorbierten Substanzen wurde ein 2:1 Gemisch von Dichlormethan und Methanol verwendet. Das Methanol löst hierbei die unpolaren Substanzen von der Oberfläche des Aktivkohlefilters, das Dichlormethan die polaren Substanzen. Zum Durchspülen wurde eine Mikropipettierhilfe mit Einmalkapillarpipetten

verwendet. Mit Ausnahme der Proben der August-Absorption (baumbürtigen Substanzen) wurde jedes CLSA-Röhrchen mit 100 µl des Gemischs gespült. Dazu wurden pro Röhrchen zwei 50 µl Einmalkapillarpipetten verwendet. Zur Steigerung der Konzentration an gelösten Stoffen wurden die Proben der August-Absorption nur mit 50 µl Dichlormethan-Methanol-Gemisch gespült. Die vom Aktivkohlefilter absorbierten Volatile lagen nun gelöst im Dichlormethan-Methanol-Gemisch vor, welches beim Durchspülen der CLSA-Röhrchen von einem Flaschengläschen (Flasche G1s klar, CS-Chromatographie Service GmbH) aufgefangen wurde. Die Gläschen wurden bis zur Analyse ihrer Inhaltsstoffe im Tiefkühlschrank bei -40 °C aufbewahrt.

5.1.6 IDENTIFIZIERUNG DER ABSORBIERTEN VOLATILE (GC-MS/EAD)

Die gaschromatographischen Untersuchungen der Proben sowie die zeitgleiche Analyse einer Antennenreaktion von *T. formicarius* wurden am Büsingen-Institut-Göttingen, Abteilung Forstzoologie und Waldschutz, durchgeführt. Damit konnten die gaschromatographischen Messungen zeitgleich mit sinnesphysiologischen Tests verbunden werden. Es lässt sich daraus zwar nicht ableiten, ob die identifizierte Substanz eine positive oder negative Reaktion bei *T. formicarius* bewirkt, jedoch ob sie von diesem wahrgenommen werden kann. Entsprechend kann nur aus der Wahrnehmung eine verhaltensmodifizierende Reaktion folgen.

Das verwendete Analysesystem (Abbildung 16) war ein GC-MS System der Firma Agilent (Palo Alto, USA) und bestand aus einem 6890N Gaschromatographen, welcher mit einem 5973N Quadrupol-Massenspektrometer und einem EAD gekoppelt war (Weissbecker et al. 2004).

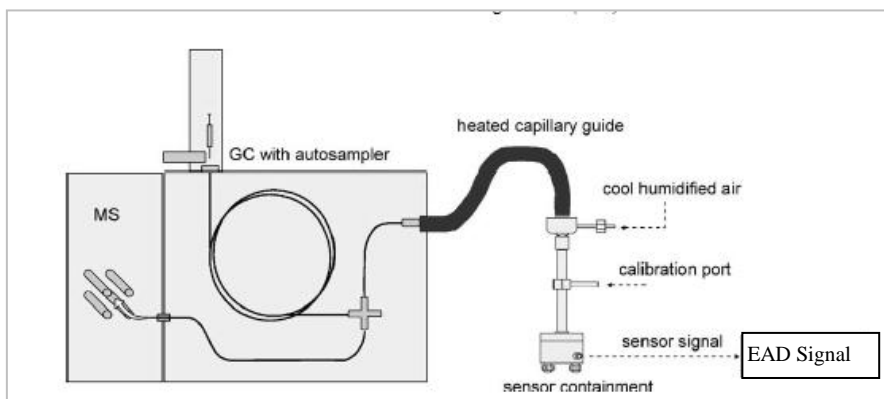


Abbildung 16: Schematischer Aufbau des verwendeten GC-MS-EAD nach Weissbecker et al. (2004)

Der Abfluss von der GC-Säule wird in zwei gleichgroße Teile getrennt. Eine Kapillare führt zum Massenspektrometer, die andere zu einem elektroantennographischen Detektor (EAD). Die verwendete Säule war eine polare INNOWAX Säule der Firma Agilent (30 m Länge, 0,25 mm Durchmesser, 0,25 µm Filmdicke, Temperaturbereich 40°C bis 250°C). Bei den Analysen wurde ein Temperaturprogramm (PSL3.M) mit einer Starttemperatur von 50°C für 1,5 Minuten, einer darauf folgenden Temperatursteigerung von 7,5°C/Minute bis 250°C und einem Halten der Endtemperatur über 5 Minuten gewählt. Die Analysedauer pro Probe betrug damit 33,17 Minuten. Die Auswertung der gewonnenen Daten erfolgte mit der Software MS ChemStation (Agilent). Zur Peak-Identifikation wurde die Datenbank des Institute of Standards and Technology (NIST, Gaithersburg, USA) sowie die MassFinder 2.1 Software benutzt. Bei einzelnen Substanzen wurde darüber hinaus ein Abgleich mit einer Standardsubstanz durchgeführt.

Die Antennen von *T. formicarius* wurden in einen Antennenhalter, wie in Abbildung 17 ersichtlich, eingespannt. Vor dem Abschneiden der Antennen von den lebenden Käfern wurden diese für fünf Minuten in ein Gefrierfach mit -10 °C gegeben. Dies stellte die sehr agilen Käfer ruhig und ermöglichte das sichere Abtrennen der Antenne.

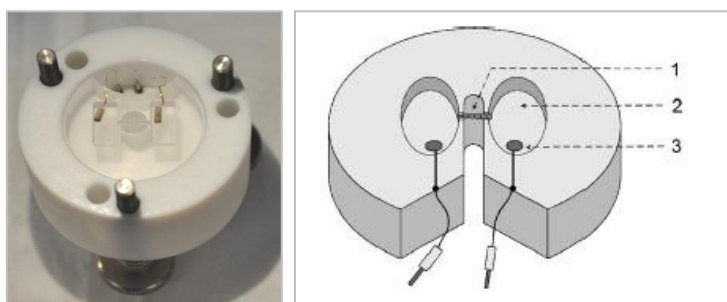


Abbildung 17: (links) Antennenhalter (rechts) Schematische Darstellung des Antennenhalters nach Weissbecker et al. (2004). Die Antenne (1) wird hier über einen zentralen Spalt gelegt während die Enden der Antenne Kontakt mit der Elektrolytenflüssigkeit der Elektrolyten-Flüssigkeits-Reservoirs (2) haben. Die Ag/AgCl Elektroden (3) waren mit Mikrostöpseln über Silberdraht verbunden (Weissbecker et al. 2004).

Die abgetrennte Antenne wurde nun entsprechend der Abbildung 17 (rechts) mit der Fühlerkeule nach rechts eingelegt, um auf dem Elektroantennogramm später einen Ausschlag nach unten zu erzeugen. Beim Einlegen der Antenne in den Antennenhalter wurde darauf geachtet, dass die Enden der Antenne mit Elektrolytenflüssigkeit (Ringer-Lösung) bedeckt waren. Die Ringer-Lösung dient der Herstellung eines Kontaktes zwischen den Antennenenden und den Ag/AgCl-Elektroden und verhindert zusätzlich eine Austrocknung der Antenne (Gabriel 2004). Die übrige Oberfläche der Antenne (vor allem im Bereich des zentralen Spaltes des Antennenhalters) konnte, nach dem Befestigen des Antennenhalters in der dafür vorgesehenen Halterung, vom Luftstrom des EAD Interfaces

erfasst werden (Weissbecker et al. 2004). Das Elektroantennogramm registriert die Summe aller Potentialänderungen verursacht durch die von Reizen ausgelöste Spannungsänderungen zwischen Antennenbasis und Antennenspitze.

5.2 ERGEBNISSE

5.2.1 VERSUCHSREIHEN 2010

Im Versuchsjahr 2010 waren die CLSA-Proben nach der GC-MS/EAD-Analyse teilweise durch sehr starkes Rauschen charakterisiert, was vermutlich auf Verunreinigungen bei der Probenahme zurückzuführen war. Entsprechend waren in den Chromatogrammen Substanzen in hohen Konzentrationen zu finden, welche vermutlich nicht aus der Probe stammten und die eigentlich enthaltenen Substanzen überlagerten. Substanzen, welche sich entsprechend den Nullproben herausfiltern ließen, wurden dennoch berücksichtigt und in den Tabellen 8 bis 14 dargestellt. Durch die Überlagerungen konnten jedoch teilweise nicht alle in der Probe enthaltenen Substanzen identifiziert werden. Folglich kann keine Vollständigkeit der in den Proben enthaltenen und in den Tabellen dargestellten Volatilzusammensetzung gewährleistet werden. Das eigentliche Ziel der Analysen, Veränderungen von Volatilzusammensetzungen aus unterschiedlichen Alterungsstadien der eingeschlagenen Stämme zu identifizieren, konnte daher nur bedingt erfolgen. Das Ziel, Substanzen mit olfaktorischer Bedeutung für *T. formicarius* zu finden, konnte aufgrund der aufgezeichneten EAD-Antworten der *Thanasimus*-Antenne dennoch verfolgt werden.

5.2.1.1 ANALYSE DER BAUMBÜRTIGEN SUBSTANZEN

Wie in Tabelle 8 und Tabelle 9 ersichtlich wird, konnten von Eschenstammstücken Semiochemikalien identifiziert werden, welche eine Antennenreaktion bei *T. formicarius* induzierten. Die Zusammensetzung der Proben unterschied sich an beiden Beprobungszeitpunkten deutlich. Im April zeigte *T. formicarius* die häufigsten Ausschläge auf Hexanal, 3-Penten-2-ol und 3-methyl-2-Pentanol. Substanzen welche vor allem von frisch geschlagenem Eschenholz nachgewiesen werden konnten (Tabelle 8). Die stärksten Ausschläge der *Thanasimus*-Antenne wurden auf das 3-methyl-2-Pentanol, das Pentadecan und das 2-Octanol erfasst.

Die Zahl der Ausschläge auf Semiochemikalien in den vom August 2010 analysierten Proben war deutlich geringer. Zudem konnte kein wiederholter Ausschlag auf Semiochemikalien mit erstmaliger Antennenreaktion beobachtet werden (Tabelle 9). Die stärksten Antennenreaktionen wurden von den Substanzen 3,3,5-trimethyl-Cylcohexanon,

5-(1-methylethylidene)-1,8-Cyclopentadien, 1-methyldecyl-Benzen und 1-butylnonyl-Benzen ausgelöst.

Tabelle 8: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eschenstammstücken im April 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _i	CAS-Nr.	Qualität	Esche I			Esche II			EAD		Standard
					A %	SD +/-	n	A %	SD +/-	n	n	ø [mV]	
3,7-dimethyl-Decan	Alkan	6,23	17312-54-8	87	0,31	0,00	1	1,24	0,77	4	1	6	nein
2,6,6-trimethyl-Octan	Alkan	6,14	54166-32-4	72	n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	3	0	-	nein
3,3-dimethyl-Hexan	Alkan	6,21	563-16-6	64			0	n.b.	0,00	1	1	6	nein
Hexanal	Aldehyd	6,24	66-25-1	78			0	5,23	8,87	5	3	8	nein
beta-Myrcen	Terpen	6,61	123-35-3	55			0	n.b.	0,00	2	2	6	nein
p-Xylene	Aromatic	7,16	106-42-3	87			0	1,27	0,00	1	1	6	nein
3-Penten-2-ol	Alkohol	7,63	1569-50-2	86	0,97	0,00	1	2,59	1,47	11	3	10	ja (+)
2-methyl-3-Butyn-2-ol	Alkohol	8,18	115-19-5	83			0	1,27	0,00	4	0	-	nein
2,7-dimethyl-2,6-Octadien-1-ol	Alkohol	8,11	22410-74-8	64			0	2,43	0,00	2	0	-	nein
2-Octanol	Alkohol	10,00	123-96-6	47			0	n.b.	0,00	1	1	20	nein
3-methyl-2-Pentanol	Alkohol	10,04	565-60-6	50			0	0,4	0,00	5	4	31	nein
Tridecan	Alkan	11,02	629-50-5	91	n.b.	0,00	1	1,27	0,00	1	1	6	nein
Hexadecan	Alkan	11,25	544-76-3	98	11,56	0,00	1	4,39	0,00	3	0	-	nein
2,6,10,14-tetramethyl-Hexadecan	Alkan	11,92	638-36-8	91	0,75	0,00	1	2,73	0,58	4	0	-	nein
Nonanal	Aldehyd	12,31	124-19-6	49			0	1,76	0,00	1	1	6	nein
Tetradecan	Alkan	12,59	629-59-4	96			0	5,3	4,57	8	0	-	nein
2,6,10,14-tetramethyl-Heptadecan	Alkan	13,29	18344-37-1	91			0	8,19	0,00	3	0	-	nein
Pentadecan	Alkan	14,28	629-62-9	97	10,09	0,00	1	10,97	7,99	7	1	26	nein
alpha-Zingiberen	Terpen	14,54	495-60-3	83			0	n.b.	0,00	1	0	-	nein
alpha-Bergamoten	Terpen	15,30	17699-05-7	90			0	8,29	7,89	4	0	-	nein
Benzen, (1-ethylnonyl)	Aromat	21,11	4536-87-2	74			0	n.b.	0,00	1	0	-	nein
Benzen, (1-ethyldecyl)	Aromat	22,46	4534-52-5	93			0	n.b.	0,00	1	1	8	nein

Tabelle 9: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eschenstammstücken im August 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _i	CAS-Nr.	Qualität	Esche I			Esche II			Esche III			EAD		Standard
					A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	n	ø [mV]	
2,4-dimethyl-3-Hexanon	Keton	6,35	18641-70-8	43	n.b.	0,00	2	n.b.	0,00	2	0,21	0,00	1	0	-	nein
5-(1-methylethylidene)-1,8-Cyclopentadien	Alken	6,85	2175-91-9	72				n.b.	0,00	1				1	12	nein
alpha-Phellandren	Alken	7,33	99-83-2	59				n.b.	0,00	2				0	-	nein
3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	Keton	12,56	873-94-9	95				2,68	0,00	2	n.b.	0,00	1	1	18	ja (+)
trans-4-Thujanol	Alkohol	13,24	17699-16-0	64	n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	1				1	8	nein
1-methyl-2-Cyclohexen-1-ol	Alkohol	14,76	29803-82-5	96				n.b.	0,00	2				0	-	nein
1-methyl-2-Pyrolidinon	Keton	16,28	872-50-4	58				n.b.	0,00	3				0	-	nein
3,3,7,7-tetramethyl-Tricyclo(4.1.0.0(2,4))heptan	Alkan	16,99	56348-21-1	50	n.b.	0,00	3							0	-	nein
Benzen, (1-butylheptyl)	Aromat	18,90	4537-15-9	95	1,14	0,63	3	0,70	0,41	4				0	-	nein
Benzen, (1-propyloctyl)	Aromat	19,13	4536-86-1	97	1,03	0,32	4	0,69	0,06	3				0	-	nein
Benzen (1-ethylnonyl)	Aromat	19,54	4536-87-2	95	1,34	0,59	4	1,08	0,04	2				0	-	nein
Benzen (1-pentylheptyl)	Aromat	20,24	2719-62-2	97	1,20	0,29	4	1,59	0,96	4	n.b.	0,00	2	0	-	nein
Benzen (1-butylloctyl)	Aromat	20,37	2719-63-3	94	2,09	0,21	4	1,64	0,55	3				0	-	nein
Benzen (1-methyldecyl)	Aromat	20,57	4536-88-3	72	2,18	0,14	4	0,56	0,00	1				1	16	nein
Benzen (1-propylnonyl)	Aromat	20,73	2719-64-4	97	2,27	0,87	4	1,54	0,74	3	n.b.	0,00	2	0	-	nein
Benzen (1-ethyldecyl)	Aromat	21,02	2400-00-2	97	2,78	0,92	4	2,00	0,25	4				0	-	nein
Benzen (1-pentylloctyl)	Aromat	21,61	4534-49-0	95	2,90	0,54	4	3,22	0,70	3	2,50	0,06	2	0	-	nein
Benzen (1-butylnonyl)	Aromat	21,97	4534-50-3	97	2,77	0,45	4	2,86	0,49	4	4,34	0,55	3	1	10	nein
Benzen (1-methylundecyl)	Aromat	21,95	2719-61-1	91	2,38	1,51	3	1,57	1,26	4	n.b.	0,00	1	0	-	nein
Benzen (1-propyldecyl)	Aromat	22,05	4534-51-4	91	3,95	0,53	3	3,24	0,60	3				0	-	nein
Benzen (1-ethylundecyl)	Aromat	22,47	4534-52-5	97	4,16	1,14	1	4,06	0,47	3	3,94	0,24	1	1	6	nein
Benzen, 1-(1,1-dimethylethyl)-4-ethenyl	Aromat	22,88	1746-23-2	78	n.b.	0,00	1	1,18	0,00	2				0	-	nein
1-Heptyl-1,2,3,4-tetrahydro-4-methylnaphthalen	Alken	24,14	55682-84-3	95	1,05	0,20	3	1,31	0,46	2	n.b.	0,00	1	0	-	nein
Benzen (1-methylododecyl)	Aromat	23,24	4534-53-6	90	4,59	2,35	4	2,22	0,66	4				0	-	nein
1,4-diethyl-Tetralin	Alkin	23,57	81356-57-2	46	1,48	1,23	3	1,70	1,10	3	n.b.	0,00	1	0	-	nein

Auch von den beprobten Eichenstammstücken wurden Semiochemikalien erfasst, welche eine Antennenreaktion bei *T. formicarius* induzierten (Tabelle 10 und Tabelle 11). Die erfassten Volatilmuster der Eichenstämmen waren dabei, vergleichbar mit denen der

Eschenstammstücke, grundverschieden zwischen beiden Beprobungszeitpunkten. Die häufigsten Antennenantworten der *Thanasimus*-Antenne auf die Proben vom April 2010 wurden auf das beta-Pinen registriert, welches den höchsten Anteil an der Peakfläche bei den seit 4 Monaten eingeschlagenen Eichen einnahm. Darüber hinaus wurden einzelne Ausschläge auf Hexanal und (Z)-3-Hexen-1-ol-acetat erfasst (Tabelle 10).

Tabelle 10: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eichenstammstücken im April 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _t	CAS-Nr.	Qualität	Eiche I Alter 4 Monate (n=8)			Eiche II Alter 1 Monat (n=7)			EAD Antwort T. <i>formicarius</i>		Standard
					A %	SD +/-	n	A %	SD +/-	n	n	ø [mV]	
Hexanal	Aldehyd	6,24	66-25-1	72	1,24	1,24	7	3,42	0,00	3	1	7	nein
beta-Pinen	Terpen	6,49	127-91-3	94	9,99	3,62	6				3	6	nein
p-Xylen	Aromat	7,10	106-42-3	95	3,03	1,79	3				0	-	nein
(z)-4,4-dimethyl-2-Penten	Alken	7,85	4914-92-5	72	2,78	1,93	3				0	-	nein
2-methyl-3-Butyn-2-ol	Alkohol	8,13	115-19-5	56				n.b.	0,00	2	0	-	nein
1-ethyl-2-methyl-Benzen	Aromat	8,58	611-14-3	95	2,1	0,00	2				0	-	nein
1-methyl-3-(1-methylethyl)-Benzen	Aromat	9,47	527-84-4	91	0,92	0,00	2				0	-	nein
(E)-2-Penten-1-ol	Alkohol	9,89	1576-96-1	64	0,92	0,42	3				0	-	nein
(Z)-3-Hexen-1-ol-acetat	Ester	10,24	3681-71-8	53	n.b.	0,00	1				1	8	nein
2,3-Butandiol	Alkohol	10,58	513-85-9	64	n.b.	0,00	3				0	-	nein

Tabelle 11: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eichenstammstücken im August 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _t	CAS-Nr.	Qualität	Eiche I Alter 7,5 Monate (n=4)			Eiche II Alter 4,5 Monate (n=4)			Eiche III Alter 1,5 Monate (n=4)			EAD Antwort T. <i>formicarius</i>		Standard
					A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	n	ø [mV]	
2,2-dimethyl-Hexanal	Aldehyd	6,09	996-12-3	72	n.b.	0,00	1	0,47	0,28	2	n.b.	0,00	1	0	-	nein
2,4-dimethyl-3-Hexanon	Keton	6,37	18641-70-8	38				0,19	0,08	2				0	-	nein
beta-Myrcen	Terpen	7,17	123-35-3	91				0,12	0,03	2	0,45	0,03	3	0	-	nein
5-(1-methylethylidene)-1,3-Cyclopentadien	Alken	7,57	2175-91-9	87							0,12	0,00	2	0	-	nein
1,3-dimethyl-Benzen	Aromat	7,68	108-38-3	93	n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	1				1	5	nein
1-methyl-Bicyclo(4.1.0)heptan-2-on	Keton	8,87	14845-40-0	43				n.b.	0,00	1				1	35	nein
1,3,5-trimethyl-Benzen	Aromat	9,48	108-67-8	95	0,88	0,03	2	0,17	0,00	2	0,19	0,00	2	0	-	nein
1-methyl-3-propyl-Benzen	Aromat	9,85	1074-43-7	52	n.b.	0,00	2							1	9	nein
3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	Keton	12,44	873-94-9	95	2,91	3,42	2	1,34	0,89	2	2,52	0,00	1	2	8	ja (+)
alpha-Cubeben	Terpen	12,98	17699-14-8	94	2,44	0,26	3	2,23	2,13	2	n.b.	0,00	1	0	-	nein
(+)-beta-Cedren	Terpen	15,23	546-28-1	95							4,18	4,29	2	1	6	nein
gamma-Muurolen	Terpen	15,31	30021-74-0	93				4,20	0,66	2				0	-	nein
1-methoxy-4-methyl-2-(1-methylethyl)-Benzen	Aromat	15,58	31574-44-4	94	4,42	0,20	3							0	-	nein
2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-Benzen	Aromat	15,70	1076-56-8	91	3,91	0,00	2							0	-	nein
2-(1,1-dimethylethyl)-1,4-dimethoxy-Benzen	Aromat	15,84	21112-37-8	58	3,19	0,20	3							1	19	nein
alpha-Acoradien	Terpen	16,37	24048-44-0	76				5,84	0,00	1	3,96	0,87	2	0	-	nein
(1-Methylpenta-2,4-dienyl)benzen	Aromat	17,13	1000210-01-1	96	2,31	0,34	2	4,24	0,95	2	5,83	6,41	2	0	-	nein
beta-Himachalen	Terpen	17,68	1461-03-6	99				3,74	0,00	1	4,85	0,00	1	1	9	nein
delta-Cadinen	Terpen	17,97	483-76-1	99	7,92	3,36	3	n.b.	0,00	2				0	-	nein
(-)-alpha-Panasinsen	Terpen	18,06	56633-28-4	91				4,38	0,62	3	5,82	1,80	2	0	-	nein
(+)-Cuparen	Terpen	18,81	16982-00-6	99				8,84	1,39	2	1,74	0,00	1	1	6	nein
trans-1,10-Dimethyl-trans-9-decalinol	Alkohol	19,02	1000249-18-6	98				4,22	2,61	2	4,91	0,00	1	0	-	nein
Calamenen	Terpen	19,20	483-77-2	96	2,10	0,33	2							0	-	nein
Benzen, (1-butylheptyl)	Aromat	20,26	4537-15-9	97	n.b.	0,00	2	2,15	2,19	3	0,84	0,00	1	0	-	nein
Benzen (1-butylöctyl)	Aromat	20,41	2719-63-3	94	2,17	0,16	3	2,21	1,22	3				0	-	nein
Benzen (1-propylnonyl)	Aromat	20,77	2719-64-4	97	1,16	0,16	3	1,48	0,53	4	1,15	0,63	4	0	-	nein
Benzen (1-ethyldecyl)	Aromat	21,16	2400-00-2	96	0,37	0,06	4	2,85	2,39	3				0	-	nein
Benzen (1-pentylöctyl)	Aromat	21,81	4534-49-0	93	2,05	0,29	4	2,34	0,66	4	1,51	0,81	4	0	-	nein
Benzen (1-butylonyl)	Aromat	21,95	4534-50-3	97	2,88	0,21	3	2,27	1,06	4	1,16	0,31	2	1	20	nein
Benzen (1-propyldecyl)	Aromat	22,11	4534-51-4	95	2,38	0,04	3	3,16	1,90	4	2,57	1,75	4	3	16	nein
Benzen (1-ethylonyl)	Aromat	22,51	4536-87-2	95	0,99	0,00	2	1,00	0,51	3				0	-	nein
Benzen (1-ethylundecyl)	Aromat	22,65	4534-52-5	97	1,21	0,40	2	2,20	1,61	3	1,00	0,72	4	0	-	nein
Benzen (1-methyldodecyl)	Aromat	23,34	4534-53-6	90	0,88	0,02	3	2,18	1,12	3	1,32	0,60	4	1	5	nein
1,8-Dimethyl-4-(1-methylethyl)spiro[4.5]dec-7-en-9-ol	Keton	23,91	39510-36-6	93				2,09	1,43	3	6,15	2,83	4	0	-	nein
1-Heptyl-1,2,3,4-tetrahydro-4-methylnaphthalen	Alken	24,15	55682-84-3	96	0,97	0,03	3	0,82	0,04	4	3,00	0,77	3	0	-	nein
1-Butyl-4-pentyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen	Alken	24,52	29138-93-0	51	1,29	0,47	2	1,05	0,53	3	0,65	0,00	1	0	-	nein
1,4-diethyl-Tetralin	Alkin	25,19	81356-57-2	59	1,02	0,75	2	1,15	0,47	3	0,85	0,70	2	0	-	nein

Die häufigsten Antennenreaktionen von *T. formicarius* auf Eichen-Volatile der August Beprobungen wurden auf das 1-propyldecyl-Benzen und das 3,3,5-Trimethyl-Cyclohexanon beobachtet (Tabelle 11). Beide Substanzen waren bei der August-Beprobung unabhängig vom Einschlagszeitpunkt zu finden. Darüber hinaus wurden einzelne Antennenreaktion auf die Substanzen 1,3-dimethyl-Benzen, 1-methyl-Bicyclo-(4.1.0)-heptan-2-on, 1-methyl-3-propyl-Benzen, (+)-beta-Cedren, beta-Himachalen, (+)-Cuparen, 1-butylnonyl-Benzen und 1-methyldodecyl-Benzen beobachtet. Die stärkste Antennenreaktion wurde von dem Keton 1-methyl-Bicyclo-(4.1.0)-heptan-2-on induziert.

Auch die Volatilmuster der Beprobungen von Buchenstammstücken in April und August 2010 waren sehr unterschiedlich (Tabelle 12 und Tabelle 13). Die häufigste und stärkste Reaktion der *Thanasimus*-Antenne in der April-Beprobung wurde auf das 3-Penten-2-ol erfasst. Das 3-Penten-2-ol wurde in allen Proben, unabhängig vom Einschlagszeitpunkt der Buchen, identifiziert. Darüber hinaus wurden einzelne Antennenreaktionen auf 2-methyl-3-Butyn-2-ol, Tetradecen und beta-Myrcen aufgezeichnet (Tabelle 12) – Substanzen, welche überwiegend in den frisch eingeschlagenen Buchenstämmen zu finden waren.

Tabelle 12: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Buchenstammstücken im April 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _i	CAS-Nr.	Qualität	Buche I Alter 4 Monate (n=5)			Buche II Alter 1 Monat (n=9)			EAD Antwort <i>T.</i> <i>formicarius</i>		Standard
					A %	SD +/-	n	A %	SD +/-	n	n	ø [mV]	
2,6,10-trimethyl-Dodecan	Alkan	6,15	3891-98-3	72	0,75	0,00	5	n.b.	0,00	1	0	-	nein
3,7-dimethyl-Decan	Alkan	6,10	17312-54-8	90				1,96	1,14	4	0	-	nein
3,3-dimethyl-Hexan	Alkan	6,17	563-16-6	64				n.b.	0,00	3	0	-	nein
beta-Myrcen	Terpen	6,56	123-35-3	93				n.b.	0,00	2	1	8	nein
beta-Thujen	Terpen	6,75	28634-89-1	91				n.b.	0,00	4	0	-	nein
2-Octanol	Alkohol	7,02	123-96-6	72				n.b.	0,00	1	0	-	nein
3-Penten-2-ol	Alkohol	7,51	1569-50-2	83	2,00	2,66	5	3,24	2,13	9	3	22	ja (+)
2-methyl-3-Butyn-2-ol	Alkohol	8,17	115-19-5	90	n.b.	0,00	1	2,37	0,78	5	1	6	nein
Tetradecan	Alkan	12,67	629-59-4	97				2,92	0,94	5	1	9	nein
2,6,11,15-tetramethyl-Hexadecan	Alkan	11,71	638-36-8	91				n.b.	0,00	4	0	-	nein
Pentadecan	Alkan	13,87	629-62-9	96				1,04	0,00	4	0	-	nein
Hexadecan	Alkan	15,71	544-76-3	97				2,70	0,00	4	0	-	nein
Heptadecan	Alkan	17,14	629-78-7	98				n.b.	0,00	3	0	-	nein

Die häufigste und stärkste Antennenreaktion auf Volatile der August-Proben wurde auf 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon beobachtet, welches aus Buchenstämmen aller drei Einschlagszeitpunkte identifiziert werden konnte (Tabelle 13). Darüber hinaus wurden mehrfache Antennenreaktionen auf die Substanzen 1-ethylnonyl-Benzen und 1-butyloctyl-Benzen beobachtet. Alle weiteren Antennenreaktionen auf Volatile der Buchenstämmen von den August-Beprobungen sind in Tabelle 13 aufgeführt.

Tabelle 13: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Buchenstammstücken im August 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _t	CAS-Nr.	Qualität	Buche I Alter 7,5 Monate (n=4)			Buche II Alter 4,5 Monate (n=4)			Buche III Alter 1,5 Monate (n=4)			EAD Antwort T. formicarius s		
					A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	n	ϕ [mV]	Standard
2,2-dimethyl-Hexanal	Aldehyd	6,11	996-12-3	72	1,40	0,00	2	n.b.	0,00	2	n.b.	0,00	1	0	-	nein
2,4-dimethyl-3-Hexanon	Keton	6,25	18641-70-8	43	0,69	0,00	3	n.b.	0,00	3				0	-	nein
beta-Thujen	Terpen	6,56	28634-89-1	91	7,00	9,46	3				0,62	0,66	2	0	-	nein
beta-Myrcen	Terpen	7,17	123-35-3	47	n.b.	0,00	2							0	-	nein
1,3-dimethyl-Benzen	Aromat	7,70	108-38-3	91	0,14	0,04	2	0,08	0,00	1				0	-	nein
Eucalyptol	Terpen	8,27	470-82-6	98	4,32	6,59	4	n.b.	0,00	2				0	-	nein
beta-Terpinen	Terpen	6,59	99-84-3	91	n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	1				1	7	nein
methoxy-Benzen (Anisol)	Aromat	10,59	100-66-3	94							n.b.	0,00	1	1	6	ja (+)
3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	Ketone	12,14	873-94-9	87	0,82	0,52	2	2,99	2,51	2	1,19	0,46	2	2	54	ja (+)
(S)-3-Ethyl-4-methylpentanol	Alkohol	13,77	1000144-07-1	83							2,68	0,12	2	0	-	nein
alpha-Cubeben	Terpen	13,78	17699-14-8	96	4,03	2,23	2	2,19	0,90	4				1	24	nein
Decanal	Aldehyd	14,04	112-31-2	91							1,20	0,16	2	1	6	ja (+)
alpha-Bergamoten	Terpen	15,36	17699-05-7	94	2,19	0,23	2							0	-	nein
Isocaryophyllen	Terpen	15,69	118-65-0	98							1,63	0,43	2	0	-	nein
beta-Caryophyllen	Terpen	15,71	87-44-5	99	4,05	0,76	2				3,22	0,09	2	1	10	ja (+)
2-Undecanon	Ketone	15,81	112-12-9	64				0,65	0,11	2				1	15	ja (+)
Sabinaketon	Ketone	16,04	513-20-2	64							2,20	0,23	2	0	-	nein
β-Farnesen	Terpen	16,79	7129-48-7	95	n.b.	0,00	1				1,49	0,57	2	0	-	nein
Methyl-2-phenylpropionat	Ester	17,32	31508-44-8	87	1,31	0,22	2	0,35	0,07	2	0,28	0,00	1	0	-	nein
9-Acetylphenanthren	Terpen	17,54	2039-77-2	64							4,34	0,99	2	0	-	nein
Benzen, (1-ethyloctyl)	Aromat	18,14	4621-36-7	90	0,87	0,31	2	0,12	0,00	2	0,58	0,17	4	0	-	nein
Benzen (1-pentylhexyl)	Aromat	18,81	4537-14-8	94				n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	2	0	-	nein
Benzen, (1-butylheptyl)	Aromat	18,90	4537-15-9	94	2,29	0,38	3	2,19	1,31	4	2,46	0,45	4	0	-	nein
Benzen, (1-propyloctyl)	Aromat	19,13	4536-86-1	97	1,76	0,21	4	1,92	1,30	4	1,62	0,35	4	0	-	nein
2-methyl-Propanoic acid	Säure	19,40	74381-40-1	74	1,42	0,24	2	1,21	0,38	2	2,31	0,64	3	0	-	nein
Benzen (1-ethylnonyl)	Aromat	19,54	4536-87-2	96	2,95	0,89	4	2,02	0,31	4	2,28	0,36	4	2	12	nein
Benzen (1-pentylheptyl)	Aromat	20,24	2719-62-2	97	2,04	0,24	3	1,45	0,50	3	2,50	0,55	3	0	-	nein
Benzen (1-butylheptyl)	Aromat	20,37	2719-63-3	97	5,91	4,22	4	4,53	3,54	4	3,10	1,42	4	2	14	nein
Benzen (1-propylnonyl)	Aromat	20,62	2719-64-4	97	2,24	0,51	4	2,93	1,99	4	2,93	0,60	3	0	-	nein
Benzen (1-ethyldeacyl)	Aromat	21,03	2400-00-2	97	2,43	0,45	4	2,42	1,31	4	2,19	1,11	4	0	-	nein
Benzen (1-pentylheptyl)	Aromat	21,58	4534-49-0	94	4,42	2,49	3	2,53	1,26	3	3,11	0,44	4	1	10	nein
Benzen (1-butylnonyl)	Aromat	21,74	4534-50-3	97	4,53	3,83	4	3,40	2,43	4	3,04	0,98	4	1	18	nein
Benzen (1-methylundecyl)	Aromat	21,74	2719-61-1	74							2,31	0,26	2	0	-	nein
Benzen (1-propyldeacyl)	Aromat	22,11	4534-51-4	95	2,68	0,84	3	3,39	2,24	4	3,19	0,51	4	1	12	nein
Benzen (1-ethylundecyl)	Aromat	22,31	4534-52-5	95	2,63	1,47	4	2,01	1,50	3	2,64	1,53	4	0	-	nein
Benzen (1-methyldeacyl)	Aromat	23,33	4534-53-6	87	1,23	0,34	2	1,08	0,90	2	2,07	1,90	4	0	-	nein
1-heptyl-1,2,3,4-tetrahydro-4-methylnaphthale	Aromat	23,98	55682-84-3	96	1,04	0,26	3	1,15	0,76	3	1,11	0,30	3	0	-	nein
1-Butyl-4-pentyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalen	Aromat	24,43	29138-93-0	90	1,54	0,00	1	1,09	1,21	2	0,90	0,19	2	0	-	nein
Heptadecanoic acid, 16-methyl-, methyl ester	Ester	26,28	5129-61-3	96	1,40	0,62	2							0	-	nein
9-Octadecanoic acid, methyl ester (E)	Ester	26,49	1937-62-8	99	1,49	0,67	2	1,04	0,00	1				0	-	nein
Octadecanoic acid, ethyl ester	Ester	26,6	111-61-5	98	0,48	0,11	2	0,98	0,00	1				0	-	nein
9,15-Octadecanoic acid, methyl ester (Z,Z)	Ester	26,99	17309-05-6	99	1,94	1,61	2	2,37	0,00	1				0	-	nein
5-Octadecen	Alkene	27,17	75206-21-5	98	4,84	1,60	2							0	-	nein
Cyclohexadecan	Alkane	27,1	295-65-8	98				2,11	1,13	2				0	-	nein

5.2.1.2 ANALYSE DER KÄFERBÜRTIGEN SUBSTANZEN

Die Semiochemikalien, welche an den Eschenhölzern mit zunehmender Besiedelung durch *L. varius* identifiziert wurden, sind in Tabelle 14 zusammengefasst. Die häufigsten Reaktionen der *Thanasimus*-Antenne im EAD wurden durch das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon, welches ab der Besiedelungsstufe K1 in den Proben der Eschenhölzern zu finden war, ausgelöst. Darüber hinaus konnten mehrere Antennenreaktionen auf die Substanzen 2-methyl-3-Butyn-2-ol, Linalool, Elemicin und Zieron erfasst werden (Tabelle 14).

Tabelle 14: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eschenholz besiedelt mit *L. varius* nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD

Substanz	Stoffklasse	R _t	CAS-Nr.	Qualität	Holz (n=3)			K1 (n=6)			K2 (n=9)			K3 (n=9)			K4 (n=6)			K5 (n=9)			K6 (n=9)			EAD Antwort T. <i>formicarius</i>		
					A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	n	Ø [mV]	Standard
1-butoxy-trans-1-Buten	Alken	6,15	1000139-52-8	58										n.b.	0,00	2				n.b.	0,00	3	n.b.	0,00	4	0	-	nein
5,5-dimethyl-Hexanal	Aldehyd	6,27	55320-58-6	40				n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	3	n.b.	0,00	1	n.b.	0,00	1	0,29	0,00	2	n.b.	0,00	2	2		10 nein
1-Butanol	Alkohol	7,18	71-36-3	72	n.b.	0,00	1							n.b.	0,00	3	n.b.	0,00	1							0	-	nein
2-methyl-3-Butyn-2-ol	Alkohol	8,02	115-19-5	86				2,42	0,99	3	1,65	0,95	5				1,73	0,00	1	1,38	1,30	6	1,66	0,78	7	3		9 nein
1-ethyl-4-methyl-Benzen	Aromat	9,56	622-96-8	91										0,39	0,00	2										1		6 nein
3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	Keton	12,38	873-94-9	96				3,35	0,68	3	4,62	1,60	6	6,06	4,56	5	3,86	0,00	2	3,28	0,94	7	3,66	0,84	6	4		19 ja (+)
(E)-2-Nonen-1-ol	Alkohol	12,64	22104-79-6	53	n.b.	0,00	1	7,08	1,23	2				6,12	2,27	3	3,36	0,00	1	n.b.	0,00	2				0	-	nein
Decanal	Aldehyd	14,17	112-31-2	91	n.b.	0,00	1				3,46	0,00	1	0,86	0,00	1				1,67	0,00	1	3,74	1,59	3	1		14 ja (+)
3,7-dimethyl-1,6-Octadien-3-ol (Linalool)	Alkohol	14,59	78-70-6	80							5,65	3,57	7	1,94	0,00	1										3		19 ja (+)
Eremophilen	Terpen	17,36	10219-75-7	99	2,02	0,00	1							5,20	0,95	3	4,54	0,00	1	5,02	3,26	3	3,75	2,71	4	1		5 nein
(-)-Alloaromadendren	Terpen	17,54	25246-27-9	99							3,05	0,00	1	4,05	0,03	2	4,03	0,00	1	3,35	1,90	7	0,72	0,00	1	2		16 nein
Hexanedioic acid, dimethyl ester	Säure	18,44	627-93-0	98	1,60	0,00	1	0,82	0,14	4	1,46	0,66	4	1,87	0,75	6	1,93	0,00	4	0,74	0,48	7	1,28	0,14	6	1		4 nein
4-Oxononanal	Aldehyd	18,82	1000314-10-4	72	0,68	0,00	1	1,28	0,19	5	2,20	0,00	2	1,36	0,29	5	n.b.	0,00	1	1,10	0,00	2	0,92	0,33	2	0	-	nein
cis-Nerolidol	Terpen	21,50	142-50-7	86										0,73	0,00	1	0,80	0,00	4	1,26	0,69	3	n.b.	0,00	5	2		10 ja (+)
2-phenoxy-Ethanol	Alkohol	22,60	122-99-6	95	n.b.	0,00	2	0,93	0,00	4	n.b.	0,00	2	0,43	0,23	7	n.b.	0,00	2				1,66	0,37	6	0	-	nein
Elemicin	Aromat	23,69	487-11-6	96													1,97	0,37	4	6,48	5,05	9	8,68	9,85	9	3		15 ja (+)
2,6-Diisopropyl-naphthalen	Alken	24,14	24157-81-1	95	n.b.	0,00	1	1,26	0,46	4	0,76	0,00	1	0,99	0,00	1	1,82	0,00	2	1,58	0,00	4	1,15	0,09	3	0	-	nein
Hexadecanoic acid, methyl ester	Säure	24,00	112-39-0	98							1,40	0,00	1				n.b.	0,00	1	1,77	0,00	3	1,02	0,52	3	0	-	nein
2,2,3-trimethyl-Bicyclo(2.2.1)heptan	Alken	24,72	473-19-8	50													8,07	0,00	1	6,85	6,54	5	3,73	1,41	3	1		5 nein
Zieron	Keton	25,42	6754-66-1	92				1,96	0,00	1				2,73	0,61	3	4,51	0,16	4	3,81	2,25	7	2,31	1,36	6	3		6 nein
Octadecanoic acid, methyl ester	Säure	26,26	112-61-8	99				0,75	0,24	3	1,65	0,51	7	2,29	2,33	4	1,81	0,00	1	0,89	0,00	1	1,38	0,35	6	2		3 nein
Cyclohexadecan	Alkan	27,17	295-65-8	98							3,89	0,00	1				n.b.	0,00	1	4,07	0,00	1	1,96	0,54	2	0	-	nein
1-Octadecen	Alken	27,19	112-88-9	99							3,39	0,87	2							2,39	0,46	3	5,03	2,07	1	0	-	nein

Legende: Holz = Eschenholz unbesiedelt, K1 = frisch angesetzte *L. varius* ♀♀ (n=70), K2 = *L. varius* ♀♀ beim Einbohren, K3 = *L. varius* ♀♀ eingebohrt und Bohrmehl sichtbar, K4 = Zugabe von 25 *L. varius* ♂♂ (1 h vor Beprobung), K5 = Beprobung mit *L. varius* ♂♂ nach 24 h, K6 = Zugabe von 5 *T. formicarius* (1 h vor Beprobung)

Von den letztgenannten Substanzen wurden das Zieron und das 2-methyl-3-Butyn-2-ol analog zum 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon ab der Besiedlungsstufe K1 erfasst. Das Linalool hingegen wurde erst beim Einbohren der Eschenbastkäfer in das Eschenholz (Besiedlungsstufe K2-K3) nachgewiesen (Tabelle 14). Nach der Zugabe der männlichen Eschenbastkäfer zum besiedelten Eschenholz (Besiedlungsstufe K4) wurde das Elemicin in den Proben erfasst, dessen prozentuale Peakfläche im Chromatogramm in den Besiedlungsstufen K5 und K6 kontinuierlich anstieg. Weitere Substanzen, auf die Antennenreaktionen vom Ameisenbuntkäfer aufgezeichnet werden konnten, waren 5,5-dimethyl-Hexanal, (-)-Alloaromadendren, Octadecanoicacid-methyl-ester und cis-Nerolidol (Tabelle 14). Letztgenannte Substanz wurde erst in den Proben nachgewiesen, als die weiblichen Eschenbastkäfer eingebohrt waren und Bohrmehl ausgestoßen hatten (Besiedlungsstufe K3).

5.2.1.3 AUSWAHL VON SUBSTANZEN FÜR WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN

In Tabelle 15 sind die Semiochemikalien aufgeführt, welche aufgrund der erfassten Antennenreaktion von *T. formicarius* in weiterführenden Untersuchungen (Dosis-Antwort-Kurven, Freilandexperimente) verwendet wurden.

Tabelle 15: Übersicht der aus den chemischen Analysen von 2010 ausgewählten Semiochemikalien mit Verdacht auf olfaktorische Wahrnehmung durch *T. formicarius*

Substanz	R _t	CAS-Nr.	Nachweis in Proben	Funktion/Art aus Literatur
3-Penten-2-ol	7,63	1569-50-2	Esche, Buche	VOC Laubbäume [2]
Benzene, methoxy (Anisol)	10,59	100-66-3	Buche	<i>A-Scolytus intricatus</i> [1]
Cyclohexanone, 3,3,5-trimethyl	12,14	873-94-9	Esche, Eiche, Buche; Esche (ab K1)	
Decanal	14,04	112-31-2	Esche, Buche	<i>A-Phloeotribus scarabaeoides</i> [3]
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl (Linalool)	14,59	78-70-6	Esche (K2+K3)	<i>Al-Ips pini</i> , <i>Ips paraconfusus</i> [4]
beta-Caryophyllen	15,71	87-44-5	Buche	<i>A-Scolytus intricatus</i> [1]
2-Undecanon	15,81	112-12-9	Buche	<i>A-Phloeotribus scarabaeoides</i> [3]
cis-Nerolidol	21,50	142-50-7	Esche (ab K3)	<i>K-Scolytus ventralis</i> [5]
Benzene, 1,2,3-trimethoxy-5-(2-propenyl) (Elemecin)	23,69	487-11-6	Esche (ab K4)	VOC

Legende: P = Pheromon, K = Kairomon, Al = Allomon, A = Lockstoff; Quellen: [1] Vrkocová et al. (2000) [2] Zhang et al. (2012) [3] Szuman-Szumski et al. (1998) [4] Birch und Light (1977) [5] Macías-Sámano et al. (1998)

Bei der Auswahl der Substanzen wurden neben der erfassten Antennenreaktion beim Ameisenbuntkäfer auch Hinweise aus der Literatur über deren chemoökologische Bedeutung bei Wirtsbaum-Borkenkäfer- bzw. Borkenkäfer-Antagonisten-Interaktionen berücksichtigt (Tabelle 15).

5.2.2 VERSUCHSREIHEN 2011

5.2.2.1 BOHRMEHLANALYSEN

In den Analysen des Bohrmehls von *T. domesticum* und *L. varius* konnte das Terpen alpha-Pinen über einen Abgleich mit der NIST-Datenbank identifiziert werden. Ein Vergleich mit der Standardmessung deutet jedoch darauf hin, dass es sich um eine in der Struktur zum alpha-Pinen sehr ähnliche Substanz handeln muss (Tabelle 16 und Tabelle 17).

Tabelle 16: GC-MS/EAD-Analyse des Bohrmehls von *L. varius* (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 1,5 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Bohrmehl <i>Leperisinus varius</i> (n=2)			EAD Antwort <i>T. formicarius</i>	
					A %	SD	n	n	Ø mV
1R-alpha-Pinen	Terpen	6,76	7785-70-8	96	10,26	6,63	2	0	- ja (-)
beta-Pinen	Terpen	7,80	127-91-3	94	2,76	0,00	1	0	- nein
Hexanal	Aldehyd	8,00	66-25-1	90	1,45	0,00	1	0	- ja (+)
2,2,4,6,6-pentamethyl-Heptan	Alkan	8,11	13475-82-6		3,03	0,00	1	0	- nein
3-Caren	Terpen	9,06	13466-78-9	95	2,74	1,33	2	0	- nein
1-methyl-4-(1-methylethylidene)-Cyclohexen	Alken	10,59	586-62-9		0,31	0,00	1	0	- nein
d-Limonen	Terpen	10,61	5989-27-5	83	2,96	0,00	2	1	10,0 ja (+)
3-Butyn-2-ol, 2-methyl	Alkohol	10,72	115-19-5		0,81	0,00	1	0	- nein
Nonanal	Aldehyd	15,04	124-19-6	90	0,47	0,00	1	1	5,0 ja (+)
alpha-Longipinen	Terpen	16,86	5989-08-2	97	n.b.	0,00	1	0	- nein
(+)-Cyclosativen	Terpen	17,33	22469-52-9	95	0,04	0,00	1	0	- nein
alpha-Cubeben	Terpen	17,40	17699-14-8	94	0,03	0,00	1	0	- nein
(-)-Isoliden	Terpen	17,99	1000109-87-9	90	0,02	0,00	1	0	- nein
Longifolen	Terpen	18,09	475-20-7	99	0,16	0,00	1	0	- nein
Caryophyllen	Terpen	18,37	87-44-5	80	n.b.	0,00	1	0	- nein

Weitere im Bohrmehl von *L. varius* enthaltene Substanzen, jedoch mit weitaus geringerem prozentuaem Anteil an der Peakfläche des Chromatogramms, waren die Terpene 3-Caren und d-Limonen (Tabelle 16). Alle weiteren in Tabelle 16 aufgeführten Substanzen konnten nur in einer der beiden Bohrmehlproben erfasst werden.

Tabelle 17: GC-MS/EAD-Analyse des Bohrmehls von *T. domesticum* (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 1,5 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Bohrmehl <i>Trypodendron domesticum</i> (n=2)			EAD Antwort <i>T. formicarius</i>	
					A %	SD	n	n	Ø mV
alpha-Pinen	Terpen	6,74	80-56-8	97	4,05	2,69	2	1	9 ja (-)
Hexanal	Aldehyd	8,04	66-25-1	90	1,48	0,33	2	1	9 ja (+)
2-methyl-3-Butyn-2-ol	Alkohol	10,73	115-19-5	72	0,85	0,00	2	0	- nein
Essigsäure	Säure	16,32	64-19-7	91	0,23	0,00	1	0	- nein
1-Hexanol	Alkohol	16,95	104-76-7	78	0,09	0,04	2	0	- nein
Benzaldehyd	Aldehyd	17,94	100-52-7	91	0,11	0,00	1	0	- nein
Acetophenon	Keton	20,46	98-86-2	90	n.b.	0,00	2	0	- nein

Aus dem Bohrmehl von *T. domesticum* konnten neben dem vermeintlichen alpha-Pinen (Tabelle 17) die Substanzen Hexanal und 2-Methyl-3-butyn-2-ol als weitere Bestandteile

in den Proben identifiziert werden. Mit weitaus geringerem Anteil wurden 1-Hexanol und Acetophenon in den Bohrmehlproben von *T. domesticum* erfasst.

Als natürlicher Gegenspieler von *L. varius* und *T. domesticum* zeigte der Ameisenbunkkäfer *T. formicarius* eine Antennenreaktion auf die alpha-Pinen-ähnliche Substanz und d-Limonen sowie auf die Aldehyde Hexanal und Nonanal (Tabelle 16 und Tabelle 17). Eine wiederholte Reaktion auf eine der genannten Substanzen konnte jedoch nicht beobachtet werden.

5.2.2.2 GEMEINE ESCHEN BESIEDELT MIT *LEPERISINUS VARIUS*

Probenahme im Mai 2011

Die Substanzen, welche aus künstlich besiedeltem Eschenholz identifiziert werden konnten sind in Tabelle 18 aufgeführt.

Tabelle 18: GC-MS/EAD-Analyse von Eschenholz künstlich besiedelt mit *L. varius* im Mai 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 15 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Esche (n=1)			Esche besiedelt mit <i>Leperisinus varius</i> ♂♂ (n=2)			Esche besiedelt mit <i>Leperisinus varius</i> ♀♀ (n=2)			EAD Antwort <i>T. formicarius</i>	
					A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	n	Ø mV
Limonen	Terpen	10,63	138-86-3	94	0,52	0,0	1	0,57	0,00	2	0	0	0	0	- ja (+)
Methyl-2-ethylhexanoat	Säure	12,01	816-19-3	90	2,10	0,0	1	2,15	0,73	2	1,31	0,36	2	1	2 nein
1,3,5-trimethyl-Benzen	Aromat	12,56	108-67-8	97	0,24	0,0	1	0,38	0,00	2	0,56	0,17	2	1	4 nein
Benzen, methoxy	Aromat	14,03	100-66-3	96				0,70	0,00	1	3,03	0,00	2	0	- nein
Nonanal	Aldehyd	15,03	124-19-6	91	0,49	0,0	1	0,15	0,00	1			0	1	5 ja (+)
Benzen, 1,2,3,4-tetramethyl	Aromat	16,04	488-23-3	97	0,43	0,0	1			0	0,24	0,00	1	1	25 nein
trans-Linalooloxid	Säure	16,66	23007-29-6	85				0,23	0,00	1	0,13	0,00	1	1	9 nein
Copaen	Terpen	17,16	3856-25-5	99	1,26	0,0	1	1,36	0,66	2	1,51	0,27	2	3	14 ja (+)
Linalylacetat	Ester	18,15	115-95-7	62	0,58	0,0	1	0,42	0,21	2	0,19	0,05	2	2	5 nein
alpha-trans-Bergamoten	Terpen	19,04	17699-05-7	98	1,66	0,0	1	2,91	2,11	2	3,16	0,83	2	1	4 nein
Menthol	Alkohol	20,05	15356-70-4	91	0,30	0,0	1	0,27	0,00	2	0,23	0,05	2	1	3 nein
alpha-Aromadendren	Terpen	20,97	25246-27-9	91				0,23	0,00	1			0	0	- nein
Eremophilin	Terpen	21,54	10219-75-7	98	0,19	0,0	1	0,41	0,00	1	0,42	0,38	2	1	5 nein
1,3-dimethoxy-Benzen	Aromat	22,26	151-10-0	96	3,13	0,0	1	0,54	0,34	2	0,55	0,00	1	0	- nein
Epizonaren	Terpen	22,37	1000156-10-7	94						0	0,27	0,00	2	0	- nein

In beiden Varianten (besiedeltes und unbesiedeltes Eschenholz) war die Substanz alpha-trans-Bergamoten eine dominierende Komponente (Tabelle 18) im Chromatogramm. In besiedeltem Eschenholz konnte eine leichte Erhöhung des Anteils der Substanz in der Probe erfasst werden. Darüber hinaus waren in allen Varianten höhere Anteile von Copaen und Methyl-2-ethylhexanoat zu finden. Das 1,3-dimethoxy-Benzen hingegen wurde in unbesiedeltem Eschenholz in deutlich höherer Konzentration vorgefunden, als in von *L. varius* besiedeltem Eschenholz. Die Substanzen methoxy-Benzen, 1,2,3,4-tetramethyl-Benzen und Epizonaren waren hingegen vor allem an Eschenholz, dass mit weiblichen Eschenbastkäfern besiedelt war, zu finden. Dagegen wurde das alpha-Aromadendren

ausschließlich an Eschenholz gefunden, welches mit männlichen Eschenbastkäfern besiedelt war (Tabelle 18).

Reaktionen der Antenne von *T. formicarius* wurden zum überwiegenden Teil auf Substanzen beobachtet, die sowohl in unbesiedeltem als auch in besiedeltem Eschenholz zu finden waren (Tabelle 18). Die häufigsten Ausschläge im Elektroantennogramm erfolgten auf das Copaen und das Linalylacetat.

Probenahme im Juli 2011

Analog zum Mai 2011 wurden auch im Juli 2011 von den mit SPME beprobten Eschenholzstücken die Substanzen Copaen und alpha-trans-Bergamoten emittiert, allerdings waren diese im Probevolumen nicht mehr die dominierenden Substanzen (Tabelle 19). Dennoch ließ sich auch im Juli, bei der Besiedlung des Eschenholzes, ein Anstieg des alpha-trans-Bergamoten beobachten.

Tabelle 19: GC-MS/EAD-Analyse von Eschenholz künstlich besiedelt mit *L. varius* im Juli 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 16 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Esche mechanisch verletzt (n=2)			Esche besiedelt mit <i>Leperisinus varius</i> ♂♂ (n=2)			Esche besiedelt mit <i>Leperisinus varius</i> ♀♀ (n=2)			EAD Antwort <i>T. formicarius</i>		
					A %	SD	n	A %	SD	n	A %	SD	n	n	Ø mV	Standard
Hexanal	Aldehyd	8,106	66-25-1	90	1,82	0,3	2	6,49	0,27	2	5,58	0,37	2	1	7	ja (+)
Heptanal	Aldehyd	10,371	111-71-7	95				2,63	0,87	2	2,89	0,22	2	0		ja (+)
beta-Phellandren	Terpen	10,854	555-10-2	91							1,08	0,45	2	0		nein
Octanal	Aldehyd	12,746	124-13-0	62				1,46	0,28	2	1,58	0,31	2	0		nein
5-Hepten-2-on, 6-methyl	Keton	13,815	110-93-0	91	2,64	0,0	1	1,14	0,36	2	0,87	0,63	2	0		nein
1-Hexanol	Alkohol	14,002	111-27-3	78	n.b.	0,0	2	0,76	0,09	2	0,78	0,01	2	0		nein
Nonanal	Aldehyd	15,048	124-19-6	91	1,85	2,2	2	3,35	2,43	2	4,67	3,64	2	1	15	ja (+)
Copaen	Terpen	17,169	3856-25-5	99	0,51	0,0	2	n.b.	0,00	2	n.b.	0,00	2	0		ja (+)
Decanal	Aldehyd	17,286	112-31-2	91	4,99	0,0	2	4,48	3,30	2	6,49	5,95	2	0		ja (+)
alpha-trans-Bergamoten	Terpen	19,039	17699-05-7	98	0,54	0,3	2	1,69	0,74	2	1,39	0,01	2	0		nein
Undecanal	Aldehyd	19,382	112-44-7	83	0,16	0,0	1	0,26	0,07	1	0,55	0,00	1	0		nein
2(3H)-Furanone, dihydro-5-methyl	Keton	19,714	108-29-2	94	0,08	0,0	2	0,33	0,01	2	0,52	0,00	2	0		nein
Menthol	Alkohol	20,046	1490-04-6	91	0,32	0,0	2	0,35	0,00	2	0,18	0,00	1	0		nein
1-Nonanol	Alkohol	20,333	143-08-8	90	0,13	0,1	2	0,37	0,10	2	0,38	0,00	2	0		nein
2-Pyrrolidinon, 1-methyl	Keton	20,830	872-50-4	94	0,14	0,0	1	0,72	0,71	2	0,57	0,00	1	0		nein
alpha-Muurolen	Terpen	21,759	31983-22-9	99	0,27	0,0	2	0,29	0,01	2	0,32	0,07	2	0		nein
alpha-Curcumen	Terpen	22,644	644-30-4	99	0,11	0,1	2	0,35	0,00	2	0,24	0,07	2	1		7 nein
Calamenen	Terpen	23,770	483-77-2	96	0,32	0,0	2	0,54	0,00	2	0,27	0,05	2	0		nein

Bei der künstlichen Besiedlung des Eschenholzes im Juli 2011 waren vor allem die Aldehyde Decanal, Nonanal und Hexanal die Substanzen mit der höchsten Konzentration (Tabelle 19). Alle drei Aldehyde zeigten im Vergleich zur Variante ohne Eschenbastkäfer einen deutlichen Anstieg in ihrem Anteil am Probevolumen. Am stärksten war dieser Effekt beim Hexanal zu beobachten. Substanzen, welche ausschließlich in den mit Eschenbastkäfern künstlich besiedelten Eschenhölzern identifiziert werden konnten, waren die Aldehyde Heptanal und Octanal. Hingegen konnte das beta-Phellandren ausschließlich

an Eschenhölzern erfasst werden, an welchen weibliche Eschenbastkäfer angesetzt waren (Tabelle 19).

Die Zahl der Antennenreaktionen von *T. formicarius* auf die erfassten Substanzen war sehr gering. Einzelne Reaktionen wurden auf Hexanal, Nonanal und alpha-Curcumen erfasst (Tabelle 19).

5.2.2.3 EICHEN BESIEDELT MIT *SCOLYTUS INTRICATUS*

In den im Volatilspektrum enthaltenen Substanzen zwischen besiedelter und unbesiedelter Eiche konnten keine substanziellen Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 20). Jedoch zeigten sich Unterschiede in den Volumenanteilen der erfassten Substanzen zwischen beiden Varianten.

Tabelle 20: GC-MS/EAD-Analyse von Eichenholz natürlich besiedelt mit *S. intricatus* im Juli 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 16 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Eiche (n=3)			Eiche besiedelt mit <i>Scolytus intricatus</i> (n=3)			EAD Antwort <i>T. formicarius</i>		Standard
					A %	SD	n	A %	SD	n	n	Ø mV	
beta-Myrcen	Terpen	9,812	123-35-3	97	2,97	1,8	3	1,81	0,88	3	0		nein
d-Limonen	Terpen	10,620	5989-27-5	96	7,42	0,3	3	1,92	0,80	3	3	11	ja (+)
Furan, 2-pentyl	Alkan	11,401	3777-69-3	87	3,56	0,6	2	2,62	0,33	3	0		nein
cis-beta-Ocimen	Terpen	11,829	3338-55-4	95	1,56	0,1	3	2,10	0,79	2	0		nein
Benzen, 1-methyl-2-(1-methyl)	Aromat	12,319	527-84-4	97	0,87	0,1	2	n.b.	0,00	2	0		nein
E,Z-Alloocimen	Terpen	15,070	7216-56-0	97	0,62	0,0	3	0,44	0,23	2	0		nein
E,E-Cosmen	Terpen	16,205	460-01-5	96	0,32	0,0	3	0,29	0,18	3	0		nein
alpha-Cubeben	Terpen	16,405	17699-14-8	97	0,14	0,0	3	0,10	0,00	3	0		nein
Ylängen	Terpen	16,986	14912-44-8	99	0,35	0,0	1	0,57	0,00	1	0		nein
alpha-Copaen	Terpen	17,182	3856-25-5	99	3,60	1,1	3	4,98	0,68	3	0		ja (+)
alpha-Cedren	Terpen	17,592	469-61-4	97	0,38	0,2	2	0,42	0,22	3	0		nein
R-Camphor	Terpen	17,761	464-49-3	99	0,21	0,0	3	0,16	0,00	2	0		nein
alpha-Zingiberen	Terpen	18,028	495-60-3	90	2,06	0,4	3	4,07	2,55	3	1	18	nein
S-Bornyl-acetat	Acetat	18,985	5655-61-8	99	1,61	0,2	3	0,64	0,16	2	0		nein
alpha-trans-Bergamoten	Terpen	19,041	17699-05-7	97	0,77	0,0	3	1,54	0,61	3	2	13	nein
beta-Cubeben	Terpen	19,232	13744-15-5	98	0,45	0,1	3	n.b.	0,00	3	0		nein
beta-Caryophyllen	Terpen	19,376	87-44-5	99	1,78	0,1	3	1,87	0,31	3	1	8	ja (+)
Eremophilen	Terpen	19,545	10219-75-7	89	0,21	0,0	3	0,33	0,00	2	0		nein
Thujopsen	Terpen	19,877	470-40-6	99	0,17	0,1	3	0,42	0,00	3	1	20	nein
Alloaromadendren	Terpen	20,339	25246-27-9	99	4,30	0,7	3	6,02	0,46	3	0		nein
alpha-Caryophyllen	Terpen	20,788	6753-98-6	98	1,09	0,1	3	1,25	0,07	3	4	14	ja (-)
gamma-Muurolen	Terpen	21,127	30021-74-0	98	5,92	1,4	3	7,46	0,82	3	1	16	nein
alpha-Elementen	Terpen	21,544	5951-67-7	94	0,87	0,2	3	1,36	0,08	3	0		nein
alpha-Muurolen	Terpen	21,787	31983-22-9	98	7,25	1,9	3	9,70	2,64	3	1	7	nein
alpha-Amorphen	Terpen	22,422	483-75-0	98	5,13	1,0	3	6,29	1,99	3	0		nein
alpha-Curcumen	Terpen	22,644	644-30-4	99	0,43	0,2	3	1,51	0,12	3	0		nein
alpha-Cadinen	Terpen	23,178	24406-05-1	97	0,80	0,3	3	0,86	0,37	3	0		nein
Cuparen	Terpen	23,646	16982-00-6	99	0,68	0,1	3	0,38	0,14	3	0		nein
Calamenen	Terpen	23,782	483-77-2	96	1,04	0,3	3	1,35	0,64	3	0		nein

Aus den unbesiedelten Eichenhölzern emittierte das d-Limonen in der höchsten Konzentration, gefolgt von hohen Anteilen des alpha-Muurolen, gamma-Muurolen, alpha-Amorphen, Alloaromadendren, alpha-Copaen und 2-pentyl-Furan (Tabelle 20). Bei den

besiedelten Eichenhölzern war das alpha-Muurolen die am stärksten emittierte Substanz, das d-Limonen hingegen wurde in deutlich geringeren Anteilen abgegeben (Tabelle 20). Weitere Substanzen, welche aus besiedeltem Eichenholz in höheren Konzentrationen erfasst werden konnten, waren gamma-Muurolen, alpha-Amorphen Alloaromadendren, alpha-Copaen und alpha-Zingiberen.

Die häufigsten Reaktionen der Ameisenbuntkäferantenne waren auf die Substanzen alpha-Caryophyllen, d-Limonen und alpha-trans-Bergamoten zu beobachten (Tabelle 20).

5.2.2.4 ROT-BUCHE BESIEDELT MIT *TAPHRORYCHUS BICOLOR*

In den Proben von Buchenholz ohne Besiedlung als auch in den Proben von Buchenholz besiedelt mit *T. bicolor* wurde bei einer Retentionszeit von 17,288 Minuten eine Substanz erfasst, welche im Vergleich zu allen anderen erfassten Substanzen mit Abstand den größten Anteil am Probevolumen einnimmt. Eine Identifizierung aus dem Massenspektrum war nicht möglich (Tabelle 21).

Tabelle 21: GC-MS/EAD-Analyse von Buchenholz natürlich besiedelt mit *T. bicolor* im Juli 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 15 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Rot-Buche (n=3)			Rot-Buche besiedelt mit <i>T. bicolor</i> (n=5)			EAD Antwort T. formicarius		Standard
					A %	SD	n	A %	SD	n	n	Ø mV	
Ethanol	Alkohol	5,151	64-17-5	91	3,82	0,0	1				0	-	nein
2-Methyl-1-propanol	Alkohol	8,165	78-83-1	64	0,22	0,0	2				0	-	nein
4-Methyl-3-heptanon	Keton	9,838	6137-11-7	91	1,03	0,0	1	1,60	1,48	3	1	3,0	nein
3-Methyl-1-butanol	Alkohol	10,711	123-51-3	72							0	-	nein
4,5-Dimethyl-4-hexen-3-on	Keton	13,521	17325-90-5	91	n.b.	0,0	2	n.b.	0,00	3	0	-	nein
4-Methyl-1,3-heptadien (c,t)	Alken	13,959	17603-57-5	94				0,61	0,00	1	0	-	nein
1-Ethyl-3-(propen-1-yl)adamantan	Alkan	15,855	57040-45-6	68	1,73	0,0	1	5,74	1,29	5	0	-	nein
alpha-Gurjunen	Terpen	16,300	489-40-7	60				4,06	1,21	5	0	-	nein
Thujopsens (I2)	Terpen	16,705	1000152-20-4	96	n.b.	0,0	1	1,92	0,54	4	0	-	nein
2-ethyl-1-hexanol	Alkohol	16,947	104-76-7	86	0,17	0,1	3	0,33	0,00	5	0	-	nein
unidentified	-	17,288	-	-	10,97	0,0	1	17,50	4,72	5	0	-	nein
(S)-3-Ethyl-4-methylheptanol	Alkohol	17,377	1000144-07-1	86	0,40	0,0	1	n.b.	0,00	1	0	-	nein
alpha-Cedren	Terpen	17,612	469-61-4	97	1,69	1,4	3	3,08	0,68	5	0	-	nein
di-epi-alpha-Cedren	Terpen	18,440	1000156-13-1	97	0,29	0,0	2	0,62	0,10	5	0	-	nein
10s,11s-Himachala-3(12),4-dien	Terpen	18,704	60909-28-6	99	0,24	0,0	3	0,42	0,12	5	0	-	nein
beta-Cedren	Terpen	19,204	546-28-1	96	0,25	0,0	1	0,38	0,09	4	1	4,0	nein
beta-Caryophyllen	Terpen	19,449	87-44-5	99	0,82	0,6	3	2,39	0,36	5	0	-	ja (+)
Bicyclo[7.2.0]undecan, 10,10-dimethyl-2,6-bis(methylene)-, (1S,9R)-	Alkan	19,695	136296-38-3	90				0,37	0,00	4	0	-	nein
Thujopsen	Terpen	19,892	470-40-6	99	7,30	6,3	3	6,06	1,05	5	0	-	nein
Tricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-en	Alken	20,919	5989-08-2	89	0,42	0,0	3	0,73	0,18	5	0	-	nein
Spiro[4.5]dec-7-en	Alken	21,166	24048-44-0	93				0,54	0,10	5	0	-	nein

Der prozentuale Anteil der unidentifizierten Substanz war in mit *T. bicolor* besiedeltem Buchenholz im Vergleich zu unbesiedeltem Buchenholz jedoch deutlich erhöht. Weitere Substanzen, welche in erhöhten Konzentrationen sowohl von unbesiedeltem als auch von besiedeltem Buchenholz erfasst werden konnten, waren Thujopsen, alpha-Cedren, 1-Ethyl-

3-(propen-1-yl)-adamantan, 4-Methyl-3-heptanon und beta-Caryophyllen. Im Vergleich zu unbesiedeltem, konnte an mit *T. bicolor* besiedelten Buchenholz ein Anstieg am Probevolumen von beta-Caryophyllen, alpha-Cedren, (S)-3-Ethyl-4-methylheptanol, 1-Ethyl-3-(propen-1-yl)-adamantan und 4-Methyl-3-heptanon beobachtet werden. Der Anteil des Thujopsen schien sich beim besiedelten Buchenholz hingegen zu reduzieren (Tabelle 21). Wie in der Tabelle 21 ersichtlich wird, konnten die Substanzen alpha-Gurjunen, Spiro[4.5]dec-7-en und (1S,9R)-10,10-dimethyl-2,6-bis-Bicyclo[7.2.0]undecan ausschließlich in den Buchenhölzern erfasst werden, welche mit *T. bicolor* besiedelt waren. Eine Reaktion der Ameisenbuntkäferantenne auf die letztgenannten Substanzen konnte aber nicht beobachtet werden.

Im Elektroantennogramm gab es jedoch eine einmalige Reaktion der Ameisenbuntkäferantenne auf die Substanzen 4-Methyl-3-heptanon und beta-Cedren. Beide Substanzen wurden von den mit *T. bicolor* besiedelten Buchenhölzern in höheren Konzentrationen als von unbesiedeltem Buchenholz erfasst (Tabelle 21).

5.2.2.5 BUCHE BESIEDELT MIT *XYLOSANDRUS GERMANUS*

Das Substanzspektrum bzw. die Zusammensetzung von Buchenholz besiedelt mit *X. germanus* sowie unbesiedeltem Buchenholz zeigt, wie in Tabelle 22 ersichtlich, deutliche Unterschiede. Im unbesiedelten Buchenholz dominierte eine nicht identifizierte Substanz bei einer Retentionszeit von 17,288 Minuten. Daneben waren Thujopsen, alpha-Cedren und Ethanol in höheren Konzentrationen in den Proben enthalten. In den von *X. germanus* besiedelten Buchenhölzern war Ethanol mit deutlich höherem prozentualem Flächenanteil im Chromatogramm vertreten, als in unbesiedeltem Buchenholz. Zudem wurde von den besiedelten Hölzern ein relativ hoher Anteil an Essigsäureethylester nachgewiesen, der in unbesiedeltem Buchenholz nicht gefunden werden konnte. Die Essigsäure war das von mit *X. germanus* besiedelten Hölzern am stärksten emittierte Volatil, welches auch ausschließlich aus diesen Hölzern erfasst werden konnte (Tabelle 22). Auch die Substanz 2,3-Butandiol wurde nur aus besiedelten Hölzern emittiert und erzeugte im Elektroantennogramm eine Reaktion der Ameisenbuntkäferantenne. Selbiges konnte vom 3-Hydroxy-3-butanon beobachtet werden. Eine Bestätigung, der aus der NIST-Datenbank identifizierten Substanzen 2,3-Butandiol und 3-Hydroxy-3-butanon, mittels Standardsubstanz konnte nicht erbracht werden. Die häufigsten Reaktionen der Ameisenbuntkäferantenne waren auf die Substanz 4-Methyl-3-heptanon zu beobachten (Tabelle 22).

Tabelle 22: Analyse von Buchenholz natürlich besiedelt mit *X. germanus* im Juli 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 15 h)

Substanz	Stoffklasse	Rt	CAS-Nr.	Qualität	Rot-Buche (n=3)			Rot-Buche besiedelt mit <i>X. germanus</i> (n=3)			EAD Antwort <i>T. formicarius</i>		Standard
					A %	SD	n	A%	SD	n	n	Ø mV	
Essigsäureethylester	Ester	4,637	141-78-6	91				6,53	2,83	2	0	-	nein
Ethanol	Alkohol	5,151	64-17-5	91	3,82	0,0	1	11,23	3,64	2	1	3,0	nein
2-Methyl-1-propanol	Alkohol	8,149	78-83-1	64	0,22	0,0	2	1,50	0,87	2	0	-	nein
4-Methyl-3-Heptanon	Keton	9,838	6137-11-7	91	0,85	0,6	2	1,83	0,71	3	2	3,0	nein
3-Methyl-1-butanol	Alkohol	10,711		72	0,43	0,0	2	1,27	0,24	2	0	-	nein
2-Butanon, 3-hydroxy	Keton	12,693	513-86-0	86				3,80	0,00	2	1	4,0	ja (-)
4,5-dimethyl-4-Hexen-3-on	Keton	13,521		91			2	0,23	0,04	3	0	-	nein
4-Methyl-1,3-heptadien (c,t)	Alken	13,959	17603-57-5	94	1,57	0,7	1	0,59	0,02	3	0	-	nein
1-Ethyl-3-(propen-1-yl)adamantan	Alkan	15,855	57040-45-6	68	1,73	0,0	1	2,75	2,21	2	0	-	nein
Essigsäure	Säure	16,124	64-19-7	91				21,02	1,33	2	0	-	nein
Thujopsens (I2)	Terpen	16,705	1000152-20-4	96	0,38	0,0	1	0,52	0,11	2	0	-	nein
2-Ethyl-1-hexanol	Alkohol	16,947	104-76-7	86	0,17	0,1	3	0,30	0,03	3	0	-	nein
unidentified	-	17,288	-		10,97	0,0	1	5,18	6,19	3	0	-	nein
(S)-3-Ethyl-4-methylheptanol	Alkohol	17,377	1000144-07-1	86	0,40	0,0	1	0,39	0,00	2	0	-	nein
alpha-Cedren	Terpen	17,612	469-61-4	97	1,69	1,4	3	1,70	2,05	3	0	-	nein
di-epi-alpha-Cedren	Terpen	18,440	1000156-13-1	97	0,29	0,1	2	0,32	0,29	2	1	5,0	nein
10s,11s-Himachala-3(12),4-dien	Terpen	18,704	60909-28-6	99	0,24	0,0	3	0,54	0,00	0	0	-	nein
2,3-Butandiol	Alkohol	18,712	513-85-9	90				0,43	0,00	2	1	3,0	ja (-)
Caryophyllen	Terpen	19,449	87-44-5	99	0,82	0,3	3	1,20	0,80	3	0	-	ja (+)
Thujopsen	Terpen	19,892	470-40-6	99	7,30	7,2	3	3,35	2,72	3	0	-	nein

5.2.2.6 AUSWAHL VON SUBSTANZEN FÜR WEITERFÜHRENDE UNTERSUCHUNGEN

In Tabelle 23 sind die Semiochemikalien aufgeführt, welche aufgrund der erfassten Antennenreaktion von *T. formicarius* und Literaturangaben in weiterführenden Untersuchungen (Dosis-Antwort-Kurven, Freilandexperimente) verwendet werden.

Tabelle 23: Übersicht der aus den chemischen Analysen von 2011 ausgewählten Semiochemikalien mit Verdacht auf olfaktorische Wahrnehmung durch *T. formicarius*

Substanz	R _t	CAS-Nr.	Nachweis in Proben	Funktion/Art aus Literatur
Ethanol	5,15	64-17-5	<i>X. germanus</i> , Buche	Kairomon div. Borkenkäfer [1] [2]
alpha-Pinen	6,76	80-56-8	Bohrmehl <i>L. varius</i> , <i>T. domestcium</i>	Kairomon div. Borkenkäfer [2]
Hexanal	8,11	66-25-1	Bohrmehl <i>L. varius</i> , <i>T. domestcium</i> ; Esche	GLV [3], Stressmarker [4]
Heptanal	10,37	111-71-7	<i>L. varius</i>	
d-Limonen	10,62	5989-27-5	Bohrmehl <i>L. varius</i> ; Esche, Eiche	A - <i>T. formicarius</i> [5]
Nonanal	15,05	124-19-6	Bohrmehl <i>L. varius</i> , Esche	Stressmarker [4]
Essigsäure*	16,12	64-19-7	Bohrmehl <i>T. domestcium</i> , <i>X. germanus</i>	VOC Buche [6] [7]
alpha-Cubeben	16,41	17699-14-8	Bohrmehl <i>L. varius</i> , Eiche	HIPV Buche [8]
Copaen	17,18	3856-25-5	<i>S. intricatus</i> , <i>L. varius</i> , Esche, Eiche	HIPV Eiche [9]
Decanal	17,28	112-31-2	<i>L. varius</i> , Esche	A - <i>Phloeotribus scarabaeoides</i> [10]
beta-Caryophyllene	19,38	87-44-5	<i>S. intricatus</i> , <i>T. bicolor</i> , <i>X. germanus</i> , Eiche, Buche	EAD aktiv - <i>Tomicus destruens</i> [11]
Thujopsen	19,88	470-40-6	<i>S. intricatus</i> , Eiche, Buche	
alpha-Caryophyllen	20,79	6753-98-6	<i>S. intricatus</i> , Eiche	
beta-Cedren	22,03	546-28-1	<i>T. bicolor</i> , Buche	VOC Buche [12]

Legende: * = keine EAD Reaktion von *T. formicarius*, A = Lockstoff Quellen: [1] Kohnle (1985) [2] Schröder und Lindelöw (1989) [3] Ruther (2000) [4] Wildt et al. (2003) [5] Rudinsky et al. (1971) [6] Risholm-Sundman et al. (1998) [7] Kesselmeier und Staudt (1999) [8] Joó et al. (2010) [9] Vrkocová et al. (2000) [10] Szuman-Szumski et al. (1998) [11] Faccoli et al. (2008) [12] Thaeckow et al. (2006)

5.3 DISKUSSION UND BEGRÜNDUNG DER SUBSTANZAUSWAHL

Mit den Untersuchungen zu baumbürtigen und käferbürtigen Semiochemikalien aus den Untersuchungshabitaten wurden Verdachtssubstanzen abgeleitet, die im Wirtsfindungsprozess der Borkenkäfer bzw. in der Beutelokalisierung der Borkenkäferprädatoren Relevanz besitzen könnten. In den GC/MS-EAD-Analysen wurde ausschließlich die Antenne von *T. formicarius* als biologischer Detektor verwendet. Entsprechend dienten die gemessenen Antennenreaktionen von *T. formicarius* im Elektroantennogramm als Weiser für die mögliche Relevanz einer in den Proben identifizierten Semiochemikalie im Wirtsfindungs- bzw. Beutefindungsprozess (Weissbecker et al. 2004, Zhang und Schlyter 2010). Entsprechend dem verwendeten biologischen Detektor waren bei der Interpretation der Ergebnisse vor allem Semiochemikalien von Interesse, welche auf *T. formicarius* oder eine seiner potentiellen Beutearten am Laubholz verhaltensmodifizierend wirken könnten.

Für Borkenkäferarten, welche nicht als natürliche Beuteobjekte von *T. formicarius* beschrieben werden können, konnten Verdachtssubstanzen ausschließlich durch Interpretation des Volatilmusters der Duftprobe ausgewählt werden. Gleiches galt für deren natürliche Gegenspieler.

Der Ameisenbuntkäfer *Thanasimus* spec., als potentieller Prädator verschiedener Borkenkäferarten, besitzt zwar eine stärkere Affinität für Pheromone seiner Beutearten als für baumbürtige Volatile (Hulcr et al. 2006), nutzt letztere aber dennoch zur erfolgreichen Beutelokalisierung (Rudinsky et al. 1971, Langewald 1989). Die emittierten Volatile der Wirtsbaumarten seiner Beute ergeben zusammen mit den käferbürtigen Pheromonen ein komplexes Duftmuster, welches teilweise durch Synergismen zwischen einzelnen Semiochemikalien gekennzeichnet ist (Kohnle und Vité 1984, Hulcr et al. 2006, Zhang und Schlyter 2010). Die vollständige Information für den Ameisenbuntkäfer setzt sich folglich aus dem Volatilmuster des Wirtsbaumes seines Beuteindividuums (Harwood und Rudinsky 1966 zitiert in Hansen 1983, Chénier und Philogène 1989, Schroeder und Lindelöw 1989, Erbilgin et al. 2003, Schroeder 2003, Hulcr et al. 2006), und den vom Beuteindividuum produzierten Pheromonen zusammen (Bakke und Kvamme 1981, Tømmerås 1988, Costa und Reeve 2011). Darüber hinaus beschreiben Bakke und Kvamme (1981), dass *T. formicarius* beispielsweise im zeitigen Frühjahr auch ausschließlich von Wirtsbaumvolatilen angelockt werden muss, da er vor dem Schwarm seiner Beuteindividuen an eingeschlagenen Stämmen patrouillierte. Von den Waldgärtnern (*Tomicus* spec.), die im Kiefernhabitat zum Beutespektrum von *T. formicarius* zählen,

konnte bislang kein Pheromon identifiziert werden, was eine Beutelokalisation anhand von emittierten Wirtsbaumvolatilen wahrscheinlich macht (Bakke und Kvamme 1981, Schroeder 2003). Zhang und Schlyter (2010) konnten darüber hinaus nachweisen, dass *T. formicarius* nicht nur Wirtsbaumvolatile wahrnehmen kann, sondern auch Volatile von Bäumen welche von seinen Beutearten nicht befallen werden, und die möglicherweise einen Anflug von *T. formicarius* in nicht geeignete Bestände reduzieren.

Neben dem attraktiven Volatilmuster eines Wirtsbaumes, welches die Primärattraktion der Borkenkäfer induziert, können jedoch auch spezifische durch den Fraß der Borkenkäfer am Wirtsbaum produzierte Volatile emittiert (HIPV's) werden, welche auch kairomonale Wirkungen auf Prädatoren induzieren könnten (Mumm und Dicke 2010).

Die Ausführungen machen deutlich, dass mit der Detektion von Baumvolatilen über die *Thanasimus*-Antenne Semiochemikalien identifiziert werden können, welche attraktiv auf diesen wirken bzw. bei der Beutelokalisierung genutzt werden. Zudem lassen derartige Substanzen auch eine Bedeutung bei der Primärattraktion der Borkenkäfer am Wirtsbaum vermuten.

Auch weitere Borkenkäferprädatoren wie beispielsweise *N. elongatum* und die Rindenglanzkäfer lokalisieren ihre Beute über von den Beuteindividuen produzierte Pheromone und teilweise über von deren Wirtsbäumen emittierte Baumvolatile (Baader 1989, Klimetzek et al. 1989, Schroeder und Lindelöw 1989, Kubisz 1992, Schroeder 1992, Baier 1994). Aus den Volatilmustern der Proben wurden daher, auch unabhängig von einer erfassten Reaktion der *Thanasimus*-Antenne, auffällige Verdachtssubstanzen abgeleitet, die in weiteren Räuber-Beute-Interaktionen verhaltensmodifizierend wirken könnten.

5.3.1 IDENTIFIZIERTE SEMIOCHEMIKALIEN DER ROT-BUCHE MIT UND OHNE BORKENKÄFERBESATZ

Eine potentielle Beuteart für *T. formicarius* im Rot-Buchen-Habitat ist der Nutzholzborkenkäfer *T. domesticum*. Diese Räuber-Beute-Beziehungen wurden bislang von mehreren Autoren vermutet (Warzée und Grégoire 2003, Bader und Petercord 2004, Petercord 2008). Analog zu Holighaus und Schütz (2006) besitzt *T. domesticum* bei eingeschlagenen Rot-Buchen-Hölzern eine Präferenz für länger lagerndes Rot-Buchenholz, welches sich in beginnender Zersetzung befindet. In diesen Zersetzungsstadien, welche durch Gärungsprozesse und beginnende Pilzbesiedlung gekennzeichnet sind, werden

höhere Mengen an Aldehyden und Phenolen von den Rot-Buchen-Stämmen emittiert, die neben Ethanol möglicherweise eine Primärbesiedlung von *T. domesticum* an den liegenden Stämmen induzieren könnten (Holighaus und Schütz 2006). Wenn *T. formicarius* tatsächlich als natürlicher Gegenspieler von *T. domesticum* auftritt, dann müsste dieser neben dem für *T. domesticum* beschriebenen Pheromon Lineatin (Payne 1983, Tømmerås 1988, Petercord 2008), vermutlich auch von Volatilen der Rot-Buche aggregiert werden, welche die Primärbesiedlung von *T. domesticum* an Buchenstämmen induzieren. Bei den im Versuchsjahr 2010 beprobten Buchenstämmen mussten daher vor allem bei den älteren Stammteilen attraktive Volatile für *T. formicarius* bzw. *T. domesticum* vermutet werden. Wenngleich aus den Untersuchungen von Holighaus und Schütz 2006 eine sehr hohe Heterogenität der physiologischen Alterung eines eingeschlagenen Buchenstammes hervorgeht, so werden die Anteile optimaler Brutbedingungen für *T. domesticum* am Buchenstamm mit steigendem Alter zunehmen.

Erfasste Semiochemikalien aus den Rot-Buchenstammstücken des Einschlagterminversuches

Aus den GC/MS-EAD-Analysen der eingeschlagenen Rot-Buchenstämme von April und August 2010 wurden grundsätzlich verschiedene Volatilmuster nachgewiesen, was unter Umständen auf Probleme bei der Probenahme zurückgeführt werden kann. Eine Diskussion der Volatilmuster zwischen den physiologisch unterschiedlich gealterten Probestammstücken soll daher an dieser Stelle nicht erfolgen. Die Ausschläge der *Thanasimus*-Antenne geben dennoch Hinweis darauf, welche Semiochemikalien der Ameisenbunkäfer im Rot-Buchenhabitat nutzt, um potentielle Beuteindividuen aufzuspüren. Eine erhöhte Anzahl an Ausschlägen der *Thanasimus*-Antenne speziell auf Semiochemikalien aus älteren Buchenstämmen konnte nicht erfasst werden.

Die häufigsten EAD Reaktionen zeigte *T. formicarius* auf den Alkohol 3-Penten-2-ol, welches an ein und vier Monate alten Buchenstammstücken nachgewiesen wurde. Der relative Anteil des Alkohols am Probevolumen war jedoch an den einen Monat alten Stammstücken tendenziell höher als an den vier Monate alten Stammstücken. Auch Zhang et al. (2012) wiesen das 3-Penten-2-ol als Volatil in der Rinde von Laubbaumarten (*Populus tremula* L., *Betula pendula* Roth. und *Betula pubescens* Ehrh.) nach. Zudem scheinen jedoch auch Bakterien diesen Alkohol synthetisieren zu können (Schulz et al. 2005). Analog zu Holighaus und Schütz (2006) dienen neben Ethanol weitere verzweigte

und kurzkettige Alkohole der Orientierung von *T. domesticum* zu geeigneten Brutmaterial, was die Antennenreaktion von *T. formicarius* auf das 3-Penten-2-ol erklären könnte.

Das Keton 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon (Dihydroisophoron) wurde an Buchenstammstücken unabhängig von deren Einschlagszeitpunkt nachgewiesen und induzierte mehrfache Antennenreaktion bei *T. formicarius*. Möglicherweise ist das Dihydroisophoron durch Hydrierung aus dem Isophoron hervorgegangen. Das Isophoron ist beispielsweise als volatiler Bestandteil bei weiblichen *Ips typographus* (L.) bekannt, sowie als Spurenbestandteil im Abwehrsekret von Heuschreckenarten (Francke 1991). Francke (1991) beschreibt zudem, dass derartige terpenoide Cyclohexanon-Derivate weitverbreitet als Pflanzenbestandteile vorzufinden sind und auch von Mikroorganismen gebildet werden können. Das nachgewiesene 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon könnte jedoch auch pilzlichen Ursprungs sein und damit ein Weiser für die sektorielle Verpilzung der beprobten Rot-Buchen-Stämme. In den Untersuchungen von Pyysalo (1976) wurde das Keton beispielsweise als volatiler Bestandteil von *Lactarius trivialis* (Fr.) erfasst.

Weitere Antennenreaktionen des Ameisenbunkäfers, wenngleich als einmalige Ausschläge, konnten auf die von der Rot-Buche emittierten Terpene beta-Myrcen, beta-Terpinen, alpha-Cubeben und beta-Caryophyllen beobachtet werden. Darüber hinaus reagierte die *Thanasimus*-Antenne auf 2-methyl-3-Butyn-2-ol, Decanal, Anisol, 2-Undecanon und diverse Benzene.

Für das beta-Myrcen konnte kein Nachweis in Abhängigkeit vom Einschlagszeitpunkt des Buchenstammes beobachtet werden. Das Terpen wurde sowohl in frisch eingeschlagenen als auch in vor Monaten eingeschlagenen Rot-Buchen-Hölzern nachgewiesen. Auch in den Untersuchungen von Holzke et al. (2006) wurde beta-Myrcen als VOC von Rot-Buchen-Zweigen emittiert. Das beta-Myrcen ist jedoch auch als volatiler Bestandteil im Nadelholz (z.B. *Pinus sylvestris*, *Picea abies*) bekannt (Führer et al. 1991, Byers et al. 2000) und wird bei einigen Borkenkäferarten als Ausgangssubstanz in der de-novo-Pheromonproduktion verwendet bzw. ist an dieser beteiligt (Hughes 1974, Harring 1978, Seybold et al. 1995). Auch von *Betula pendula* konnte emittiertes Myrcen nachgewiesen werden (Byers et al. 2000). Wenngleich es als volatiles Terpen in vielen Pflanzenarten enthalten ist, so dürften sich die Abgaberaten des Volatils artspezifisch unterscheiden. Monoterpene, wie Myrcen, erzeugen für diverse Borkenkäferarten der Gattungen *Dendroctonus* und *Ips* einen verstärkten Anflug auf ihre Aggregationspheromone (Byers et al. 2000). Jedoch belegen Untersuchungen von Reddemann und Schopf (1996), dass auch hemmende Wirkungen auf

Vertreter der Gattung *Ips* nachgewiesen werden können. Die Bedeutung des beta-Myrcen für Wirtsfindungsprozesse und Pheromonproduktion der im Rot-Buchen-Habitat lebenden Borkenkäfer sowie dessen Einfluss auf die Beutelokalisierung durch den Ameisenbunkkäfer sind bislang nicht bekannt. Auf den nordamerikanischen *Thanasimus dubius* (F.) bewirkt die Zugabe von Myrcen zum kairomonalen Ipsdienol eine reduzierte Attraktivität (Erbilgin und Raffa 2001). Etwas widersprüchlich zur erfassten Antennenreaktion von *T. formicarius* auf das beta-Myrcen sind die Ergebnisse von Tømmerås (1985), der auf der *T. formicarius*-Antenne keine Sensillen für das Myrcen nachweisen konnte.

Das Terpen beta-Terpinen wurde in geringen relativen Anteilen am Gesamtprobevolumen vor allem an älteren Rot-Buchenstämmen der Beprobung im August 2010 nachgewiesen. Hofstetter et al. (2005) wiesen das beta-Terpinen im Kiefernharz nach und beschreiben die dadurch erzeugte sinkende Vitalität mutualistischer Pilze. Auch Strom et al. (1994) beschreiben eine sinkende Attraktivität des Wirtsbaums beim Nachweis von Terpinen im Harz der Bäume und vermuten als Ursache die negative Wirkungen auf mit Borkenkäfern vergesellschaftete Pilze.

Das Sesquiterpen alpha-Cubeben wurde analog zum beta-Terpinen überwiegend von länger lagernden Rot-Buchen-Stämmen emittiert. Dabei nahm der relative Anteil des alpha-Cubeben am Gesamtprobevolumen tendenziell mit längerer Lagerung des Rot-Buchenholzes zu. Dies deckt sich sehr gut mit den Ergebnissen von Thakeow et al. (2006), die das Cubeben an Buchenholz besiedelt mit dem Pilz *Tyromyces placenta* (Fr.) (Syn. *Poria placenta*) nachweisen konnten. Darüber hinaus konnten Thakeow et al. (2006) nachweisen, dass verschiedene Pilze an Buchenholz sehr spezifische Volatilmuster produzieren und folgerten daraus die Möglichkeit der an Buche lebenden Insekten, ihren geeigneten Wirtspilz zu finden bzw. geeignete Zersetzungsstadien am Buchenholz zu lokalisieren. Auch Joó et al. (2010) konnten Cubeben als emittiertes Volatil an *Fagus sylvatica* nachweisen – interpretierten es jedoch als von Herbivoren induziertes Volatil.

Das an den Rot-Buchen-Stämmen erfasste Sesquiterpen beta-Caryophyllen wurde unspezifisch vom Alter der eingeschlagenen Buchen erfasst. Auch Tollsten und Müller (1996) konnten das beta-Caryophyllen an *Fagus sylvatica* nachweisen, beprobten dazu allerdings die Blätter der Rot-Buche. Faccoli et al. (2008) identifizierten das beta-Caryophyllen als Volatil von *Pinus pinea* (L.) und erfassten es als EAD aktiv für den an *P. pinea* vorkommenden *Tomicus destruens* (L.). Darüber hinaus ist das beta-Caryophyllen auch als Blütenduftstoff bekannt und wird beispielsweise von der Sonnenblume emittiert

(Schuh et al. 1997). Aber auch Maispflanzen emittieren das beta-Caryophyllen insbesondere als Abwehrvolatil (Rasmann et al. 2005). Zudem beobachteten Hong und Sommer (2006), dass durch das beta-Caryophyllen räuberische Nematoden der Gattung *Pristionchus* an die Maispflanzen aggregiert werden. Aber auch auf räuberische Coleoptera ist eine aggregierende Wirkung des beta-Caryophyllens bekannt. Beispielsweise wiesen Alhmedi et al. (2010) nach, dass der Asiatische Marienkäfer (*Harmonia axyridis* Pall.) durch das Sesquiterpen angelockt wird.

Der Alkohol 2-methyl-3-Butyn-2-ol (Syn. 2-Methyl-3-butin-2-ol) wurde an Rot-Buche unspezifisch vom Einschlagsalter erfasst, schien jedoch an frisch eingeschlagenen Stämmen in höheren relativen Anteilen präsent zu sein. Bislang ist das 2-methyl-3-Butyn-2-ol aus Experimenten mit dem Buchdrucker (*I. typographus*) bekannt. Der Alkohol zählt zwar nicht zum natürlichen Pheromonbouquet von *I. typographus*, kann nach Eidmann und Weslien (1986) den Pheromonbestandteil 2-methyl-3-Buten-2-ol aber erfolgreich substituieren. Allerdings widerlegten Bakke und Vité (1987) diese Erkenntnis mit wiederholenden Experimenten, die einen deutlich geringeren Anflug der Buchdrucker nachwiesen, wenn das 2-methyl-3-Buten-2-ol mit dem 2-Methyl-3-butyn-2-ol substituiert wurde. Ein Vorkommen des 2-Methyl-3-butyn-2-ol als Pflanzenvolatil ist bislang nicht bekannt.

In frisch eingeschlagenen Hölzern wurde zudem das Aldehyd Decanal erfasst und eine Antennenreaktion von *T. formicarius* darauf beobachtet. Auch Holighaus und Schütz (2006) fanden das Decanal an frisch eingeschlagenen Rot-Buchen und beschrieben es als generellen Alterungsmarker, welcher mit einsetzendem Zellsterben in Verbindung gebracht werden kann. Darüber hinaus konnten Holighaus und Schütz (2006) mit dem EAD eine Antennenreaktion von *T. domesticum* erfassen, was eine Bedeutung des Aldehydes in der Lokalisation von Brutraum wahrscheinlich macht. Von Ebel et al. (1995) wurde das Decanal auch an durch Trockenheit gestressten Laubbäumen (*Malus domestica* Borkh.) nachgewiesen.

Auch das Anisol wurde von frisch eingeschlagenen Rot-Buchen-Stämmen emittiert. Als Volatil der Rot-Buche wurde es bislang nicht beschrieben. In den Untersuchungen von Vrkočová et al. (2000) wurde es jedoch von *Quercus robur* emittiert, nachdem die Zweige durch *S. intricatus* besiedelt worden waren. Aber auch ein pilzbürtiger Ursprung des Anisols wäre anzunehmen. Entsprechend beschreiben Mason et al. (2010) das Anisol als

mikrobielles Volatil (MVOC), welches vom Schwarzschildmispilz *Stachybotrys chartarum* produziert und emittiert wird.

Das Keton 2-Undecanon wurde ausschließlich an Rot-Buchen-Stämmen erfasst, deren Einschlagszeitpunkt zwischen vier und fünf Monate zurück lag. McDowell et al. (1988) identifizierten das Keton aus dem afrikanischen Strauch *Commiphora rostrata* (Engl.) und vermutete die Bedeutung der Substanz zur Abwehr von Fressfeinden. Zudem wurde das 2-Undecanon am Olivenbaum (*Olea europea* L.) nach dem Befall mit dem Olivenborkenkäfer (*Phloeotribus scarabaeoides* Bern.) nachgewiesen (Szauman-Szumsuki et al. 1998). Die Bedeutung des Ketons im Rot-Buchen-Habitat ist bislang nicht bekannt.

Erfasste Semiochemikalien aus Rot-Buchenstammstücken mit Borkenkäferbesatz

Im **Bohrmehl von *T. domesticum*** waren die Substanzen „alpha-Pinen“⁴ und Hexanal mit dem höchsten relativen Anteil am Probevolumen enthalten. Das Lineatin, als Aggregationspheromon von *T. domesticum* (Ramisch und Bombosch 1986) konnte nicht nachgewiesen werden. Auch Moukhtar et al. (2005) und Holzke et al. (2006) beschreiben alpha-Pinen als natürliches Volatil der Rot-Buche. Die Rot-Buche muss sogar als sehr starker Monoterpen-Emitter betrachtet werden (Thakeow et al. 2007). Möglicherweise wird jedoch, analog zum Nadelholz, beim Einbohren von *T. domesticum* in die Buchenrinde die Abgaberate des alpha-Pinen zur Abwehr des Borkenkäfer-Pilzkomplexes erhöht (Cook und Hain 1986, Miller et al. 1986, Paine et al. 1988, Raffa 1991). Die Untersuchungen von Klimetzek et al. (1980) sowie Paiva und Kiesel (1985) beschreiben darüber hinaus, dass das alpha-Pinen den Anflug von *T. domesticum* auf sein Aggregationspheromon hemmt. Entsprechend handelt es sich beim in den Bohrmehlproben erfassten „alpha-Pinen“ unter Umständen um ein von der Rot-Buche infolge des Einbohrens von *T. domesticum* induziertes Abwehrvolatil. Darüber hinaus ist beispielsweise für den nordamerikanischen *Thanasimus dubius* bekannt, dass dieser in Verbindung mit dem Pheromon seiner Beuteart, positiv auf das von den Wirtsbäumen produzierte alpha-Pinen reagiert (Mumm und Hilker 2006). Selbige Reaktion wäre auch für *T. formicarius* im Buchenhabitat zu erwarten. In Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris*) konnte Schroeder (2003) zumindest eine aggregierende Reaktion von *T. formicarius* auf

⁴ Das alpha-Pinen konnte mit dem Standard nicht bestätigt werden – Identifizierung bezieht sich aus Abgleich mit NIST-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2.2); die in den Proben enthaltene Substanz muss jedoch eine große strukturelle Ähnlichkeit mit dem alpha-Pinen haben. Aufgrund der fehlenden abschließenden Identifizierung wird das alpha-Pinen im Folgenden in Anführungszeichen geführt.

das alpha-Pinen nachweisen. Der zweite Hauptbestandteil der Bohrmehlprobe – das Hexanal – ist als typischer Grünblattduftstoff bekannt (Ruther 2000), kann jedoch auch in mikrobiellen Prozessen gebildet werden (Kesselmeier und Staudt 1999). Auch Risholm-Sundman et al. (1998) konnten eine Emission von Hexanal von *Fagus sylvatica* nachweisen, fanden das Aldehyd aber auch an Eiche, Birke, Kiefer und Fichte. Gebildet wird das Hexanal durch Oxidation ungesättigter Fettsäuren (Risholm-Sundman et al. 1998). Auch Holighaus und Schütz (2006) konnten Hexanal am Buchenstamm nachweisen und führen dessen Bildung auf die physiologische Zellalterung zurück. Darüber hinaus wurde in den Bohrmehlproben von *T. domesticum* Essigsäure erfasst, jedoch keine Reaktion der Ameisenbuntkäferantenne darauf verzeichnet. Dies ist deckend zu den Ergebnissen von Risholm-Sundman et al. (1998) und Kesselmeier und Staudt (1999), die ebenfalls Emissionen von Essigsäure aus Buchenholz erfassen konnten. Auch Jung und Roffael (2002) stellten in Buchenspänen höhere Mengenanteile an Essigsäure fest, als in Spänen von Fichte und Kiefer – der höchste Anteil an Essigsäure war jedoch in Eichenspänen zu finden. Die Anteile der Emissionen von flüchtigen Säuren aus dem Holz sind vor allem bei hoher Temperatur und Luftfeuchte – also in einem für Pilzwachstum optimalen Milieu – am höchsten (Roffael 1989). Darüber hinaus beschreiben Risholm-Sundman et al. (1998), dass ein höherer Anteil von Essigsäure und Hexanal in Harthölzern aufzufinden ist, als in Weichhölzern bzw. Harthölzer durch hohe Emissionen von Essigsäure und Nadelhölzer durch hohe Emissionen von Terpenen charakterisiert werden können. Die Essigsäure wird im Holz durch Hydrolyse der Acetylgruppen der Hemicellulose gebildet (Risholm-Sundman et al. 1998) und ist ihrerseits in dem vom Lynen (1964) beschriebenen Biosyntheseweg an der Bildung von Terpenen beteiligt. Wenzel (2006) beschreibt darüber hinaus das Vorkommen von Essigsäure in Baumsäften und deren Bildung beim oxidativen Abbau von Zucker.

Auch das Keton Acetophenon wurde im Bohrmehl von *T. domesticum* erfasst, ist im Rot-Buchen-Habitat bislang jedoch als Teil des Aggregationspheromons von *T. bicolor* beschrieben (Kohnle et al. 1987). Dass Acetophenon auch in krautigen Pflanzen abundant sein kann, zeigen die Untersuchungen von Tapia et al. (2007). Darüber hinaus ist Acetophenon als Abwehrsekret bei Insekten bekannt (Tschuch 2000).

In **Rot-Buchenholz**, welches mit *X. germanus* besiedelt war, wurden sehr hohe relative Anteile von Essigsäure erfasst. Aber auch der relative Anteil des Ethanols war an den mit *X. germanus* besiedelten Rot-Buchen-Hölzern im Vergleich zu den Hölzern ohne *X.*

germanus deutlich erhöht. Das Ethanol ist als Kairomon für vor allem sekundäre Borkenkäferarten bekannt, die gestresste, trocknende oder absterbende Bäume befallen (Klimetzek et al. 1986, Kelsey 2001 zitiert in Ranger et al. 2012). Für *X. germanus* ist es bislang das wichtigste bekannte Kairomon in der Wirtsbaumfindung (Klimetzek et al. 1986, Graf und Manser 2000, Ranger et al. 2012). Zudem scheint die Besiedlung von *X. germanus* am Rot-Buchenholz die emittierte Menge an Ethanol deutlich zu verstärken. In den Überflutungsversuchen von Ranger et al. (2012) mit *Cornus florida* (L.) wird deutlich, dass in Stress geratene Bäume neben Ethanol auch eine höhere Menge an Essigsäure emittieren – beides Semiochemikalien, die auch vom Buchenholz emittiert werden und bei deren Befall mit *X. germanus* in höheren Raten abgegeben werden. Von der Ameisenbuntkäferantenne, als biologischer Detektor in den eigenen Untersuchungen, wurde ein Ausschlag auf das Ethanol, jedoch nicht auf die Essigsäure erfasst. Die Wahrnehmung des Ethanols durch *T. formicarius* wird auch von Schroeder und Lindelöw (1989) beschrieben. Auch auf das „3-Hydroxy-2-butanon“⁵ wurde eine Antennenreaktion von *T. formicarius* beobachtet. Die relativen Anteile des Ketons waren an mit *X. germanus* besiedeltem Rot-Buchenholz ebenfalls erhöht. Das Keton kann sowohl als Volatil in Pflanzen vorkommen, als auch als Zwischenprodukt des Stoffwechsels einiger Bakterien gebildet werden (Grossauer 2006). Beispielsweise beschreiben Barata et al. (2002) das Vorkommen in *Eucalyptus globulus* (Labill.) sowie in *Olea europaeae* und erfassten eine Wahrnehmung des Ketons durch den Bockkäfer *Phoracantha semipunctata* (F.). Nach Leroy et al. (2012) ist das Keton jedoch auch für den Asiatischen Marienkäfer (*Harmonia axyridis* Pall.) ein attraktives Volatil von dessen Wirtspflanzen. Darüber hinaus ist das 3-Hydroxy-2-butanon auch als Pheromon bekannt und wurde von Kou et al. (2006) als Pheromonbestandteil bei der Grauschabe *Nauphoeta cinera* (Oliver) beschrieben; fungiert darüber hinaus aber auch bei den Borkenkäferarten *Pseudips orientalis* (Wood & Yin) (Zhang et al. 2011), *Ips nitidus* (Egg.) und *Ips shangrila* (Cognato & Sun) (Zhang et al. 2009) als Pheromonbestandteil. Den bisherigen Literaturangaben zu Folge scheint das 3-Hydroxy-2-butanon vor allem im asiatischen Raum als Semiochemikalie zu fungieren. Auch *X. germanus* hat seinen Ursprung im ostasiatischen Raum, Japan, Korea und Taiwan (Graf und Manser 2000), was durchaus die Annahme gestattet, dass es sich bei „3-

⁵ Das 3-Hydroxy-2-butanon konnte mit dem Standard nicht bestätigt werden – Identifizierung bezieht sich aus Abgleich mit NIST-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2.2); die in den Proben enthaltene Substanz muss jedoch eine große strukturelle Ähnlichkeit mit dem 3-Hydroxy-2-butanon haben. Aufgrund der fehlenden abschließenden Identifizierung wird das 3-Hydroxy-2-butanon im Folgenden in Anführungszeichen geführt.

Hydroxy-2-butanon“ um eine Pheromonkomponente von *X. germanus* handelt. Um dies zu prüfen, sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig.

Ein weiteres Keton, das eine Reaktion der *Thanasimus*-Antenne induzierte und welches im Vergleich zu unbesiedeltem Rot-Buchenholz im mit *X. germanus* besiedelten Holz mit höheren relativen Anteilen erfasst werden konnte, war 4-Methyl-3-heptanon. Das Keton konnte von Blight et al. (1983) als Pheromonkomponente bei *Scolytus scolytus* (F.) und *Scolytus multistriatus* (Marsh.) beschrieben werden. Darüber hinaus ist das Keton auch als Alarmpheromon bei Ameisen bekannt (Moser et al. 1968). Weitere Antennenreaktionen der *Thanasimus*-Antenne wurden auf die Substanzen di-epi-alpha-Cedren und 2,3-Butandiol beobachtet. Das Sesquiterpen di-epi-alpha-Cedren wurde sowohl von besiedeltem, als auch von nicht besiedeltem Rot-Buchenholz in geringen relativen Anteilen emittiert und dürfte daher als Volatil der Rot-Buche interpretiert werden. Auch Thaeckow et al. (2006) konnten Cedren an Buchenholz infiziert mit *Gloeophyllum trabeum* (Murrill) nachweisen. Der Alkohol „2,3-Butandiol“⁶ wurde hingegen nur an mit *X. germanus* besiedeltem Rot-Buchenholz erfasst. Aufgrund der Ergebnisse von Holighaus und Schütz (2006), die das 2,3-Butandiol an Rot-Buche ohne Borkenkäferbefall in Zerfallsstadien mit beginnender Gärung nachwiesen, scheint es jedoch baumbürtigen Ursprunges zu sein. Zudem wurde es von der Rot-Buche in Stadien emittiert, welche in der Wirtswahl von *T. domesticum* präferiert werden (Holighaus und Schütz 2006).

Rot-Buchenholz, welches **mit *T. bicolor* besiedelt** war, konnte durch einen sehr hohen relativen Anteil einer unidentifizierten Substanz bei einer Retentionszeit von 17,288 Minuten charakterisiert werden. Dass durch Kohnle et al. (1987) und Francke et al. (1996) identifizierte artspezifische Aggregationspheromon Bicolorin konnte nicht nachgewiesen werden. Reaktionen der *Thanasimus*-Antenne wurden auf das Keton 4-Methyl-3-heptanon erfasst, dessen relativer Anteil an besiedelten Hölzern leicht erhöht war. Die bisherigen Erkenntnisse zu diesem Keton sind im vorherigen Abschnitt erläutert. Auch auf das beta-Cedren wurde eine Reaktion der Ameisenbuntkäferantenne erfasst und leicht erhöhte relative Anteile an mit *T. bicolor* besiedeltem Buchenholz festgestellt. Selbige Tendenz war beim relativen Anteil des alpha-Cedren und des beta-Caryophyllen zu beobachten.

⁶ Das 2,3-Butandiol konnte mit dem Standard nicht bestätigt werden – Identifizierung bezieht sich aus Abgleich mit NIST-Datenbank (vgl. Kapitel 5.2.2); die in den Proben enthaltene Substanz muss jedoch eine große strukturelle Ähnlichkeit mit dem 2,3-Butandiol haben. Aufgrund der fehlenden abschließenden Identifizierung wird das 2,3-Butandiol im Folgenden in Anführungszeichen geführt.

Dieser Anstieg des relativen Anteils am Probevolumen der letztgenannten Sesquiterpene könnte als Abwehrreaktion der Rot-Buchen-Rinde auf den Fraß durch *T. bicolor* zurückgeführt werden (Holopainen und Gershenzon 2010).

5.3.2 IDENTIFIZIERTE SEMIOCHEMIKALIEN DER EICHEN MIT UND OHNE BORKENKÄFERBESATZ

Als potentielle Beutearart für *T. formicarius* im Eichen-Habitat kann der Eichensplinkkäfer (*S. intricatus*) vermutet werden (Warzée und Grégoire 2003). Aber auch *T. signatum* dürfte dem natürlichen Beutespektrum des Ameisenbunkäfers zuzuordnen sein (Warzée und Grégoire 2003). Bei einer angenommenen synergistischen Wirkung von Wirtsbaumvolatilen auf die Kairomone der Beute (Schroeder und Lindelöw 1989, Erbilgin et al. 2003, Schroeder 2003, Hulcr et al. 2006), müsste *T. formicarius* Volatile aus allen physiologischen Alterungsstadien der Eiche wahrnehmen können. Ein Grund dafür dürfte die Präferenz von *S. intricatus* für relativ frisch eingeschlagenes Eichenholz (vgl. Kapitel 4.3.3) und von *T. signatum*, aufgrund einer ähnlichen Biologie wie *T. domesticum*, für länger lagerndes Eichenholz sein (Holighaus und Schütz 2006).

Erfasste Semiochemikalien aus den Eichenstammstücken des Einschlagterminversuches

Aus den GC/MS-EAD-Analysen der eingeschlagenen Eichenstämme von April und August 2010 wurden grundsätzlich verschiedene Volatilmuster nachgewiesen, was unter Umständen auf Probleme bei der Probenahme zurückgeführt werden kann. Eine Diskussion der Volatilmuster zwischen den physiologisch unterschiedlich gealterten Probestammstücken soll daher an dieser Stelle nicht erfolgen. Die Ausschläge der *Thanasimus*-Antenne geben dennoch Hinweis darauf, welche Semiochemikalien der Ameisenbunkäfer im Eichenhabitat nutzt, um potentielle Beuteindividuen aufzuspüren.

Bei der Beprobung von 2010 zeigte *T. formicarius* die häufigsten Antennenreaktionen auf das an den vier Monate lagernden Eichen erfasste beta-Pinen, welches den höchsten relativen Anteil am Probevolumen einnahm. Dies widerspricht den Ergebnissen von Vrkocová et al. (2000), die nur einen sehr geringen Anteil an Monoterpenen aus Eichenrinde feststellen konnten. Aber auch Jordão et al. 2006 identifizierten nach einer Wärmebehandlung von Eichenhackschnitzeln höhere Anteile von alpha-Pinen. Die Reaktion des Ameisenbunkäfers auf das beta-Pinen ist jedoch kongruent zu den Ergebnissen von Rudinsky et al. (1971). Analog zu Risholm-Sundman et al. (1998) wurde

von den Eichenstämmen auch Hexanal erfasst, dessen relativer Anteil an den frischeren Stämmen am höchsten war. Darüber hinaus zeigte *T. formicarius* auf das Aldehyd Antennenreaktion. Eine weitere Reaktion der *Thanasimus*-Antenne wurde auf das (Z)-3-Hexen-1-ol-acetat (Syn. (Z)-3-hexenyl acetat) erfasst, welches nur an den länger lagernden Eichenstämmen nachgewiesen werden konnte. Das (Z)-3-Hexen-1-ol-acetat wurde von Ruther et al. (2002) zudem an Blättern von *Quercus rubra* (L.) nachgewiesen, wobei die relativen Anteile mit zunehmendem Alter der Blattverletzung anstiegen. Auch von der nordamerikanischen *Quercus lobata* (Neé) wurde die Emission von (Z)-3-Hexen-1-ol-acetat nachgewiesen (Arey et al. 1991). Darüber hinaus wurde das Acetat in den Knospen von *Quercus robur* als dominierender Bestandteil erfasst (Vrkocová et al. 2000). Zhang et al. (1999) beschreiben das (Z)-3-Hexen-1-ol-acetat darüber hinaus auch als Grünblattduftstoff von *Betula pubescens*, *Sambucus nigra* (L.) und *Populus tremula*.

Ein von der Beprobung von 2010 vollständig abweichendes Volatilmuster wurde bei den GC-MS/EAD-Analysen 2011 beobachtet, welches überwiegend aus Aromaten und Terpenen zusammengesetzt war. Die häufigsten Antworten der *Thanasimus*-Antenne wurden auf die Substanzen 1-propyldecyl-Benzen (Syn. 4-phenyltridecane) und 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon erfasst. Die möglichen Ursprünge des 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon wurden bereits in Kapitel 5.3.1 aufgezeigt. Darüber hinaus wurden einzelne Antennenausschläge auf die Terpene (+)-beta-Cedren, beta-Himachalen und (+)-Cuparen erfasst. Die beiden erstgenannten waren in den Proben mit höheren relativen Anteilen an frisch eingeschlagenen Eichen enthalten, das (+)-Cuparen wurde hingegen mit den höchsten relativen Anteilen an Eichen erfasst, die vor fünf Monaten eingeschlagen wurden. Auch in den Analysen von Vrkocová et al. (2000) konnte eine Vielzahl an Terpenen in den Rindenproben von *Quercus robur* nachgewiesen werden. Darüber hinaus lässt sich aus den Ergebnissen von Vrkocová et al. (2000) ableiten, dass Verletzungen der Eichen-Rinde vermutlich die Bildung von Monoterpenen und Sesquiterpenen induzieren. In Untersuchungen von Schnitzler et al. (2004) wurde hingegen deutlich, dass die Europäischen Eichen (z. B. *Quercus petraea* Matt., *Quercus robur*) stärkere Isopren-Emitter sind – die mediterranen Eichen (z. B. *Quercus ilex* L.) hingegen stärker Terpene emittieren. Nach der Isoprenregel sind Terpene zwar aus Isoprenbausteinen aufgebaut, werden in der Pflanze jedoch nicht direkt aus diesen gebildet (Sharkey und Yeh 2001). Isoprenemissionen an Blättern von Pflanzen können nach Loreto und Sharkey (1993) zudem als Indikator für mechanische Verletzungen der Pflanze gedeutet werden, die zu einer reduzierten Abgabe

von Isopren führen. Durch Stress oder mechanische Verletzung wird im Gegenzug jedoch die abgegebene Menge an Monoterpenen erhöht (Tingey et al. 1991 zitiert in Loreto und Sharkey 1993, Steinbrecher et al. 1997, Owen und Peñuelas 2005). Ergebnisse von Kegge und Pierik (2010) verdeutlichen zudem, dass beispielweise auch milder Wasserstress an Korkeiche erhöhte Abgaberraten von Monoterpenen induzieren kann. In den eigenen Untersuchungen sowie in den Untersuchungen von Vrkocová et al. (2000) wurde keine Emission von Isopren erfasst. Eine mögliche Ursache hierfür dürfte die stärkere Emission des Isoprens aus den Blättern sein (Steinbrecher et al. 1997), die nicht Gegenstand der Analysen waren.

Erfasste Semiochemikalien aus Eichenstammstücken mit Borkenkäferbesatz

In den Analysen von mit *S. intricatus* besiedelten Eichenstücken und unbesiedelten Eichenstücken wurden fast ausschließlich Terpene erfasst. Zudem konnten in der stofflichen Zusammensetzung zwischen besiedeltem und unbesiedeltem Eichenholz keine Unterschiede festgestellt, wohl aber in den quantitativen Anteilen der einzelnen Substanzen. Entsprechend wurden an mit *S. intricatus* besiedeltem Eichenholz beispielsweise höhere relative Anteile der Sesquiterpene alpha-Copaen, alpha-Zingiberen, alpha-trans-Bergamoten, Alloaromadendren, gamma-Muurolen, alpha-Muurolen, beta-Caryophyllen und alpha Curcumen nachgewiesen. Auch Vrkocová et al. (2000) konnten neben weiteren Sesquiterpenen einen Anstieg des alpha-Copaen, alpha-trans-Bergamoten, beta-Caryophyllen und des alpha-Muurolen an mit *S. intricatus* besiedelten Eichenzweigen nachweisen. Der Anstieg in der relativen Abgabemenge der Sesquiterpene lässt sich analog zu Mumm und Hilker (2006) sowie Holopainen und Gershenzon (2010) vermutlich auf den Fraß der Herbivoren (*S. intricatus*) an den Eichenhölzern zurückführen. Auch das Sesquiterpen alpha-Cubeben wurde aus Eichenholz emittiert und ist beispielsweise bekannter Bestandteil in der Aggregation von *S. multistriatus* (Pearce et al. 1975). In den Untersuchungen von Vrkocová et al. (2000) wurde das alpha-Cubeben hingegen nur in den Blättern nachgewiesen.

Die Monoterpene beta-Myrcen und d-Limonen wurden an den Eichenhölzern mit *S. intricatus* entgegen den Ergebnissen von Vrkocová et al. (2000) in niedrigeren relativen Anteilen emittiert als an Eichenhölzern ohne Borkenkäferbesatz. Dabei konnte eine biologische Aktivität der *Thanasimus*-Antenne auf das d-Limonen nachgewiesen werden. Auch Rudinsky et al. 1971 vermutete eine Bedeutung des d-Limonen in der Lokalisierung von *I. typographus* durch *T. formicarius*. In Untersuchungen von Chénier und Philogène

(1988) konnte auch von der nordamerikanischen Buntkäferart *T. dubius* eine Aggregation durch Monoterpene nachgewiesen werden. Die Bedeutung beider Monoterpene in der Wirtswahl von *S. intricatus* ist nicht bekannt. Macías-Sámano et al. (1998) konnten jedoch zumindest bei *Scolytus ventralis* (LeConte) eine olfaktorische Wahrnehmung beider Substanzen bei GC-EAD-Analysen ermitteln. Bei der an *Abies grandis* (Lindl.) siedelnden Splintkäferart *Scolytus ventralis* bewirkte das Limonen jedoch hemmende Reaktionen (Raffa et al. 1985). Darüber hinaus ist auf einige Borkenkäferarten (z. B. *Dendroctonus frontalis* Zimm., *D. brevicomis* Erich., *D. ponderosae* Hopk.) eine toxische Wirkung des Limonens bekannt (Ibrahim et al. 2001).

Neben den Volatilen aus unbesiedeltem Eichenholz, wurden an mit *S. intricatus* besiedeltem Eichenholz keine weiteren Substanzen erfasst. Entsprechend konnten keine Pheromonbestandteile von *S. intricatus* nachgewiesen werden. Vergleichbare Ergebnisse erzielten auch Vrkocová et al. (2000) und Holopainen und Gershenson (2010). Letztere vermuten, dass *S. intricatus* kein geschlechterspezifisches Aggregationspheromon besitzt und überwiegend durch Wirtsbaumvolatile aggregiert wird. Wenngleich Holopainen und Gershenson (2010) von Käfern produziertes Bohrmehl in Verhaltensversuchen als attraktiver klassifizieren konnten als mechanisch produziertes Sägemehl. Darüber hinaus lassen die Erkenntnisse von Vrkocová et al. (2003) die Substanzen 4-Methyl-3-heptanol und 4-Methyl-3-heptanon als Pheromonbestandteile vermuten. Holopainen und Gershenson (2010) beschreiben die Herkunft beider Substanzen jedoch als bislang nicht gesichert und vermuten neben der de-novo-Synthese eine Emission der Substanzen vom Wirtsbaum.

Sollte *S. intricatus* wie vermutet überwiegend durch Wirtsbaumvolatile aggregiert werden, dann müsste *T. formicarius*, als dessen potentieller Prädator, ebenso auf diese Wirtsbaumvolatile reagieren, um seine Beute zu lokalisieren. Eine biologische Aktivität für die Ameisenbuntkäferantenne konnte von den Sesquiterpenen alpha-Zingiberen, alpha-trans-Bergamoten, beta-Caryophyllen, Thujopsen, alpha-Caryophyllen (Syn. Humulen), gamma-Muurolen und alpha-Muurolen beobachtet werden. Die häufigsten Antennenreaktionen waren dabei auf Humulen und alpha-trans-Bergamoten zu verzeichnen. Reaktionen von *T. formicarius* auf beide letztgenannte Substanzen sind bislang nicht bekannt. Jedoch konnte auf kairomonale Wirtsbaumvolatile von *S. ventralis*, von dem nach Holopainen und Gershenson (2010) eine ähnliche olfaktorische Kommunikation wie bei *S.*

intricatus angenommen wird, eine positive Reaktion des Ameisenbunkäfers *Thanasimus undulatus* (Say.) nachgewiesen werden (Macías-Sámano et al. 1998).

5.3.3 IDENTIFIZIERTE SEMIOCHEMIKALIEN DER GEMEINEN ESCHEN MIT UND OHNE BORKENKÄFERBESATZ

An Gemeiner Esche kommen die Borkenkäferarten *L. varius* (Gauss 1954, Nakládal und Turčáni 2007, Wehnert und Müller 2011), *H. crenatus* (Gauss 1954, Warzée und Grégoire 2003) und *T. signatum* (Gauss 1954, Warzée und Grégoire 2003) als potentieller Beutetiere für *T. formicarius* in Frage. Bei einer vermuteten synergistischen Wirkung der Wirtsbaumvolatile auf die Kairomone der Beute (Schroeder und Lindelöw 1989, Erbilgin et al. 2003, Schroeder 2003, Hulcr et al. 2006), müsste *T. formicarius* auch von der Gemeinen Esche Volatile aus allen physiologischen Alterungsstadien wahrnehmen können. Ein Grund dafür dürfte die Präferenz von *L. varius* für frisch eingeschlagenes Eschenholz (Rudinsky und Vallo 1978) und von *T. signatum*, aufgrund einer ähnlichen Biologie wie *T. domesticum*, für länger lagerndes Eschenholz sein (Holighaus und Schütz 2006). Aufgrund der polyphagen Lebensweise von *T. signatum* kann dieser an Eichen, Obstgehölzen und Eschen erfolgreich brüten (Henin 2003).

Erfasste Semiochemikalien aus den Eschenstammstücken des Einschlagterminversuches

Auch aus den GC/MS-EAD-Analysen der eingeschlagenen Eschenstämme von April und August 2010 wurden grundsätzlich verschiedene Volatilmuster nachgewiesen, was unter Umständen auf Probleme bei der Probenahme zurückgeführt werden kann. Eine Diskussion der Volatilmuster zwischen den physiologisch unterschiedlich gealterten Probestammstücken soll daher an dieser Stelle nicht erfolgen. Die Ausschläge der *Thanasimus*-Antenne geben dennoch Hinweis darauf, welche Semiochemikalien der Ameisenbunkäfer im Eschenhabitat nutzt, um potentielle Beuteindividuen aufzuspüren.

In den GC-MS-EAD Untersuchungen vom April 2010 wurde eine höhere Anzahl an Substanzen von den frisch eingeschlagenen Eschenstämmen nachgewiesen, als von den seit etwa vier Monate lagernden Stämmen. An den frisch eingeschlagenen Eschenstämmen fanden sich entgegen den länger lagernden Eschenstämmen das Terpen beta-Myrcen, die Aldehyde Hexanal und Nonanal, die Alkohole 2-Octanol und 3-methyl-2-Pentanol, die Aromaten p-Xylen und 1-ethyldecyl-Benzen, sowie das Alkan 3,3-dimethyl-Hexan. Alle

letztgenannten Semiochemikalien lösten bei *T. formicarius* eine Antennenreaktion im EAD aus und könnten daher bei der Lokalisierung seiner vor allem an frischem Holz brütenden Beutart *L. varius* von Bedeutung sein. Die mögliche Herkunft und Bedeutung des beta-Myrcen für Borkenkäfer bzw. deren Prädatoren wurde bereits im Kapitel 5.3.1 diskutiert. Hinsichtlich der olfaktorischen Relevanz des beta-Myrcen für *L. varius* existieren bisher keine Erkenntnisse. Auch das Hexanal wurde in den vorangegangenen Kapiteln als emittiertes Volatil der Rot-Buche und der Eiche beschrieben und diskutiert. Den Aussagen von Wildt et al. (2003) entsprechend, können die Aldehyde Hexanal und Nonanal als Stressmarker an Gemeiner Esche diskutiert werden, die aufgrund von abiotischen oder biotischen Stressfaktoren induziert werden. Demzufolge könnten diese Relevanz für das Wirtsfindungsverhalten von *L. varius* besitzen bzw. *T. formicarius* ergänzende Informationen zur Beutelokalisierung vermitteln. Die Untersuchungen von Wilson et al. (1996) belegen zumindest, dass von *T. undulatus* keine repellente Reaktion auf das Hexanal zu beobachten war. Das von den Eschen erfasste 2-Octanol hingegen kann als typisches von Pilzen emittiertes Volatil verstanden werden (Maga 1981, Linton und Wright 1993) und auf eine beginnende Verpilzung der Eschenstämme hindeuten. Der Alkohol 3-methyl-2-Pentanol wurde in Untersuchungen von Dicke (1999) beispielsweise an Weißkohl erfasst, der mit Larven des Großen Kohlweißlings (*Pieris brassicae* L.) befallen war. Neben einer herbivor induzierten Emission des Alkohols ließe sich an den Eschenstämmen, welche zum Zeitpunkt der Analysen frei von Besiedlung waren, auch eine zu den Aldehyden vergleichbare Emission aufgrund abiotischer Faktoren vermuten.

Von frisch eingeschlagener Esche wurde weiterhin das 2-methyl-3-Butyn-2-ol, alpha-Zingiberen und alpha-Bergamoten identifiziert. Entgegen deren Nachweise an Buche (2-methyl-3-Butyn-2-ol) und Eiche (alpha-Zingiberen, alpha-Bergamoten) konnte bei den GC-MS/EAD Analysen an Gemeiner Esche kein Nachweis einer Antennenreaktion von *T. formicarius* erbracht werden.

Semiochemikalien, welche von frischem und älterem Eschenholz identifiziert werden konnten und Antennenreaktion bei *T. formicarius* induzierten, waren 3,7-Dimethyl-Decan, 3-Penten-2-ol, Tridecan und Pentadecan. Das 3-Penten-2-ol wurde dabei in höheren relativen Anteilen an frisch eingeschlagenem Eschenholz nachgewiesen. Zudem wurden analog zur Rot-Buche (vgl. Kapitel 5.3.1) erneut die häufigsten Antennenreaktionen von *T. formicarius* auf diesen Alkohol erfasst. Die Herkunft und mögliche olfaktorische Bedeutung des 3-Penten-2-ol wurde bereits in Kapitel 5.3.1 diskutiert. Möglicherweise

spielt das 3-Penten-2-ol aber auch in der Wirtswahl von *L. varius* eine Rolle und dient *T. formicarius* daher zur Lokalisierung des Beutehabitates. Das Pentadecan wird auch in den Untersuchungen von Poland et al. (2005) als Volatil von Eschenarten beschrieben und dessen olfaktorische Attraktivität für den Prachtkäfer *Agrilus planipennis* (Fair.) nachgewiesen. Daneben wurde Pentadecan auch in Darmextrakten des an Nadelholz vorkommenden *Dendroctonus simplex* (LeConte) identifiziert (Francke et al. 1995). Welche Bedeutung das Pentadecan in der Räuber-Beute-Beziehung zwischen *T. formicarius* und *L. varius* einnimmt, ist bislang nicht bekannt. Anhand der Ergebnisse von Poland et al. (2005) lässt sich zumindest für *L. varius* eine Attraktivität der Substanz in der Suche nach geeigneten Wirtsbäumen vermuten. Auch das Tridecan könnte als potentiell Wirtsbaumvolatil für *L. varius* vermutet werden. Vrkocová et al. (2000) konnten in elektrophysiologischen Messungen die Wahrnehmung des auch von Eiche emittierten Tridecans für *S. intricatus* nachweisen.

Die GC-MS/EAD-Analysen vom August 2010 identifizierten ein von den April-Beprobungen deutlich abweichendes Volatilmuster. Vor allem bei den vor über vier Monaten eingeschlagenen Eschen wurde ein breites Spektrum emittierter Aromaten erfasst.

Insgesamt wurden bei den August-Analysen sehr wenige Reaktionen der *Thanasimus*-Antenne beobachtet. Vereinzelt wurden Reaktionen auf die Substanzen 5-(1-methylethyliden)-1,8-Cyclopentadien, 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon und trans-4-Thujanol erfasst. Die möglichen Ursprünge und olfaktorische Bedeutung des 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon wurden bereits in Kapitel 5.3.1 diskutiert. Die Relevanz des Ketons im Eschenhabitat ist bislang nicht bekannt. Analog verhält es sich mit dem Alkohol trans-4-Thujanol. Das trans-4-Thujanol wurde bislang von Francke et al. (1995) von gestressten männlichen *I. typographus* erfasst. Auch beim Fraß von *Dendroctonus valens* (LeConte) an *Pinus lambertiana* (Dougl.) konnte das trans-4-Thujanol nachgewiesen werden (Grégoire et al. 1991). Darüber hinaus ist das trans-4-Thujanol als Teil des Aggregationspheromons von *Polygraphus poligraphus* (L.) bekannt (Bowers et al. 1991).

Erfasste Semiochemikalien aus Eschenstammstücken mit Borkenkäferbesatz

Im **Besiedlungsversuch** (vgl. Kapitel 5.2.1.2) von Eschenholz mit *L. varius* wurde am unbesiedelten Holz erneut ein abweichendes Volatilspektrum beobachtet. Substanzen die vom Eschenholz emittiert wurden und auch von der *Thanasimus*-Antenne wahrgenommen werden konnten, waren das Decanal, das Eremophilen und der Hexanedioic-acid-dimethyl-

ester. Das Aldehyd Decanal könnte dabei als potentieller Stressmarker des Eschenholzes fungieren (Ebel et al. 1995). Szuman-Szumski et al. (1998) wiesen das Decanal beispielsweise als attraktiv für den Olivenborkenkäfer *P. scarabaeoides* nach und beobachteten die Abundanz des Decanals erst nach dem Fraß der Käfer. Auch der Prachtkäfer *Coroebus florentinus* (Herbst.) nutzt das Decanal zur Lokalisierung potentieller Wirtsbäume (Fürstenau et al. 2012). Nach Schütz (2001) und Johne et al. (2006) wird das Aldehyd Decanal von Zellen, die nach Durchwachsen von Pilzhyphen unter oxidativem Stress stehen, produziert und muss daher auch als Marker einer Pilzinfektion betrachtet werden. Auch im Besiedlungsversuch war das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon die Substanz, welche die häufigsten Antennenreaktionen bei *T. formicarius* induzierte. Das Keton wurde zwar erst ab der Besiedlungsstufe K1 (d. h. frisch angesetzte *L. varius* Weibchen) erfasst, muss aufgrund der Ergebnisse der Stammabsorptionen ohne Borkenkäferbesatz jedoch als baumbürtiges Volatil angenommen werden. Selbiges muss für das 3-methyl-3-Butyn-2-ol vermutet werden. Weitere ab der Besiedlungsstufe K1 erfasste Substanzen, die von *T. formicarius* wahrgenommen werden konnten waren das Zieron, 5,5-Dimethylhexanal und der Octadecanoic-acid-methylester (Syn. Methyloctadecanoat). Letzterer ist beispielsweise von der Spinnenart *Tegenaria atrica* (Koch) als geschlechtsspezifisches Signal bekannt (Prouvost et al. 1999) und wurde als elektroantennographisch aktiver und geschlechtsspezifischer Ester bei den Schnellkäfern *Agriotes obscurus* (L.) und *A. lineatus* identifiziert (Borg-Karlson 1988).

Das ebenfalls EAD-aktive Linalool wurde erst ab der Besiedlungsstufe K2 (d. h. *L. varius* beim Einbohren) erfasst. Möglicherweise wird durch die Fraßtätigkeit der weiblichen *L. varius* die Bildung von Linalool induziert. Vergleichbare Ergebnisse fanden Maes und Debergh (2003) an Tomatenpflanzen, die durch herbivore Raupen befallen wurden. Kännaste et al. (2008) stellten ebenfalls induzierte Linalool-Abgaberraten an Fichten (*Picea abies*) durch biotische Stressoren fest. Ergänzend dazu identifizierten Young et al. (1973) Linalool im Bohrmehl von *Ips paraconfusus* (Lanier) und *Ips pini* (Say). Von Dicke et al. (1990) wird das Linalool zudem als Kairomon in Räuber-Beute-Interaktionen beschrieben. Daraus lässt sich die Vermutung ableiten, dass auch *T. formicarius* das Linalool in der olfaktorischen Beutelokalisierung nutzt. Darüber hinaus reagierte die *Thanasimus*-Antenne auf das erstmals in der Besiedlungsstufe K2 erfasste Sesquiterpen (-)-Alloaromadendren. Analog zu Scutareanu et al. (2003) und Leitner et al. (2005) könnte das Sesquiterpen als Reaktion der Esche auf das Einbohren von *L. varius* in die Rinde zu verstehen sein.

Ab der Besiedlungsstufe K3 (*L. varius* eingebohrt und Bohrmehl sichtbar) wurden der Aromat 1-ethyl-4-methyl-Benzen und das Sesquiterpen cis-Nerolidol als EAD-aktiv erfasst. Vom 1-ethyl-4-methyl-Benzen kann ein baumbürtiger Ursprung (Baraldi et al. 1999) bzw. eine Emission von Pilzen (Jiang 1995) angenommen werden. Hingegen wurde das cis-Nerolidol bereits als EAD-aktiv bei dem an *Abies grandis* vorkommenden Splintkäfer *S. ventralis* nachgewiesen (Macías-Sámano et al. 1998). Darüber hinaus zeigte auch der Ameisenbuntkäfer *T. undulatus* in den Untersuchungen von Macías-Sámano et al. (1998) Attraktivität für das das erprobte Volatilgemisch, in welchem cis-Nerolidol enthalten war. Aus den Ergebnissen von Li und Zhang (2006) und Li et al. (2007) könnte das cis-Nerolidol jedoch auch als induzierte Abwehrreaktion der Pflanze interpretiert werden, da das durch den Larvenfraß induzierte cis-Neroldiol die Eiablage der Bockkäferart *Monochamus alternatus* (Hope) hemmte.

Ab der Besiedlungsstufe K4 (Zugabe von männlichen *L. varius*) wurden die für *T. formicarius* EAD-aktiven Substanzen 2,2,3-trimethyl-Bicyclo(2.2.1)heptan und Elemicin erfasst. Das 2,2,3-trimethyl-Bicyclo(2.2.1)heptan (Syn: Iso-Camphan) besaß in der Besiedelungsstufe K4 seinen höchsten relativen Anteil am Probevolumen, welcher sich bei den folgenden Absorptionen (K5, K6) kontinuierlich reduzierte. Möglicherweise handelt es sich beim Iso-Camphan um eine von männlichen Eschenbastkäfern induzierte Semiochemikalie – bislang existieren jedoch keine Erkenntnisse über eine olfaktorische Bedeutung der Substanz bei Insekten. Das Elemicin hingegen wurde in den Absorptionen K5 und K6 mit kontinuierlich ansteigenden relativen Anteilen am Probevolumen gemessen. Auch hinsichtlich des Elemicin sind bisher keine Erkenntnisse bezüglich einer olfaktorischen Bedeutung bei Insekten präsent. Aufgrund der Ergebnisse von Gregonis et al. (1968), Buttery et al. (1979) und Ahmadi und Mirza (1998) ist beim Elemicin jedoch ein primär pflanzlicher Ursprung anzunehmen, wobei dessen Bedeutung in einer möglichen Abwehrreaktion der Esche nicht ausgeschlossen werden kann.

Bei der Beprobung des ausgeworfenen **Bohrmehls von *L. varius*** an Gemeiner Esche wurde das alpha-Pinen als dominierende Komponente identifiziert. Daneben wurden die Terpene 3-Caren und d-Limonen in den Bohrmehlproben nachgewiesen. Auch Pokorska et al. (2011) konnten Emissionen von alpha-Pinen und Limonen aus *Fraxinus excelsior* nachweisen. Möglicherweise ist der verstärkte Nachweis der Terpene im Bohrmehl auf eine, analog zu den Nadelbäumen (Mumm und Hilker 2006, Steinbrecher et al. 1997, Owen und Peñuelas 2005), induzierte Abwehrreaktion der Esche zu verstehen. Zumindest

auf das d-Limonen konnte eine Reaktion der Ameisenbuntkäferantenne beobachtet werden. Die potentielle olfaktorische Bedeutung des d-Limonen für *T. formicarius* wurde bereits in Kapitel 5.3.2 erläutert. Des Weiteren wurde das Nonanal in einer der beiden Bohrmehlproben nachgewiesen und als EAD-aktiv für *T. formicarius* beobachtet. Auch Groot et al. (2008) konnten die Bedeutung des Nonanal in der olfaktorischen Kommunikation bei dem an Esche vorkommenden *A. planipennis* nachweisen. Zudem konnte auch für *Tomicus piniperda* (L.) die olfaktorische Wahrnehmung des Nonanal erfasst werden (Czokajlo et al. 2003). Poland et al. (2004) konnten zudem nachweisen, dass Nonanal synergistische Effekte mit weiteren attraktiven Terpenen für *T. piniperda* erzeugen kann. Auch auf den an Kiefer vorkommenden *Hylastes opacus* (Er.) ist eine attraktive Wirkung des Nonanal bekannt (Groot und Poland 2002). Dennoch muss vermutlich angenommen werden, dass das Nonanal nicht durch den Fraß von Herbivoren induziert wird, sondern als Eschenvolatil bzw. Pflanzenvolatil in anderen Baumarten abundant ist (Chen et al. 2011).

An mit *L. varius* **künstlich besiedelten Eschenhölzern vom März 2011** sowie unbesiedelten Eschenhölzern wurden, analog zum Bohrmehl, die Substanzen Limonen und Nonanal erfasst. Das Sesquiterpen alpha-trans-Bergamoten konnte an besiedeltem Holz mit einem Anstieg des relativen Anteils im Probevolumen nachgewiesen werden. Vermutlich deutete dies auf einen wie bei Mumm und Hilker (2006) sowie Holopainen und Gershenson (2010) beschriebenen Abwehrmechanismus der Pflanze in Folge des Fraßes von *L. varius* hin. Darüber hinaus ließ sich zumindest eine schwache Antennenreaktion von *T. formicarius* beobachten. Die häufigsten Ausschläge der *Thanasimus*-Antenne wurden hingegen auf das Copaen, welches sowohl in besiedeltem, als auch in unbesiedeltem Eschenholz zu finden war, registriert. Dennoch ließ sich ein leichter Anstieg der Copean-Emissionen an mit *L. varius* besiedeltem Holz messen, was den Beobachtungen von Vrkocová et al. (2000) an Eichen besiedelt mit *S. intricatus* entspricht. Vermutlich wird auch das Sesquiterpen Copaen als Reaktion des Borkenkäferbefalls von der Esche emittiert, woraus eine Bedeutung im Wirtsfindungsprozess für *T. formicarius* abgeleitet werden könnte (Mumm und Hilker 2006). Eine Substanz, welche vor allem an mit weiblichen Eschenbastkäfern besetzten Hölzern zu finden war, ist das methoxy-Benzen. Jedoch konnte keine Antennenreaktion von *T. formicarius* auf die Substanz beobachtet werden.

Auch von den mit *L. varius* künstlich besiedelten Eschenhölzern vom Juli 2011 wurden die Substanzen Copaen und alpha-trans-Bergamoten erfasst. Darüber hinaus wurde an den besiedelten Eschenhölzern ein starker Anstieg der relativen Anteile der Aldehyde Hexanal, Heptanal, Octanal, Nonanal und Decanal beobachtet. Reaktionen der *Thanasimus*-Antenne wurden dabei auf das Nonanal und das Hexanal verzeichnet. Vermutlich werden die Aldehydemissionen durch den Fraß von *L. varius* am Eschenholz induziert und können analog zu Wildt et al. (2003) als Stressmarker klassifiziert werden. Für das Hexanal konnten Rodriguez-Saona et al. (2006) herbivor induzierte Emissionen von *Fraxinus mandshurica* (Rupr.) nachweisen, die sich zudem als EAD-aktiv für *A. planipennis* charakterisieren ließen. Auch Ichiki et al. (2008) beschreiben Hexanal als typischen Grünblattduftstoff, der von vielen Pflanzenarten nach physikalischer Verletzung oder durch Fraß von Herbivoren abgegeben wird. Die bisherigen Erkenntnisse zum Decanal sind bereits diskutiert und sollen an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden. Jedoch konnten auch Szauman-Szumski et al. (1998) Decanal bei *P. scarabaeoides* während der Anlage der Muttergänge identifizieren. Von den Aldehyden Octanal, Nonanal und Decanal ist darüber hinaus bekannt, dass sie das Wachstum von holzzersetzenden Hymenomyceten fördern können (Fries 1960). Auf das nur bei weiblichen Eschenbastkäfern erfasste beta-Phellandren konnte keine Reaktion von *T. formicarius* beobachtet werden. Dennoch scheint das Terpen chemoökologische Bedeutung zu besitzen. Beispielsweise konnte Werner (1995) nachweisen, dass das beta-Phellandren eine erhöhte Toxizität auf *D. simplex* besitzt und darüber hinaus die Wahrnehmung von *D. rufipennis* auf sein Aggregationspheromon Frontalin hemmt. Werner (1995) beschreibt zudem, das beta-Phellandren bei seinen Untersuchungen in höheren Anteilen an Wundstellen des Wirtsbaumes gefunden werden konnte und dessen Produktion vermutlich als Teil der Abwehrreaktion des Wirtsbaumes verstanden werden muss. Analog zu den eigenen Untersuchungen konnten auch Huber et al. (2000) das beta-Phellandren als Volatil von Laubgehölzen nachweisen. Zudem konnten Szauman-Szumski et al. (1998) beta-Phellandren bei beginnender Anlage der Muttergänge von *P. scarabaeoides* nachweisen, aber auch in Extrakten des Wirtsbaums (*Olea europea*) ohne Befall war das Monoterpen zu finden.

6 UNTERSUCHUNGEN ZUR OLFAKTORISCHEN WAHRNEHMUNG VON AUSGEWÄHLTEN SEMIOCHEMIKALIEN BEI *THANASIMUS FORMICARIUS*

6.1 METHODIK

6.1.1 DOSIS-ANTWORT-KURVEN (EAG)

6.1.1.1 ANFERTIGUNG VON VERDÜNNUNGSREIHEN

Um für ausgewählte Semiochemikalien eine olfaktorische Wahrnehmung von *T. formicarius* zu untersuchen, wurden von den ausgewählten Chemikalien Verdünnungsreihen angefertigt und Messungen mittels EAG durchgeführt (Rachow 2010). Als Verdünnungsmedium wurde Paraffin (Merck, Uvasol®) verwendet. Für die erste Verdünnungsstufe (10^{-1}) wurden 0,2 g der Substanz zu 1,8 g Paraffin in ein Gewindegläschen gegeben. Anschließend wurde das Gewindegläschen für 2 Minuten auf einem Vortex-Schüttler Genie2 geschüttelt. Für die nachfolgende Verdünnungsstufe (10^{-2}) wurden 0,2 g der Verdünnungsstufe 10^{-1} erneut in ein Gewindegläschen mit 1,8 g Paraffin gegeben und erneut 2 Minuten geschüttelt. Dieser Vorgang wurde bis zur gewünschten Verdünnungsstufe von 10^{-7} für alle ausgewählten Substanzen wiederholt.

6.1.1.2 AUFNAHME DER DOSIS-ANTWORT-KURVEN

Um die elektrophysiologische Reaktion der Insektenantenne auf die vorbereiteten Verdünnungsreihen zu erfassen wurden Dosis-Antwort-Kurven (EAG) durchgeführt. Dazu musste zunächst die Antenne von *T. formicarius* analog zu Kapitel 5.1.6 präpariert und in den Antennenhalter eingespannt werden. Zum Testen einer Verdünnungsstufe einer Substanz wurden zwei Tropfen von dieser mit einer Pasteurpipette auf ein 1 cm² großes Filterpapierstück gegeben. Dieses wurde anschließend in eine Glaskolbenspritze gegeben. Als negative Kontrolle diente ein 1 cm² großes Filterpapierstückchen mit zwei Tropfen reinem Paraffin. Für die positive Kontrolle wurden zwei Tropfen (Z)-3-Hexen-1-ol in der Konzentration 10^{-3} auf das Filterpapier aufgetragen. Die mit den Filterpapierstücken bestückten Glaskolbenspritzen wurden anschließend mit synthetischer Luft aufgezogen. Über den ‚calibration port‘ (Abbildung 16) wurden 4 ml des in den Glaskolbenspritzen

entstandenen Volatil-Duftes auf die Insektenantenne gegeben. Anschließend wurde die Stärke des Ausschlages (Potentialänderung) sowie die Zeit des Ausschlages mit dem Programm EAD Wandler beobachtet und aufgezeichnet.

Ein Testdurchlauf bestand jeweils aus drei Testsubstanzen und wurde in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:



Beim Test der Duftstoffe wurde der jeweilige Duftstoff nicht 3-mal hintereinander, sondern immer im Wechsel mit den anderen beiden Duftstoffen getestet. Zum Beispiel wurden die Substanzen A, B und C in der Konzentration 10^{-7} in der Reihenfolge A-B-C-A-B-C-A-B-C getestet. Damit konnte sich nach dem Einspritzen und erneuten Befüllen der Glasspritzen mit synthetischer Luft ein gleichmäßiger Dampfdruck innerhalb der Spritzen einstellen.

Auswahl der Testsubstanzen

Die in Kapitel 5.1.1 aufgeführten Semiochemikalien, welche als Einzelsubstanzen verfügbar waren, wurden im Versuchsjahr 2010 als Verdünnungsreihen in Dosis-Antwort-Versuchen bei *T. formicarius* verwendet.

Zudem wurden aus den chemischen Analysen der einzelnen Versuchsjahre 2010 und 2011 Semiochemikalien ausgewählt, für welche olfaktorische Bedeutung für *T. formicarius* vermutet werden konnte (vgl. Kapitel 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.2.6).

6.1.1.3 DATENAUSWERTUNG

Für die Datenauswertung wurden zunächst die Mittelwerte der drei Messungen jeder Konzentrationsstufe gebildet. Die Differenzen zwischen dem Anfangsmittelwert der Negativkontrolle sowie dem Endmittelwert der Negativkontrolle wurden als lineare Funktion abgebildet, so dass für jede Konzentrationsstufe ein Wert für die Negativkontrolle berechnet werden konnte. Dies war notwendig, da sich die Sensibilität der Insektenantenne im Verlauf der Messreihe änderte. Anschließend wurde das Verhältnis zwischen der Negativkontrolle und den Testwerten für jede Konzentrationsstufe ermittelt. Aus den Null-Test-Verhältnissen aller Messreihen wurde der Mittelwert für jede Konzentrationsstufe berechnet und grafisch abgebildet.

In der statistischen Auswertung wurde für jede Konzentrationsstufe der Testsubstanz geprüft, ob ein signifikanter Unterschied der Antennenreaktion (gemessen in mV) zwischen der Nullvariante (Paraffin) und der Testvariante abgeleitet werden kann. Da die Messungen der Reaktion auf die Nullvariante und der Reaktion auf die Testvariante an derselben *Thanasimus*-Antenne durchgeführt wurden, sind Testverfahren für verbundene Stichproben verwendet worden. Im Falle der Normalverteilung der Datensätze wurde der t-Test für gepaarte Stichproben verwendet, im gegenteiligen Fall der Wilcoxon-Rangsummentest.

6.1.2 VERHALTENSTESTS

Die Dosis-Antwort-Kurven lassen zwar Rückschlüsse auf die wahrnehmbare Konzentration einer Substanz bei *T. formicarius* zu, erlauben jedoch keine Interpretation einer verhaltensmodifizierenden Bedeutung der Substanz. Folglich wurden Substanzen, für welche aus den Dosis-Antwort-Kurven in Kapitel 6.2.1 eine olfaktorische Wahrnehmung von *T. formicarius* abgeleitet werden konnte, anschließend in Verhaltensversuchen auf Reaktion des Ameisenbunkkäfers untersucht. Als Versuchsapparatur für die Verhaltenstests wurde ein Y-Rohr-Olfaktometer verwendet.

Das verwendete Olfaktometer (Abbildung 18) wurde in Anlehnung an Müller (1993) und Voigt (2005) konzipiert und bestand aus einem Stammarm (Innen-Ø = 3 cm, Länge = 20 cm) einem Testarmen (Innen-Ø = 2 cm, Länge = 30 cm) sowie einem Kontrollarm (Innen-Ø = 2 cm, Länge = 30 cm). Der Winkel zwischen Test- und Kontrollarm betrug 42°. Test- und Kontrollarm endeten jeweils in einem Endstück. Am Stammrohrende befand sich ein

Korkstopfen, welcher gleichzeitig als Führung für den Schieber fungierte. Für den Luftstrom wurde im Versuchsjahr 2011 synthetische Luft der Firma Air Liquide (Alphagaz 1 Luft Fla-L reg 50/200) verwendet und mittels Luftstrommesser auf 5 l/min justiert, so dass durch jeden Olfaktometerarm 1,25 l/min an synthetischer Luft flossen (es wurden zwei Olfaktometer parallel verwendet). Zusätzlich wurde die Luft vor Erreichen der Olfaktometerapparatur durch einen Aktivkohlefilter (Aktivkohlegranulat Ø 3 mm, dampfaktiviert) geleitet. Um einen Kontakt der Versuchstiere mit den Chemikalien im Test- und Kontrollarm zu vermeiden, wurden die Übergänge von Test- und Kontrollarm in die Endstücke mit Gaze verschlossen.

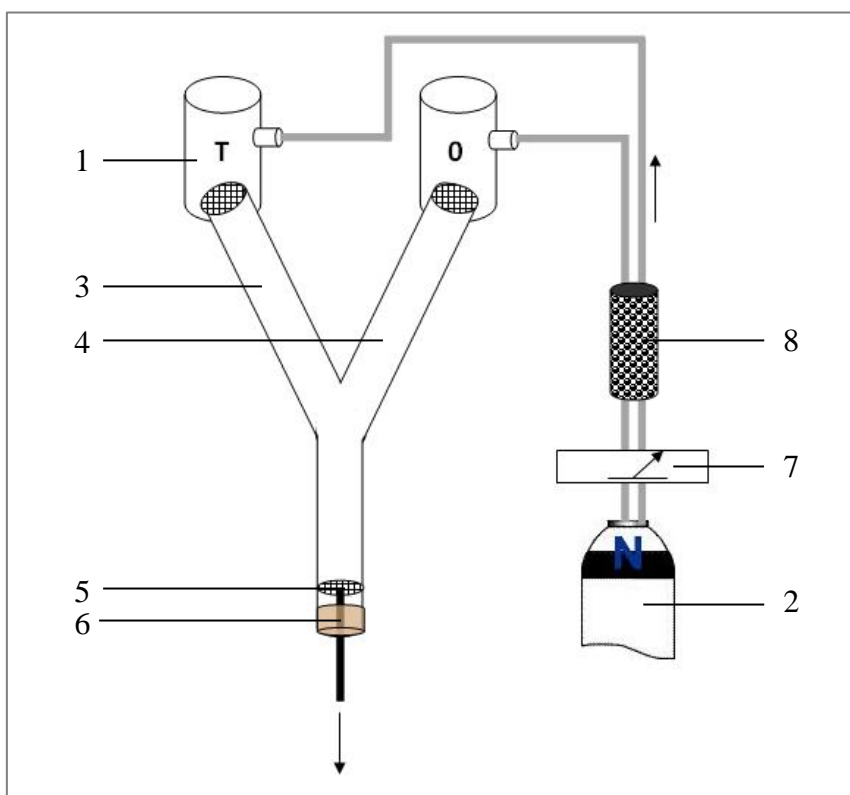


Abbildung 18: Schematischer Aufbau eines Y-Rohr-Olfaktometers (1 = Test-Endgefäß, 2 = synthetische Luft, 3 = Testarm, 4 = Kontrollarm, 5 = Schieber, 6 = Korkstopfen, 7 = Luftstrommesser, 8 = Kohlenstofffilter)

Vor jedem Durchlauf (nach Substanzwechsel) erfolgten eine Reinigung der Apparatur mit unvergälltem Ethanol (VWR, Ethanol absolute: 99,8 %) sowie eine einstündige Trocknung bei 80°C im Trockenschrank. Die Raumtemperatur bei Durchführung der Versuche betrug Ø 20°C.

Die Männchen und Weibchen von *T. formicarius* wurden mit der Apparatur getrennt voneinander getestet. Der Schieber hatte die Funktion, inaktive Käfer nach einer festgelegten Zeit in Richtung Gabelung zu bewegen. Die Verteilung der eingesetzten Käfer im Test- und Kontrollarm sollte letztendlich Aufschluss über Attraktivität, Neutralität bzw.

Repellenz der zu testenden Substanz geben. Eine Minute vor Versuchsbeginn wurde der Luftstrom im Olfaktometer, durch Aufdrehen der Ventile an der Druckgasflasche, eingeregelt.

6.1.2.1 HERKUNFT UND HALTUNG VON VERSUCHSTIEREN

Die Versuchstiere entstammten einem großflächigen Kieferngebiet bei Baruth/Mark (Brandenburg) und wurden teilweise aus unverschlossenen THEYSON® Schlitzfallen, welche mit dem Pheromonpräparat Sexowit® bestückt waren, gewonnen. Der überwiegende Teil der Versuchstiere wurde jedoch durch Absammlung von mit Borkenkäfern besiedelten Kiefernholzpoltern gewonnen. Die gefangenen und abgesammelten Käfer wurden zum Transport zunächst in Gläsern aufbewahrt. Im Labor erfolgte die Geschlechterbestimmung der Versuchstiere (Abbildung 19).

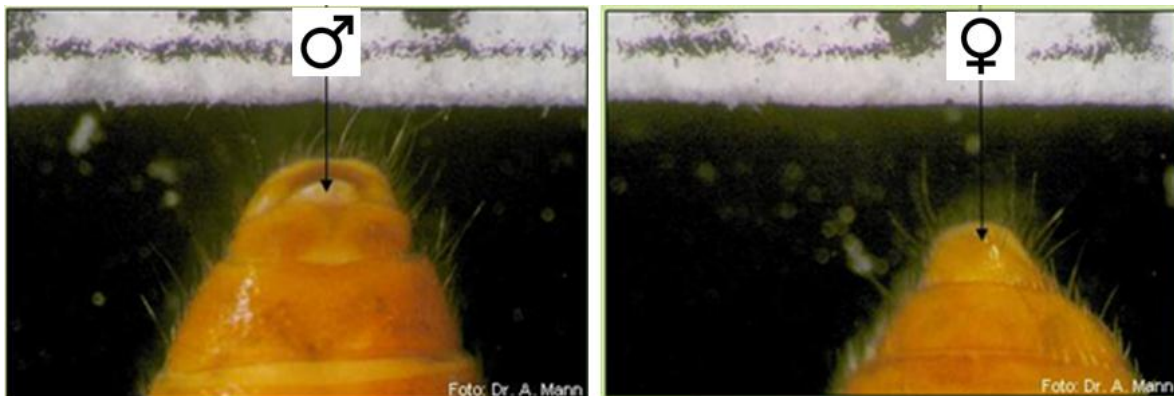


Abbildung 19: Geschlechterbestimmung bei *T. formicarius* (Bildquelle: Dr. Angelika Mann)

Die Haltung der Tiere erfolgte zunächst einzeln in Insektengläschen (Ø 5 cm), später getrenntgeschlechtlich in Gruppen von bis zu 25 Tieren in Gläsern. Die Gruppenhaltung in den Gläsern stellte sich als vorteilhafter heraus und führte zu einem längeren Überleben der Versuchstiere. Die Versuchstiere wurden täglich mit frischem Wasser versorgt, welches auf Filterpapier aufgetragen wurde. Die Fütterung der Versuchstiere erfolgte im zweitägigen Rhythmus mit *L. varius*, im späteren Jahresverlauf mit *I. typographus*. Zur Vermeidung von Stress wurden in die Honiggläser Rindenteile sowie Zellstoff eingelegt, um den darin enthaltenen Ameisenbunkkäfern Versteckmöglichkeiten zu bieten.

6.1.2.2 NULLVERSUCH

Mit dem Nullversuch sollte die Gleichverteilung der Versuchstiere in der Olfaktometerapparatur getestet werden. Dies erfolgte mit und ohne Abdeckung des Versuchsaufbaus, um Einflüsse aus der Olfaktometerumgebung ausschließen zu können.

Zudem wurde das Olfaktometer nach jedem Durchlauf um 180° gedreht, so dass der Testarm in der Aufsicht abwechselnd links bzw. rechts vom Stammrohr verlief.

Die Endgefäße von Test- und Kontrollarm wurden für diesen Versuch mit leeren Filterpapierstückchen bestückt. Pro Versuchsdurchlauf wurden 15 Tiere, getrennt nach Geschlechtern, gleichzeitig in die Apparatur gegeben. Die Bestückung des Olfaktometers mit den Versuchstieren erfolgte über eine an der Seite geöffnete Filmdose, welche im Stammrohr des Olfaktometers platziert wurde. Dies verhinderte ein Entweichen bereits in die Apparatur eingesetzter Individuen bis alle für einen Durchlauf eingesetzten Ameisenbuntkäfer in das Olfaktometer eingesetzt waren.

Der Nullversuch wurde entsprechend Abbildung 20 durchgeführt. Insgesamt wurden für Männchen und Weibchen sechs Durchläufe des Experimentes durchgeführt (dreimal Testarm links, dreimal Testarm rechts).

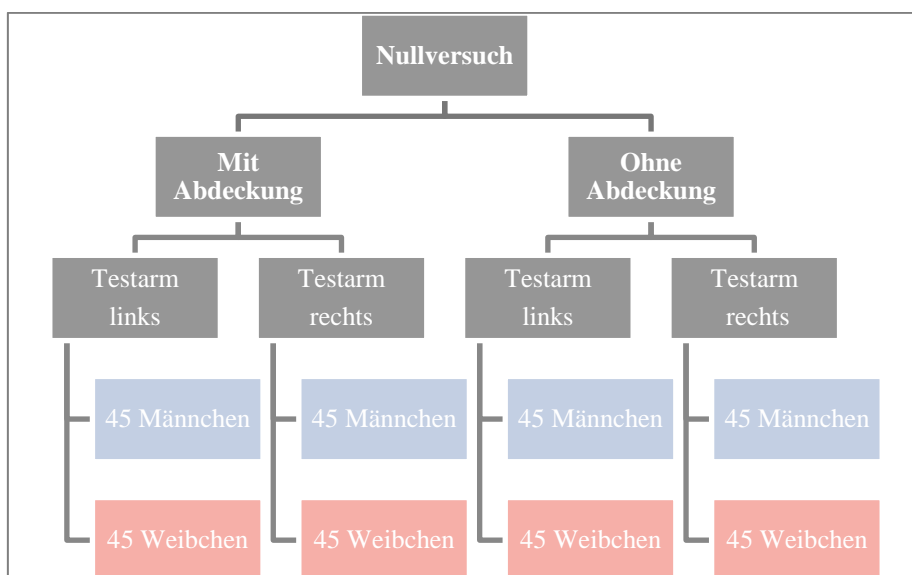


Abbildung 20: Versuchsdurchführung des Nullversuches

Für einen Durchlauf wurde eine Versuchszeit von 15 Minuten veranschlagt und die Zahl der Käfer in Test- und Kontrollarm nach 1; 2; 3; 4; 5; 7,5; 10 und 15 Minuten erfasst. Käfer, welche sich nach 5 Minuten noch im hinteren Teil des Stammrohrs befanden wurden nach dieser Zeit mit dem Schieber bis 2 cm vor die Gabelung bewegt.

6.1.2.3 POSITIVVERSUCH

Um die Eignung der Versuchsapparatur zur Durchführung von Verhaltensexperimenten mit *T. formicarius* zu überprüfen wurde der Positivversuch durchgeführt. Dabei wurden für den Ameisenbuntkäfer bereits bekannte Attraktanzien verwendet und erprobt, ob sich diese

Attraktivität auch mit dem Olfaktometertest nachweisen lässt. Als Versuchszeit wurden 15 Minuten veranschlagt und die Zahl der Käfer in Test- und Kontrollarm nach 1; 2; 3; 4; 5; 7,5; 10 und 15 Minuten erfasst. Daraus sollte abgeleitet werden, ab welcher Zeit mit signifikanten Reaktionen der Versuchstiere gerechnet werden kann und welche Versuchszeit sich daraus für die Olfaktometertests mit *T. formicarius* ableiten lässt.

Vorversuch 2010

Der Versuch wurde mit Abdeckung des Olfaktometers durchgeführt. Als Test-Standard wurden zwei Tropfen Langlock® auf ein Stück Filterpapier (1 cm x 1 cm) gegeben. Das Filterpapierstück der Nullseite blieb unbehandelt. Insgesamt wurden hier 82 Männchen und 100 Weibchen getrenntgeschlechtlich getestet. Die Größe der Versuchstiergruppen betrug 10 Individuen, war jedoch bei den Männchen aufgrund des Fehlens von Versuchstieren in zwei Durchläufen kleiner als 10 Individuen. Insgesamt wurden für Männchen und Weibchen zehn Durchläufe des Experimentes durchgeführt (fünfmal Testarm links, fünfmal Testarm rechts).

Positivversuch 2011

Der Versuch wurde analog zum Nullversuch durchgeführt (Abbildung 20). Jedoch wurden Männchen und Weibchen mit unterschiedlichen Lockstoffen beprobt. Bei den Männchen wurde in das Endgefäß des Testarms ein Stück Filterpapier (1 cm x 1 cm) gelegt, welches an einem Sexowit®-Dispenser gerieben wurde. In das Endgefäß des Kontrollarms wurde ein Stück unbehandeltes Filterpapier gelegt (1 cm x 1 cm). Für die weiblichen Ameisenbunkkäfer wurde als Testsubstanz Langlock® verwendet und auf das Filterpapier zwei Tropfen des Dispenserinhaltes getropft. Der Wechsel der Testsubstanz wurde aufgrund unbefriedigender Resultate des Sexowit®-Dispensers durchgeführt (vgl. Kapitel 6.2.2.2). Insgesamt erfolgten für Männchen und Weibchen sechs Durchläufe des Experimentes (dreimal Testarm links, dreimal Testarm rechts).

6.1.2.4 VERSUCHE MIT TESTSUBSTANZEN

Von *T. formicarius* wahrnehmbare Substanzen aus Kapitel 6.2 sollten mit dieser Apparatur in den Konzentrationsstufen 10^{-4} bis 10^{-1} auf Attraktivität, Neutralität bzw. Repellenz untersucht werden.

Dazu wurden von den zu testenden Substanzen zunächst Verdünnungsstufen analog zu Kapitel 6.1.1.1 angefertigt. In das Endgefäß des Testarms wurde ein Stück Filterpapier (1

cm x 1 cm) gelegt und mit zwei Tropfen der zu testenden Substanz belegt. In das Endgefäß des Kontrollarms wurde ebenfalls ein Stück Filterpapier gelegt (1 cm x 1 cm) auf welches zwei Tropfen Paraffin gegeben wurden. Für einen Durchlauf des Experimentes wurden die Ameisenbunkäfer getrenntgeschlechtlich in Gruppen zu 25 Versuchstieren in das Olfaktometer gegeben. Als Versuchszeit wurden analog zu den Ergebnissen aus Kapitel 6.2.2.2 exakt 10 Minuten festgelegt und die Zahl der Individuen in Test- und Kontrollarm am Ende der Versuchszeit notiert. Nicht aktivierte Versuchstiere wurden nach 3 Minuten mit dem Schieber bis 5 cm vor die Gabelung des Olfaktometers bewegt. Für Männchen und Weibchen wurden vier Durchläufe des Experimentes (zweimal Testarm links, zweimal Testarm rechts) in der niedrigsten Konzentrationsstufe durchgeführt. Danach erfolgte der Wechsel in die nächsthöchste Konzentrationsstufe bis zur Konzentrationsstufe 10^{-1} . Eine Reinigung der Olfaktometerapparatur erfolgte vor dem Wechsel der Testsubstanz.

6.1.2.5 DATENAUSWERTUNG

Für die Datenauswertung wurden nur aktivierte Versuchstiere berücksichtigt, d. h. Versuchstiere, welche sich während des Experimentes für einen der Arme des Olfaktometers entschieden haben. Die Ergebnisse des Experimentes wurden für die statistische Auswertung in Anteilsprozent transformiert. Zunächst wurde von allen aktivierten Individuen eines Experimentes der prozentuale Anteil der Versuchstiere im Testarm berechnet. Als Differenz zu insgesamt 100 % ergibt sich der prozentuale Anteil der aktivierten Versuchstiere im Nullarm. Um Aussagen über die Attraktivität des Testarms in Relation zum Nullarm treffen zu können, wurde der t-Test ($\alpha = 0,05$) für gepaarte Stichproben verwendet. Bei Datensätzen, welche keine Normalverteilung aufwiesen wurde der Wilcoxon-Test ($\alpha = 0,05$) für gepaarte Stichproben verwendet (Geier und Boeckh 1999, Riddick et al. 2000).

6.2 ERGEBNISSE

6.2.1 ERGEBNISSE DER DOSIS-ANTWORT-KURVEN

Die Antenne des Ameisenbunkäfers (*T. formicarius*) zeigte auf alle getesteten Ketone mindestens ab einer Verdünnung von 10^{-3} (bzw. 0,1 %) zur Nullvariante (Paraffin) signifikant verschiedene Antennenreaktionen (Abbildung 21). Die Empfindlichkeit der Wahrnehmung der einzelnen Ketone war sehr unterschiedlich. Die höchste Sensibilität

zeigte die *Thanasimus*-Antenne auf das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon und das 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on, die schon ab einer Verdünnung von 10^{-7} (bzw. 0,00001 %) signifikant wahrgenommen wurden. Mit steigender Konzentration stieg die Dosis-Antwort-Kurve des 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon jedoch deutlich stärker an, als die des 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on.

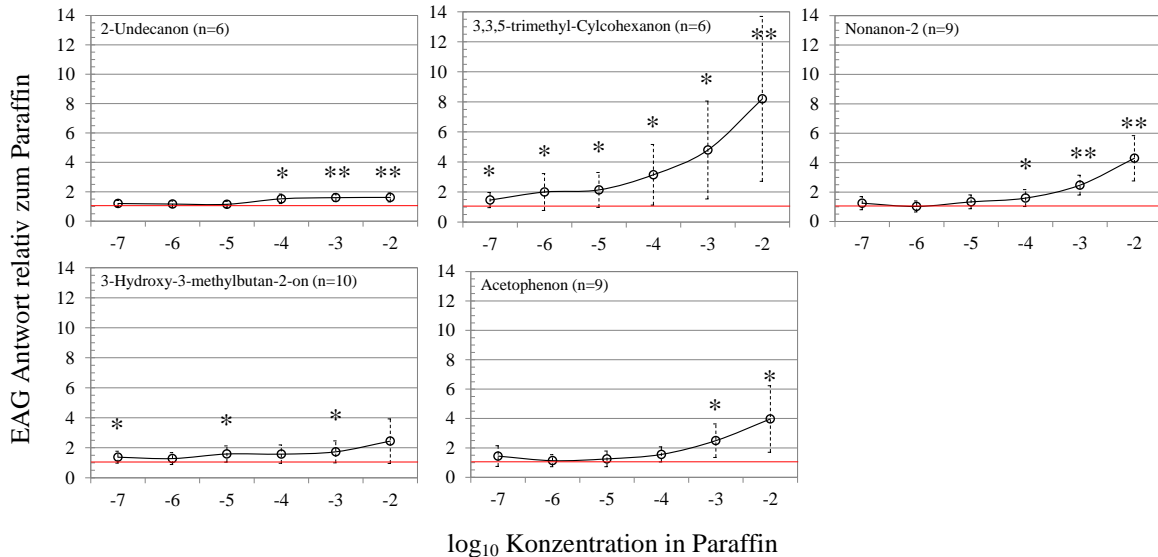


Abbildung 21: EAG Dosis-Antwort von *T. formicarius* ($\sigma\sigma + \text{♀♀}$) auf ausgewählte Ketone, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit *t*-Test für gepaarte Stichproben: n.s. = $p > 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$)

Wie in Tabelle 24 ersichtlich, zeigten die männlichen *T. formicarius* die stärkeren EAG Potentiale auf das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon. Auf das 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on wurden indifferente EAG Potentiale zwischen Männchen und Weibchen in den einzelnen Konzentrationsstufen beobachtet.

Das Keton Nonanon-2 wurde von *T. formicarius* ab einer Verdünnung von 10^{-5} (0,001 %) wahrgenommen (Abbildung 21). Zudem wurden auf die Substanz die stärksten EAG Potentiale aller getesteten Ketone gemessen, wobei über alle Konzentrationsstufen des Nonanon-2 höhere Potentiale bei den Weibchen als bei den Männchen gemessen werden konnten (Tabelle 24).

Auch das Keton 2-Undecanon wurde ab einer Verdünnung von 10^{-4} signifikant von *T. formicarius* wahrgenommen (Abbildung 21). Die dabei vom 2-Undecanon ausgelösten EAG Potentiale waren jedoch sehr gering (Tabelle 24). Auf das Acetophenon wurde im Vergleich zu allen anderen Ketonen die geringste Sensibilität der Ameisenbuntkäferantenne erfasst. Die gemessenen Potentiale waren im Vergleich zu den anderen Ketonen

jedoch mit die stärksten (Tabelle 24). Beide Ketone lösten bei den Weibchen stärkere EAG Potentiale als bei den Männchen aus.

Tabelle 24: Dosis-Antwort von *T. formicarius* auf ausgewählte Ketone in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin

	n	Sex	EAG Antworten als Differenz zur Nullvariante (Paraffin) [mV]											
			-7		-6		-5		-4		-3		-2	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Acetophenon	2	♂♂	-7,3 ±	5,3	-5,9 ±	2,0	-3,1 ±	5,3	-2,3 ±	9,4	12,7 ±	7,3	21,3 ±	10,3
	4	♀♀	20,3 ±	14,2	18,0 ±	14,6	18,5 ±	13,1	20,5 ±	17,9	33,0 ±	31,3	62,3 ±	52,4
Nonanon-2	2	♂♂	-4,3 ±	1,3	-1,4 ±	4,5	6,3 ±	1,1	13,3 ±	4,0	33,7 ±	12,8	57,1 ±	44,4
	4	♀♀	12,5 ±	11,1	9,1 ±	4,5	19,8 ±	11,6	14,5 ±	16,2	36,9 ±	23,8	67,0 ±	41,2
3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on	1	♂♂	1,8 ±	0,0	-0,4 ±	0,0	5,0 ±	0,0	8,8 ±	0,0	19,7 ±	0,0	3,5 ±	0,0
	3	♀♀	6,3 ±	2,3	5,0 ±	4,7	6,6 ±	8,1	3,2 ±	4,7	3,4 ±	6,0	6,5 ±	6,8
2-Undecanon	3	♂♂	0,8 ±	1,1	0,0 ±	1,2	-0,1 ±	0,4	6,3 ±	6,0	4,3 ±	2,4	4,1 ±	2,8
	3	♀♀	3,2 ±	2,3	3,2 ±	0,9	2,9 ±	1,5	4,3 ±	1,2	6,0 ±	0,5	5,9 ±	0,7
3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	3	♂♂	4,7 ±	1,1	8,0 ±	3,4	9,8 ±	6,5	16,8 ±	11,6	30,2 ±	21,9	54,7 ±	25,9
	3	♀♀	1,9 ±	2,8	6,1 ±	6,7	7,0 ±	5,1	12,6 ±	8,2	20,0 ±	10,8	40,4 ±	18,6

Von den getesteten Alkoholen in Abbildung 22 konnte für das 4-Methylheptan-3-ol und das 3-Penten-2-ol eine Wahrnehmung von *T. formicarius* nachgewiesen werden. Das 4-Methylheptan-3-ol wurde von den drei getesteten Alkoholen mit der geringsten Sensibilität (ab einer 10^{-4} Konzentration) wahrgenommen. Das 3-Penten-2-ol kann hingegen erst in der darüber liegenden Konzentrationsstufe vom Ameisenbuntkäfer gerochen werden.

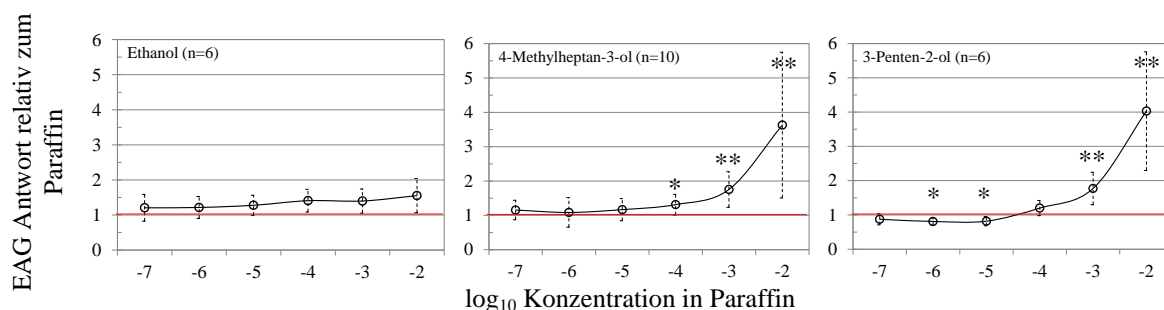


Abbildung 22: EAG Dosis-Antwort von *T. formicarius* (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Alkohole, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichproben: n.s. = $p > 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$)

Eine nach Geschlechtern differenzierte Betrachtung lässt Unterschiede im gemessenen Potential zwischen beiden letztgenannten Alkoholen erkennen. Das 4-Methylheptan-3-ol erzeugt dabei tendenziell stärkere Potentiale bei den weiblichen Individuen, dass 3-Penten-2-ol hingegen bei den männlichen Individuen (Tabelle 25).

Für das Ethanol konnte bei einem Signifikanzniveau von 5 % in keiner Konzentrationsstufe eine Wahrnehmung von der Antenne des Ameisenbuntkäfers beobachtet werden (Abbildung 22). Dennoch konnte ab einer Verdünnung von 10^{-4} (p-Wert zu Paraffin = 0,075) ein leichter Anstieg der Dosis-Antwort-Kurve erfasst werden.

Tabelle 25: Dosis-Antwort von *T. formicarius* auf ausgewählte Alkohole in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin

	n	Sex	EAG Antworten als Differenz zur Nullvariante (Paraffin) [mV]											
			-7		-6		-5		-4		-3		-2	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Ethanol	2	♂♂	0,8 ± 5,3		-2,6 ± 7,2		-1,4 ± 4,1		1,4 ± 1,5		3,1 ± 1,2		3,8 ± 2,8	
	3	♀♀	1,1 ± 3,9		3,4 ± 1,5		5,4 ± 3,7		6,9 ± 4,7		4,5 ± 2,4		6,9 ± 3,4	
4-Methylheptan-3-ol	3	♂♂	0,3 ± 5,2		-2,7 ± 5,4		0,3 ± 4,5		-3,2 ± 6,8		12,8 ± 13,1		32,2 ± 29,6	
	5	♀♀	5,3 ± 4,4		9,3 ± 4,9		8,4 ± 4,5		9,8 ± 5,0		17,1 ± 11,0		42,1 ± 37,9	
3-Penten-2-ol	3	♂♂	-6,3 ± 6,0		-5,6 ± 3,8		-4,6 ± 1,7		0,9 ± 2,0		10,8 ± 6,6		34,2 ± 16,9	
	3	♀♀	-1,0 ± 1,3		-2,6 ± 1,3		-2,1 ± 1,9		3,5 ± 1,8		9,2 ± 3,4		29,7 ± 9,7	

Die für *T. formicarius* bekannten Kairomone von Nadelholz besiedelnden Borkenkäfern können in sehr niedrigen Verdünnungsstufen vom Ameisenbuntkäfer wahrgenommen werden (Abbildung 23). Die größte Sensibilität zeigte *T. formicarius* dabei auf das (S)-(-)-Ipsenol, welches bereits in einer Verdünnung von 10^{-7} (0,00001 %) gerochen werden konnte.

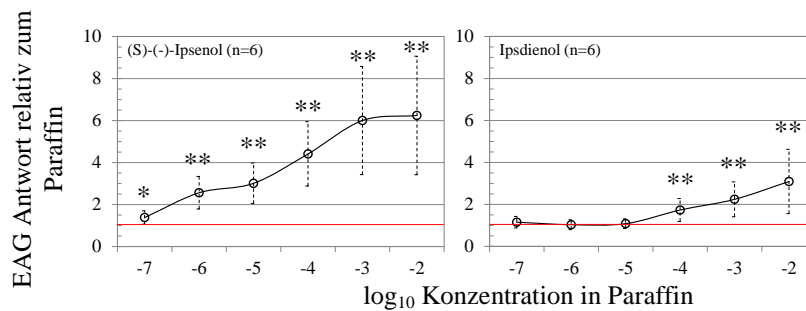


Abbildung 23: EAG Dosis-Antwort von *T. formicarius* (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Kairomone aus Nadelwaldhabitaten, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichprobe: n.s.= $p > 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$)

Bereits in der Verdünnungsstufe 10^{-6} wurden auf das (S)-(-)-Ipsenol Reaktionen der Ameisenbuntkäferantenne erfasst, die über das doppelte der Paraffin-Ausschläge reichten. Eine ähnlich hohe Sensibilität der Ameisenbuntkäferantenne in diesen geringen Konzentrationsstufen wurden nur noch bei 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon (Abbildung 21) und Nonanal (Abbildung 25) nachgewiesen. Das Ipsdienol wurde erst ab einer 10^{-4} Verdünnung wahrgenommen (Abbildung 23). Die erzeugten Potentiale beim (S)-(-)-Ipsenol waren bei den männlichen Individuen im Vergleich zu den weiblichen in fast allen Verdünnungsstufen leicht erhöht. Beim Ipsdienol hingegen waren die Potentialunterschiede zwischen Männchen und Weibchen in den einzelnen Verdünnungsstufen eher indifferent.

Tabelle 26: Dosis-Antwort von *T. formicarius* auf ausgewählte Kairomone aus Nadelwaldhabitaten in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin

	n	Sex	EAG Antworten als Differenz zur Nullvariante (Paraffin) [mV]											
			-7		-6		-5		-4		-3		-2	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
(S)(-)-Ipsenol	3	♂♂	5,8 ± 4,2		14,5 ± 3,6		20,0 ± 4,7		32,9 ± 9,1		46,9 ± 13,0		44,1 ± 10,6	
	3	♀♀	3,4 ± 2,6		17,8 ± 6,9		19,8 ± 9,7		30,3 ± 12,6		38,6 ± 17,8		38,4 ± 16,8	
Ipsdienol	3	♂♂	7,2 ± 3,7		2,6 ± 5,0		2,6 ± 3,5		16,8 ± 2,1		29,6 ± 2,3		40,5 ± 3,0	
	3	♀♀	-1,5 ± 5,5		-2,9 ± 3,0		-1,0 ± 6,1		12,0 ± 9,4		20,7 ± 3,9		42,6 ± 10,2	

Bei den getesteten Terpenen und deren Abkömmlingen wurde eine sehr unterschiedliche Wahrnehmungsschwelle erfasst (Abbildung 24). Am sensibelsten reagierte die *Thanasimus*-Antenne auf das d-Limonen, welches bereits in einer 10^{-7} Verdünnung wahrgenommen wurde. Zudem konnte eine hohe Sensibilität der Antenne auf das (-)-alpha-Pinen erfasst werden, welches ab einer 10^{-5} Verdünnung vom Ameisenbuntkäfer gerochen wurde. Im Gegensatz dazu wurde das (+)-alpha-Pinen erst in zwei Zehnerpotenzen höherer Verdünnung wahrgenommen.

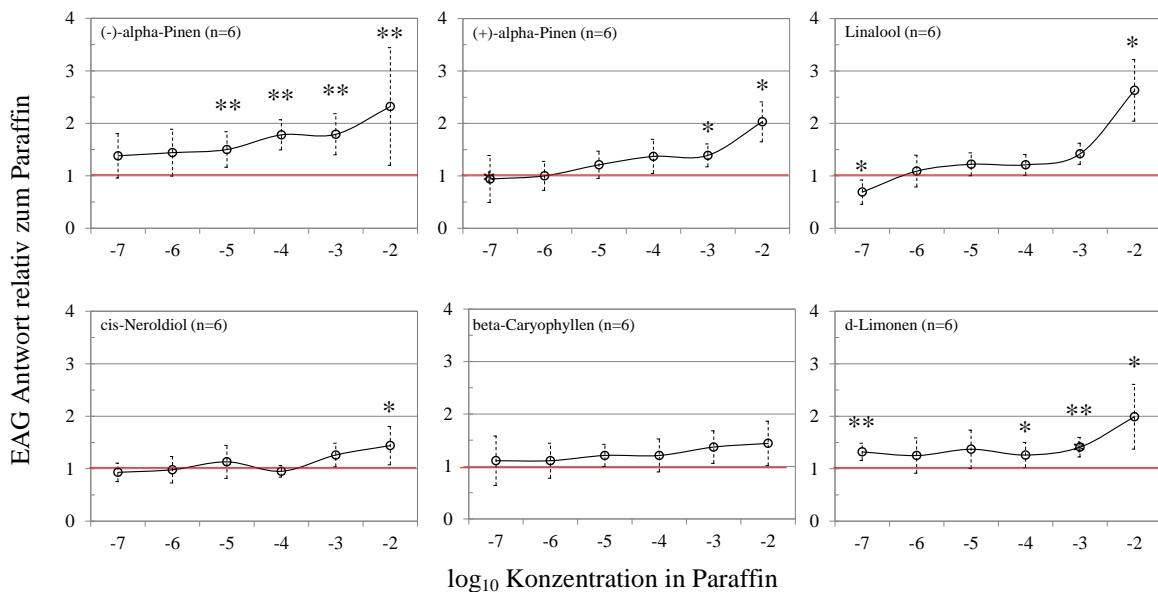


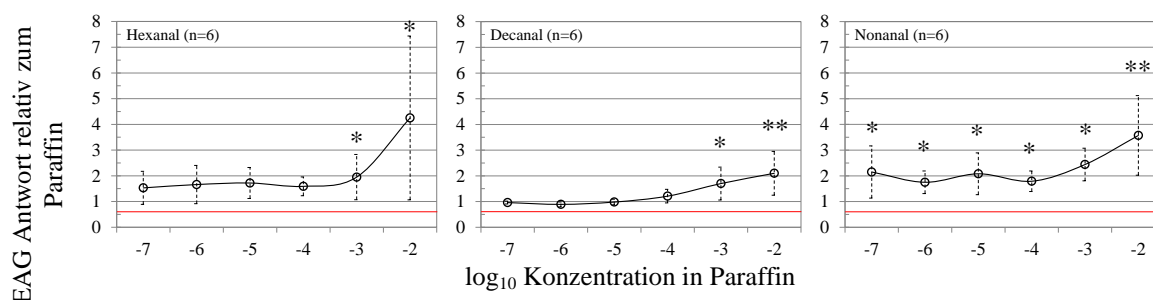
Abbildung 24: EAG Dosis-Antwort von *T. formicarius* (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Terpene und deren Abkömmlinge, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit *t*-Test für gepaarte Stichprobe: n.s. = $p > 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$)

Die Substanzen Linalool und cis-Nerolidiol wurden vom Ameisenbuntkäfer erst in der höchsten der getesteten Verdünnungen signifikant wahrgenommen (Abbildung 24). Keine zum Paraffin signifikante Antennenantwort bei einem Signifikanzniveau von 5 % wurde vom beta-Caryophyllen beobachtet ($p\text{-Wert}_{10^{-3}} = 0,092$; $p\text{-Wert}_{10^{-4}} = 0,095$).

Tabelle 27: Dosis-Antwort von *T. formicarius* auf ausgewählte Terpene und deren Abkömmlinge in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin

	n	Sex	EAG Antworten als Differenz zur Nullvariante (Paraffin) [mV]											
			-7		-6		-5		-4		-3		-2	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
(-)-alpha-Pinen	3	♂♂	16,5 ± 10,9		18,6 ± 11,8		14,3 ± 6,8		21,5 ± 9,5		18,3 ± 7,5		24,2 ± 3,1	
	3	♀♀	1,5 ± 5,2		3,9 ± 6,1		8,3 ± 2,2		16,8 ± 7,6		17,6 ± 2,8		25,6 ± 11,2	
(+)alpha-Pinen	3	♂♂	-2,4 ± 7,1		-1,8 ± 2,7		3,7 ± 2,9		1,8 ± 3,3		3,1 ± 2,4		7,2 ± 4,0	
	3	♀♀	2,9 ± 8,0		3,5 ± 5,5		3,8 ± 6,4		8,1 ± 6,4		6,8 ± 3,4		14,8 ± 9,6	
Linalool	3	♂♂	-6,1 ± 3,5		-1,4 ± 3,8		1,5 ± 2,2		0,6 ± 0,3		2,9 ± 1,4		9,6 ± 4,6	
	3	♀♀	-3,2 ± 3,6		5,2 ± 5,4		4,9 ± 4,9		5,0 ± 3,6		7,4 ± 5,6		23,6 ± 14,2	
cis-Nerolidol	3	♂♂	-1,3 ± 2,8		1,6 ± 3,4		3,2 ± 2,8		-0,8 ± 1,4		4,6 ± 1,9		6,4 ± 1,9	
	3	♀♀	-3,1 ± 3,2		-5,2 ± 4,0		-1,6 ± 3,1		-1,4 ± 2,8		0,9 ± 2,5		2,1 ± 0,9	
beta-Caryophyllen	3	♂♂	-0,2 ± 7,5		-0,5 ± 4,7		1,8 ± 1,5		1,2 ± 5,2		1,6 ± 2,2		3,3 ± 2,3	
	3	♀♀	2,9 ± 4,9		5,3 ± 6,2		5,2 ± 5,5		4,1 ± 2,5		6,1 ± 4,6		4,0 ± 4,8	
d-Limonen	3	♂♂	2,4 ± 0,7		-0,2 ± 1,7		1,7 ± 1,9		0,7 ± 1,0		2,9 ± 1,5		10,0 ± 6,7	
	3	♀♀	4,7 ± 1,1		4,9 ± 2,0		5,4 ± 3,2		3,8 ± 1,5		4,2 ± 1,0		6,7 ± 4,3	

Wie in Tabelle 28 ersichtlich, induzierte das (-)-alpha-Pinen in den niedrigen Verdünnungen höhere Potentiale bei den männlichen Ameisenbuntkäfern, in den höheren Verdünnungsstufen glich sich diese Tendenz zwischen Männchen und Weibchen aus. Durch das (+)-alpha-Pinen hingegen wurden in den höheren Verdünnungsstufen (10^{-3} und 10^{-2}) bei den Weibchen tendenziell höhere Potentiale induziert. Ähnliche Tendenzen zeigten sich auch bei Linalool.

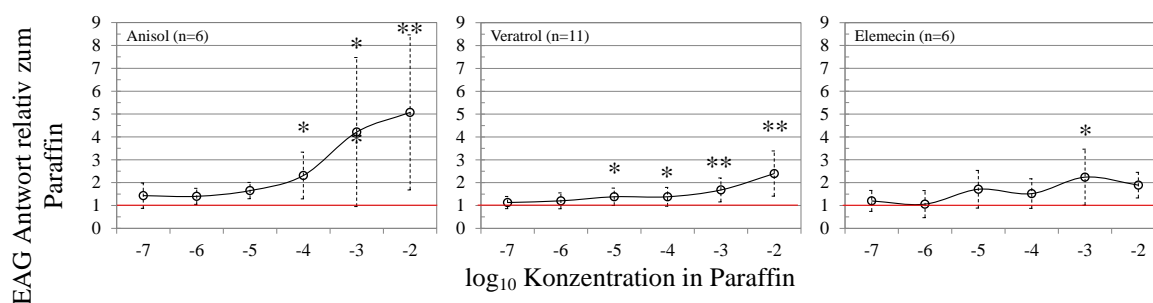
**Abbildung 25:** EAG Dosis-Antwort von *T. formicarius* (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Aldehyde, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit *t*-Test für gepaarte Stichprobe: n.s. = $p > 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$)

Von den drei getesteten Aldehyden wurde das Nonanal am sensitivsten vom Ameisenbuntkäfer wahrgenommen. Bereits in einer Verdünnung von 10^{-7} induzierte das Nonanal beim Ameisenbuntkäfer zur Kontrolle Paraffin signifikant höhere Potentiale (Abbildung 25). Dabei waren die gemessenen Potentiale über alle Verdünnungsstufen bei den Männchen tendenziell höher als bei den Weibchen (Tabelle 28). Auch beim Hexanal und beim Decanal konnte ab einer Verdünnung von 10^{-3} eine Wahrnehmung der Ameisenbuntkäferantenne registriert werden (Abbildung 25). Die Unterschiede der dabei erzeugten Elektropotentiale zwischen Männchen und Weibchen fielen jedoch geringer aus als beim Nonanal (Tabelle 28).

Tabelle 28: Dosis-Antwort von *T. formicarius* auf ausgewählte Aldehyde in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin

	n	Sex	EAG Antworten als Differenz zur Nullvariante (Paraffin) [mV]											
			-7		-6		-5		-4		-3		-2	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Decanal	3	♂♂	-2,3 ± 2,6		-3,9 ± 4,3		-2,2 ± 3,5		1,1 ± 2,5		9,0 ± 2,9		11,4 ± 4,6	
	3	♀♀	-0,3 ± 0,2		-1,3 ± 0,4		0,2 ± 0,6		3,4 ± 2,2		7,7 ± 6,4		11,1 ± 7,5	
Hexanal	3	♂♂	19,7 ± 15,2		22,7 ± 17,2		21,1 ± 13,5		14,4 ± 7,5		13,2 ± 6,2		23,6 ± 23,6	
	3	♀♀	2,7 ± 1,9		2,5 ± 2,1		3,4 ± 3,1		2,4 ± 2,5		5,1 ± 4,7		25,4 ± 8,1	
Nonanal	3	♂♂	14,3 ± 4,7		11,9 ± 6,4		11,1 ± 6,4		11,1 ± 5,3		20,9 ± 10,5		21,1 ± 10,8	
	3	♀♀	5,1 ± 5,4		2,8 ± 1,1		4,6 ± 4,8		2,9 ± 1,4		6,1 ± 0,7		16,1 ± 1,1	

Auch auf das Anisol, das Veratrol und das Elemicin zeigte die Antenne von *T. formicarius* signifikante Reaktionen (Abbildung 26). Die höchste Sensibilität von letztgenannten Substanzen zeigte die Antenne auf das Veratrol, welches bereits in der Verdünnungsstufe 10^{-5} wahrgenommen wurde. In höheren Konzentrationen schien das Veratrol dabei höhere Elektropotentiale bei den weiblichen Ameisenbuntkäfern zu induzieren (Tabelle 29). Das Anisol wurde ab einer Verdünnung von 10^{-4} von der Antenne registriert, wobei in den höheren Verdünnungsstufen tendenziell höhere Elektropotentiale bei den männlichen Ameisenbuntkäfern induziert wurden. Etwas indifferent zeigte sich die Dosis-Antwort Kurve des Elemicin, welches ausschließlich in der 10^{-3} Verdünnung wahrgenommen wurde (Abbildung 26).

**Abbildung 26:** EAG Dosis-Antwort von *T. formicarius* (♂♂+♀♀) auf ausgewählte sonstige Substanzen, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichprobe: n.s. = $p > 0,05$; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$)**Tabelle 29:** Dosis-Antwort von *T. formicarius* auf ausgewählte sonstige Substanzen in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin

	n	Sex	EAG Antworten als Differenz zur Nullvariante (Paraffin) [mV]											
			-7		-6		-5		-4		-3		-2	
			MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD	MW	SD
Anisol	3	♂♂	11,0 ± 9,4		-1,0 ± 1,0		19,4 ± 14,9		11,1 ± 7,0		14,9 ± 6,7		16,3 ± 11,3	
	3	♀♀	0,2 ± 0,8		-1,0 ± 3,7		2,1 ± 1,8		0,7 ± 3,2		7,0 ± 4,8		3,8 ± 2,1	
Veratrol	5	♂♂	-0,6 ± 5,8		1,6 ± 9,2		4,9 ± 6,9		5,0 ± 3,5		8,8 ± 4,7		18,5 ± 10,3	
	5	♀♀	2,0 ± 4,1		1,6 ± 3,6		6,1 ± 6,0		5,3 ± 7,1		12,2 ± 8,0		25,6 ± 10,5	
Elemecin	3	♂♂	11,1 ± 9,4		-1,0 ± 1,0		19,4 ± 14,9		11,1 ± 7,0		14,9 ± 6,7		16,3 ± 11,3	
	3	♀♀	0,2 ± 0,8		-1,0 ± 3,7		2,1 ± 1,8		0,7 ± 3,2		7,0 ± 4,8		3,8 ± 2,1	

6.2.2 ERGEBNISSE DER VERHALTENSEXPERIMENTE⁷

6.2.2.1 NULLVERSUCH

Die Nullversuche machen deutlich, dass für Verhaltensversuche mit Ameisenbunkäfern im Y-Olfaktometer eine Abdeckung der Versuchsapparatur empfohlen werden sollte. Zum einen wurde in den Nullversuchen ohne Abdeckung eine Tendenz für einen Testarm festgestellt (Abbildung 27), welche sich jedoch nicht auf die Reaktion zum Licht (Fenster im Versuchsraum), bzw. vom Licht weg, zurückführen ließ (Abbildung 28 und Abbildung 29). Darüber hinaus wurden ohne Abdeckung des Olfaktometers zumindest bei den Männchen geringere Aktivierungsprozente erreicht (Tabelle 30).

Tabelle 30: Prozentuale Anzahl aktivierter *T. formicarius* in den Nullversuchen in Abhängigkeit von der Versuchszeit und dem Versuchsaufbau

	Zeit [min]	1	2	3	4	5	7,5	10	15
Ohne Abdeckung	Männchen [%]	15,5	21,1	18,9	47,8	46,7	41,1	41,1	40,0
	Weibchen [%]	33,3	41,1	40,0	71,1	64,4	58,9	58,9	61,1
Mit Abdeckung	Männchen [%]	6,7	8,9	8,9	54,4	64,4	65,6	68,9	65,6
	Weibchen [%]	24,4	28,9	34,4	48,9	53,3	63,3	64,4	62,2

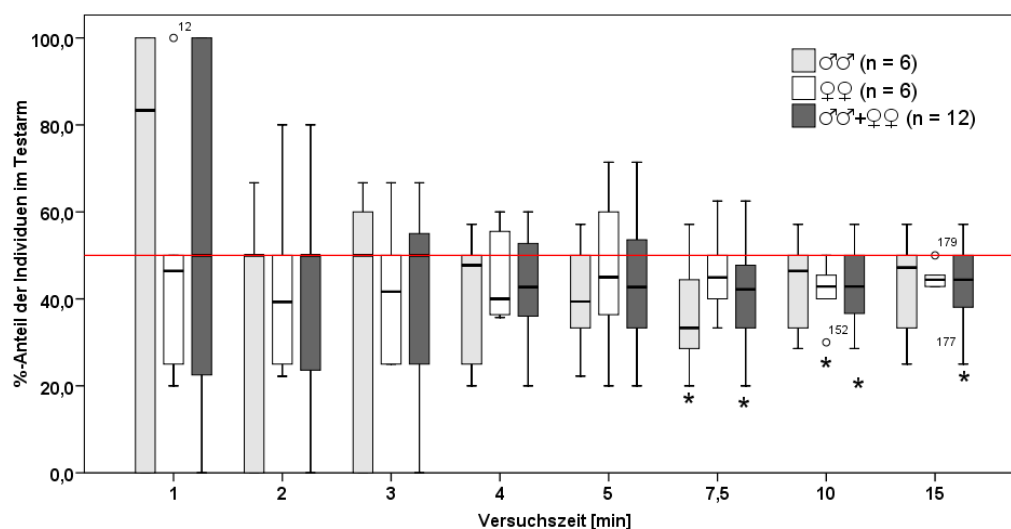


Abbildung 27: Anteil aktivierter Ameisenbunkäfer im Testarm im Nullversuch ohne Abdeckung (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Eine fehlende Abdeckung der Versuchsapparatur muss zudem als kritisch betrachtet werden, da die höchsten Aktivierungsprozente für Männchen und Weibchen bereits nach

⁷ Ein Teil der verwendeten Daten wurde im Rahmen der Bachelorarbeit von Florian Keiper (Keiper 2012), unter Anleitung des Autors, erhoben. Dies betrifft Daten aus den Null- und Positivversuchen sowie die Olfaktometerversuche mit Acetophenon, Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol. Im Rahmen einer anschließenden Masterarbeit wurden die Daten zur Kombination von Semiochemikalien (S. 117ff.), ebenfalls von Florian Keiper, unter Anleitung des Autors, erhoben.

vier Minuten erreicht werden (Tabelle 30) und demnach zu einem Zeitpunkt, zu welchem die Orientierung der Versuchstiere gegebenenfalls noch nicht abgeschlossen ist. Dies wird in Abbildung 27 ersichtlich, da erst ab einer Versuchszeit von 10 Minuten die Streuung zwischen den Versuchsdurchläufen hinsichtlich einer Entscheidung für einen Testarm deutlich reduziert wurde.

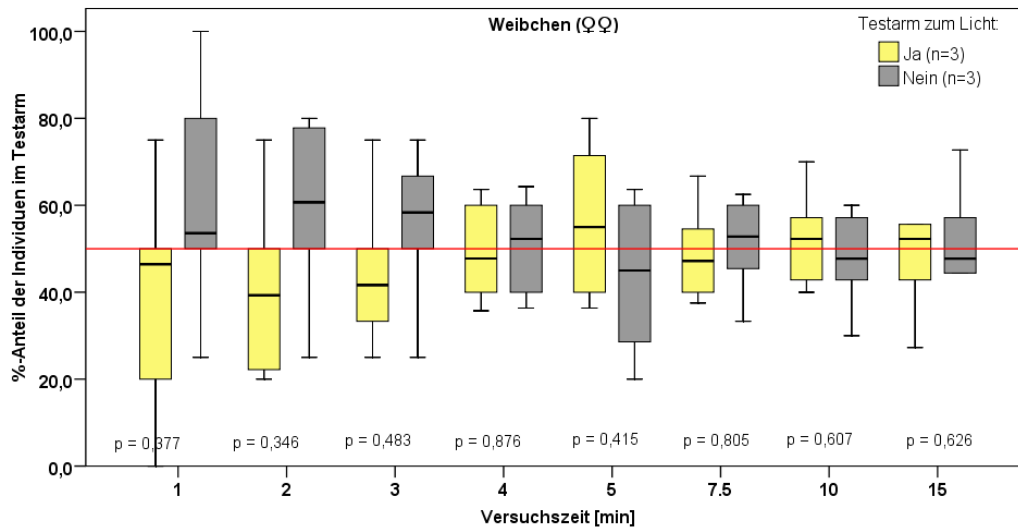


Abbildung 28: Anteil aktivierter weiblicher Ameisenbuntkäfer im Testarm im Nullversuch ohne Abdeckung (Signifikanzprüfung mit t-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „Ja“ und Licht „Nein“)

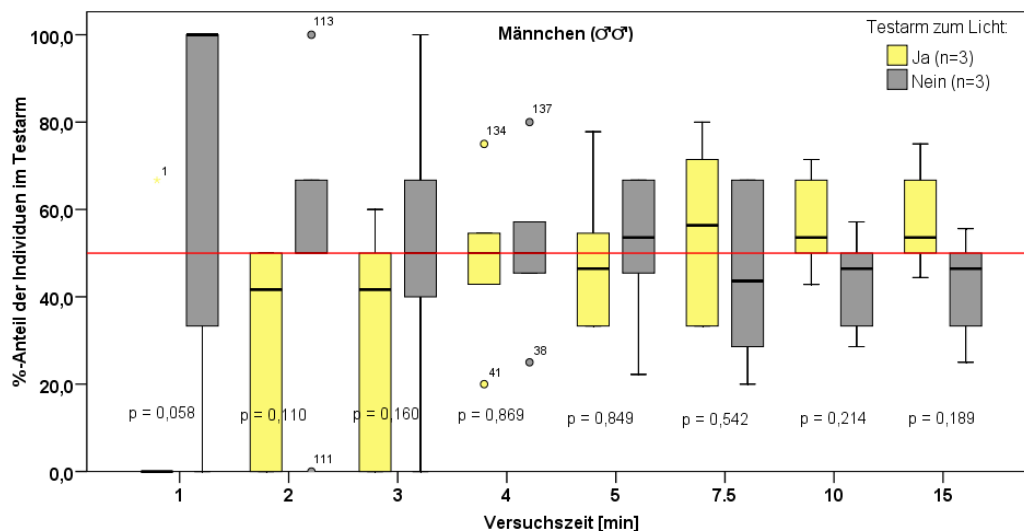


Abbildung 29: Anteil aktivierter männlicher Ameisenbuntkäfer im Testarm im Nullversuch ohne Abdeckung (Signifikanzprüfung mit t-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „Ja“ und Licht „Nein“)

In den Nullversuchen mit Abdeckung konnte eine gleichmäßigere Verteilung der Versuchstiere in den beiden Testarmen nachgewiesen werden als in den Nullversuchen ohne Abdeckung. Die Verteilung der Versuchstiere in den beiden Olfaktometerarmen reichte in den Versuchen mit Abdeckung sehr nahe an eine 50%-50%-Verteilung heran

(Abbildung 30). Ausschließlich die Männchen schienen nach einer längeren Versuchszeit (15 Minuten) eine leichte Tendenz für einen Testarm zu besitzen. Bei gemeinsamer Betrachtung von Männchen und Weibchen konnte in den Nullversuchen mit Abdeckung jedoch keine signifikante Bevorzugung eines Testarms beobachtet werden. Weiterhin konnte in den Olfaktometerversuchen mit Abdeckung ein kontinuierlicher Anstieg der Zahl der aktivierten Versuchstiere beobachtet werden, welche bei einer zehnminütigen Versuchsdauer ihren Höhepunkt erreichte. Auch die Summe (Männchen + Weibchen) an aktivierten Versuchstieren erreichte mit Abdeckung nach zehn Minuten ihr Maximum (Tabelle 30).

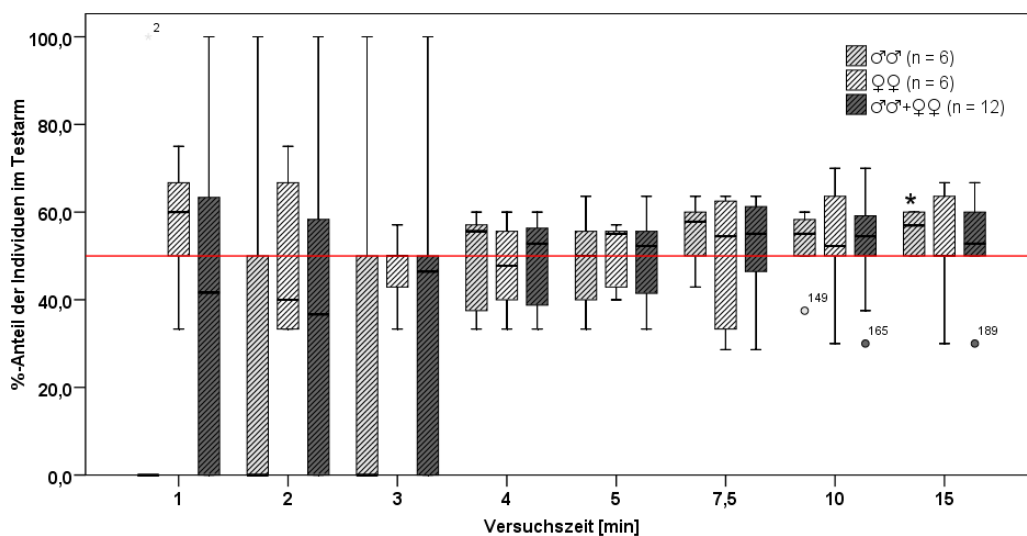


Abbildung 30: Anteil aktivierter Ameisenbuntkäfer im Testarm im Nullversuch mit Abdeckung (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

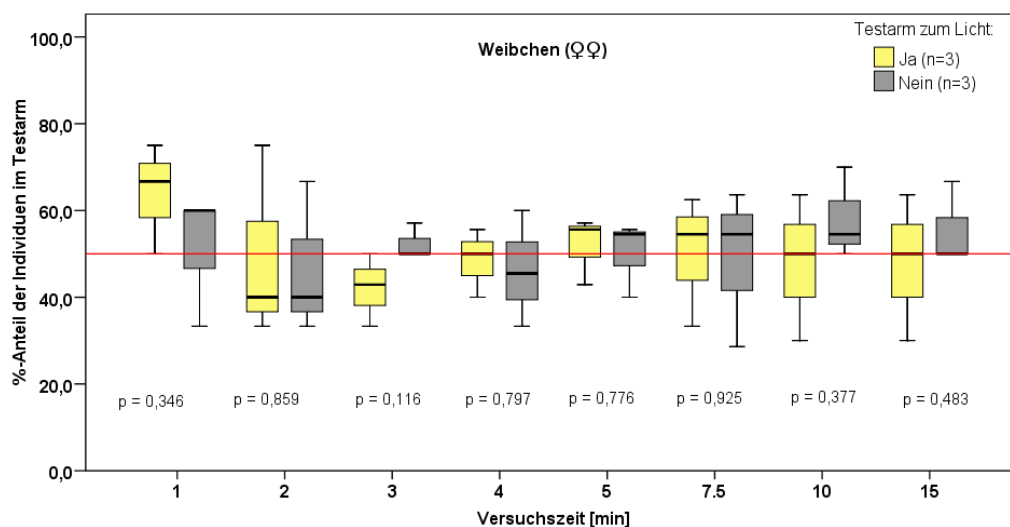


Abbildung 31: Anteil aktivierter weiblicher Ameisenbuntkäfer im Testarm im Nullversuch mit Abdeckung (Signifikanzprüfung mit *t*-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „Ja“ und Licht „Nein“)

Auch in den Nullversuchen mit Abdeckung wurde eine Tendenz zum Testarm, welcher in Richtung Licht (Fenster) ausgerichtet war, geprüft. Erstaunlicherweise ergaben sich hier, zumindest für die Männchen, teilweise signifikante Werte in der Bevorzugung des vom Licht abgewandten Testarmes, wengleich berücksichtigt werden sollte, dass diese zumindest bis zur dritten Versuchsminute lediglich aus einer Anzahl aktivierter Individuen kleiner 10 % resultieren (Abbildung 32 und Tabelle 30). Die leichte Tendenz der Männchen zur Bevorzugung des vom Licht abgewandten Testarmes in der fünften Versuchsminute lässt sich nur sehr schwer interpretieren, zudem hebt sich diese Tendenz ab der 7,5 Versuchsminute bis zum Ende des Versuches auf. Bei einer Gesamtbetrachtung von Männchen und Weibchen (Abbildung 31 und Abbildung 32) kann daher nicht von einer Bevorzugung oder Meidung des zum Fenster ausgerichteten Testarmes ausgegangen werden.

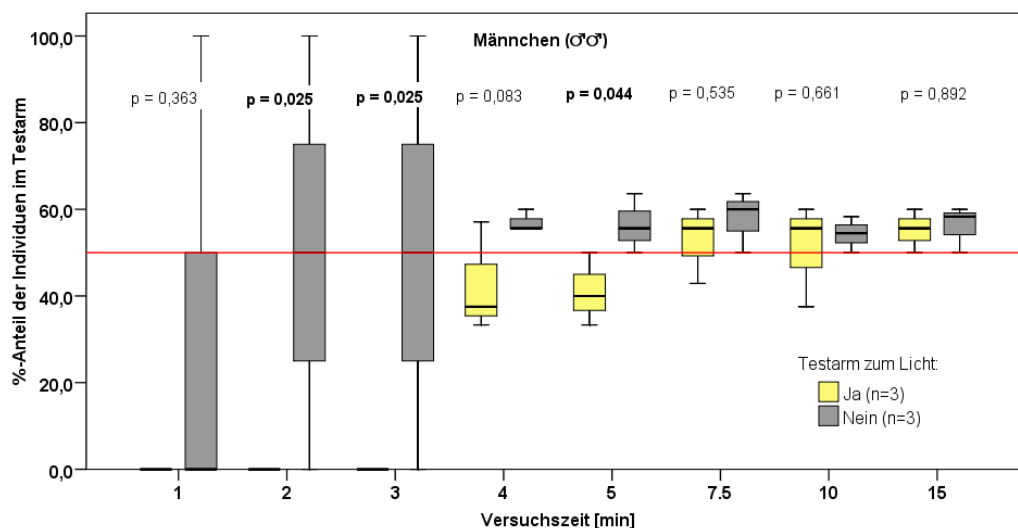


Abbildung 32: Anteil aktivierter männlicher Ameisenbunkäfer im Testarm im Nullversuch mit Abdeckung (Signifikanzprüfung mit *t*-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „ja“ und Licht „nein“)

6.2.2.2 POSITIVVERSUCHE UND REAKTION AUF NATURKÖDER

Vorversuch 2010

Auf das synthetischen Lockstoffgemisch Langlock® der Firma Flügel konnte eine signifikant aggregierende Reaktion der Ameisenbunkäfer im Olfaktometer beobachtet werden (Abbildung 33). Nach einer 7,5-minütigen Versuchszeit konnte für Männchen und Weibchen von *T. formicarius* eine Reaktion zum Testarm beschrieben werden. In der Summe (Männchen + Weibchen) konnte diese Reaktion bis zum Ende des Versuches nach 15 Minuten beobachtet werden. Im Gegensatz zu den Weibchen schienen sich die

Männchen schon sehr frühzeitig für einen Testarm zu entscheiden. Aus den Versuchen wird ersichtlich, dass sich diese bereits nach der ersten Versuchsminute für den Testarm des Olfaktometers entschieden hatten (Abbildung 33).

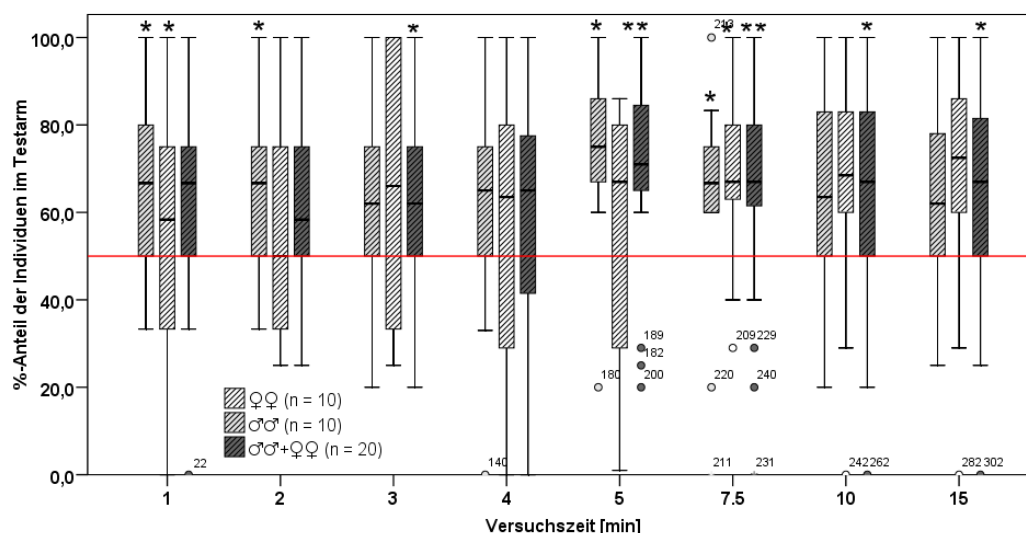


Abbildung 33: Anteil aktivierter Ameisenbuntkäfer im Testarm im Positivversuch mit Langlock® mit Abdeckung (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Dennoch scheint eine längere Versuchsdauer bei Betrachtung der Zahl aktivierter Versuchstiere über den Versuchszeitraum vorteilhaft (Tabelle 31). Der Anteil aktivierter Käfer stieg über den gesamten Versuchszeitraum kontinuierlich an.

Tabelle 31: Anzahl aktivierter Käfer in den Langlock®-Versuchen während der Versuchszeit

	Zeit [min]	1	2	3	4	5	7,5	10	15
Mit Abdeckung	Männchen [%]	35,00	39,00	38,00	44,00	50,00	52,00	47,00	54,00
	Weibchen [%]	45,12	54,88	53,66	57,32	64,63	67,07	68,29	68,29

Zumindest für die Weibchen konnte ab einer 10-minütigen Versuchszeit die prozentual höchste Anzahl aktivierter Individuen verzeichnet werden.

Positivversuch 2011

Auf das Lockstoffgemisch Sexowit® der Firma Witasek Pflanzenschutz GmbH konnte keine signifikant aggregierende Reaktion der männlichen Ameisenbuntkäfer im Olfaktometer beschrieben werden (Abbildung 34), obwohl dieser Lockstoff in Freilandversuchen als äußerst Lockwirksam beschrieben werden kann. Auch die Abdeckung des Olfaktometers bewirkte kein gezieltes Aufsuchen des Testarmes. Dennoch schien eine Abdeckung des Olfaktometers ab der vierten Versuchsminute eine geringere Streuung der Werte zwischen den einzelnen Durchläufen zu bewirken (Abbildung 34).

Auch auf den Langlock-Dispenser konnte keine signifikant aggregierende Reaktion der weiblichen Ameisenbuntkäfer im Olfaktometer beschrieben werden (Abbildung 35), was im Widerspruch zu den Ergebnissen des Vorversuches von 2010 steht.

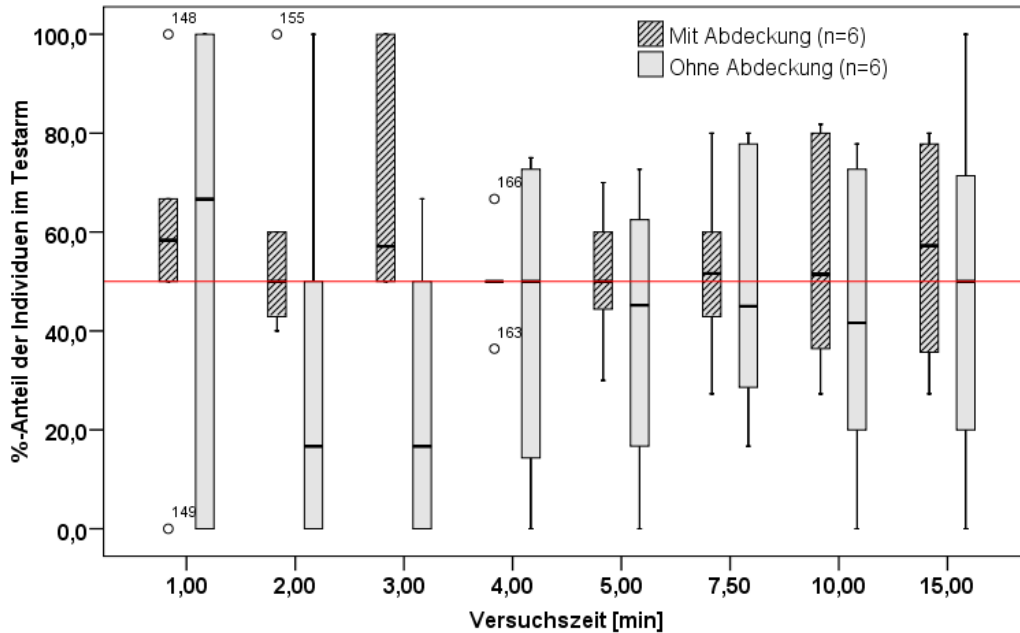


Abbildung 34: Anteil aktivierter männlicher Ameisenbuntkäfer im Testarm im Positivversuch mit Sexowit® mit und ohne Abdeckung (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

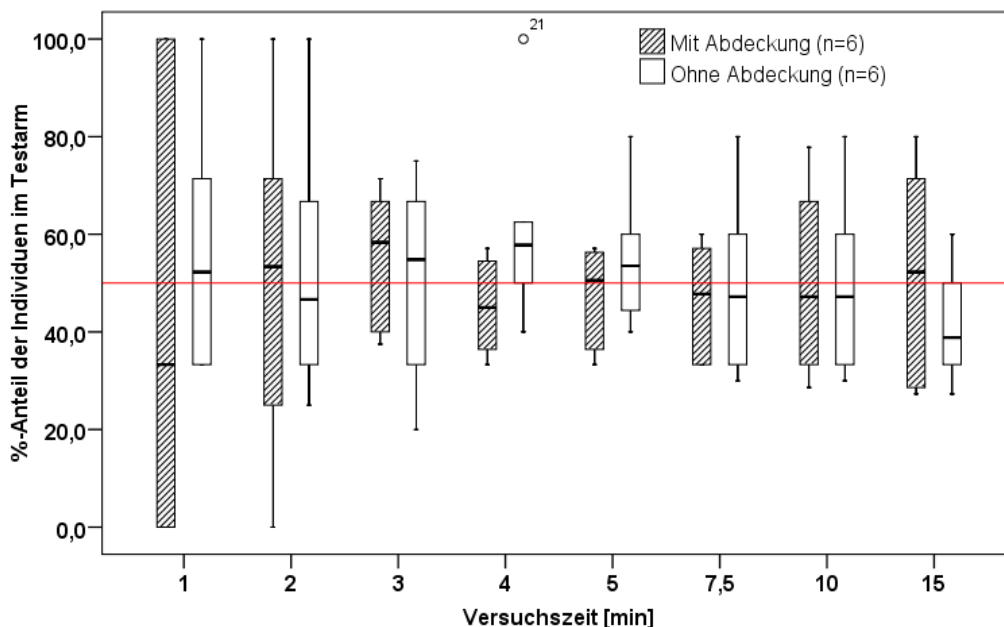


Abbildung 35: Anteil aktivierter weiblicher Ameisenbuntkäfer im Testarm im Positivversuch mit Langlock® mit und ohne Abdeckung (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Hinsichtlich der Zahl aktivierter Käfer konnte, unabhängig von der Positivvariante, im Testarm eine Steigerung mit fortlaufender Versuchsdauer beobachtet werden. Die höchsten

Aktivierungsraten wurden nach 10-minütiger Versuchsdauer beobachtet (Tabelle 32). Weiterhin ist der Tabelle 32 zu entnehmen, dass die Zahl der aktivierten Käfer bei den Versuchen mit Abdeckung, unabhängig vom verwendeten Lockstoff, deutlich höher liegt als in den Durchläufen ohne Abdeckung der Olfaktometerapparatur.

Tabelle 32: Anzahl aktivierter Käfer in den Positivversuchen während der Versuchszeit

Geschlecht und Lockstoff		Zeit [min]	1	2	3	4	5	7,5	10	15
Männchen (Sexowit®)	ohne Abdeckung	[%]	14,40	15,56	20,00	44,44	48,89	50,00	55,56	50,00
	mit Abdeckung	[%]	20,00	27,78	30,00	55,56	65,56	64,44	74,44	72,22
Weibchen (Langlock)	ohne Abdeckung	[%]	33,33	38,89	37,78	53,33	52,22	53,33	53,33	52,22
	mit Abdeckung	[%]	20,00	28,89	45,56	66,67	66,67	67,78	71,11	72,22

Festlegungen für weitere Experimente aus den Ergebnissen des Null- und Positivversuches:

- In den Experimenten des Nullversuches konnte gezeigt werden, dass ohne Beköderung des Olfaktometers eine Gleichverteilung der Versuchstiere in den Olfaktometerarmen erreicht wird. Durch die Beköderung des Olfaktometers konnte zumindest im Vorversuch von 2010 die Funktionalität des Olfaktometers bestätigt werden. Um diese Funktionalität zu bekräftigen, werden zusätzliche Positivversuche mit Naturködern durchgeführt.
- Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die Ameisenbunkäfer auch ohne Abdeckung des Olfaktometers nicht signifikant für die hellere (in Richtung Fenster) oder dunklere Seite (vom Fenster abgewandt) des Olfaktometers entscheiden. Dennoch wird das Olfaktometer für die weiteren Versuche abgedeckt, da sowohl im Nullversuch (Tabelle 30) als auch im Positivversuch (Tabelle 32) mit der Abdeckung des Olfaktometers höhere Aktivierungsraten der Versuchstiere erzielt werden konnten. Zudem wird durch die Abdeckung eine Beeinflussung vermieden, welche durch Bewegungen der den Versuch durchführenden Person entstehen könnten.
- Um eine möglichst hohe Teilnahme an Versuchstieren zu gewährleisten, werden 10 Minuten als Versuchszeit festgelegt. Eine längere Versuchsdauer führt unter Umständen zum Zurückwandern von Versuchstieren aus dem Testarm in den Stammarm.

Erprobung auf Naturköder

Auf das mit *L. varius* besiedelte Eschenholzstück zeigten die Ameisenbuntkäfer im Olfaktometer eine signifikant aggregierende Reaktion (Abbildung 36). Die deutlichste Reaktion war bei den weiblichen Ameisenbuntkäfern zu beobachten, die männlichen Tiere zeigten indifferentes Verhalten. Auf das gesammelte Bohrmehl konnte hingegen keine aggregierende Reaktion von *T. formicarius* beobachtet werden. Tendenziell reagierten die Männchen und Weibchen auf das Bohrmehl mit repellentem Verhalten. Bei gemeinsamer Betrachtung von Männchen und Weibchen stellte sich dieser Zusammenhang als signifikant heraus.

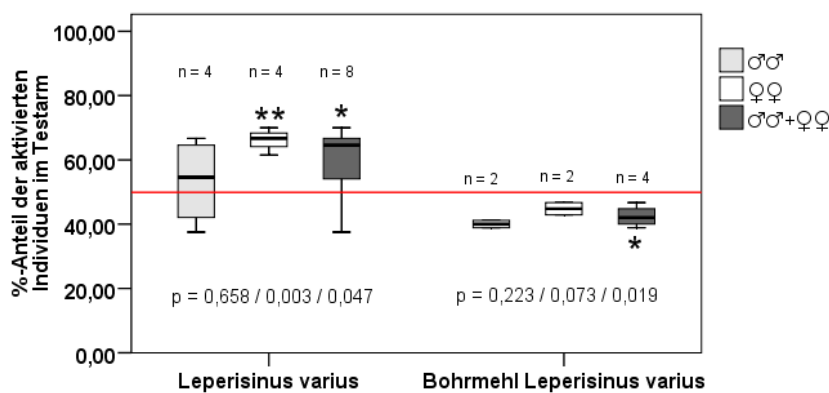


Abbildung 36: Reaktion von *T. formicarius* im Olfaktometer auf von *L. varius* besiedeltes Eschenholz sowie Bohrmehl von *L. varius* (Bohrmehl gewonnen von Stämmen, an welchen Muttergänge fertig entwickelt und Einischen angelegt waren, teilweise schon begonnene Larvengänge) (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Auch auf mit *T. domesticum* besiedeltes Buchenholz wurde eine aggregierende Reaktion von *T. formicarius* ersichtlich (Abbildung 37).

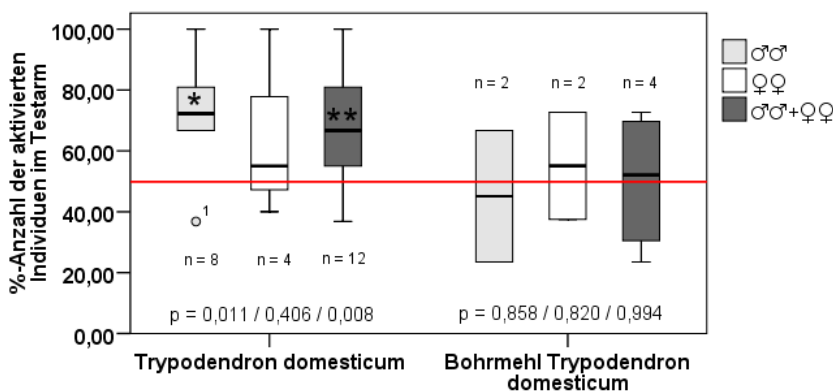


Abbildung 37: Reaktion von *T. formicarius* im Olfaktometer auf von *T. domesticum* besiedeltes Buchenholz sowie Bohrmehl von *T. domesticum* (Bohrmehl gewonnen von Stämmen 14 Tage nach der Besiedlung) (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Entgegen den Beobachtungen bei *L. varius* zeigten hier die männlichen Ameisenbunkäfer eine deutlichere Reaktion. Auf das verwendete Bohrmehl des Nutzholzborkenkäfers konnte lediglich indifferentes Verhalten beobachtet werden.

Auch auf Eichenholz, das mit *S. intricatus* besiedelt war, konnte im Olfaktometer eine gerichtete Reaktion von *T. formicarius* erfasst werden (Abbildung 38). Wobei sich dies signifikant nur bei gemeinsamer Betrachtung von Männchen und Weibchen nachweisen ließ. Auf das Bohrmehl von *S. intricatus* hingegen wurde zumindest bei den Männchen repellente Reaktion beobachtet.

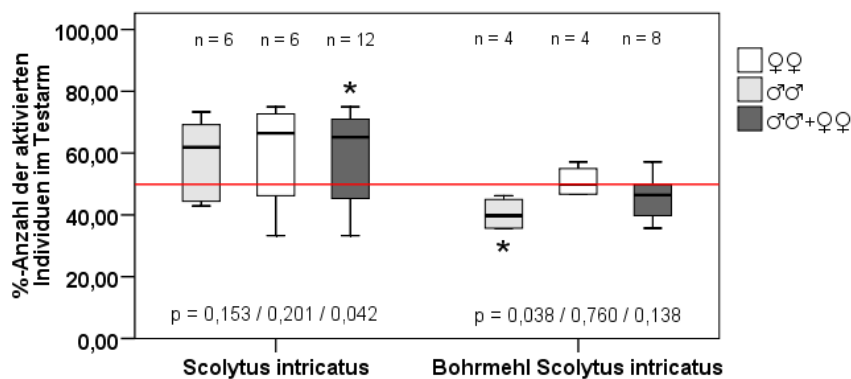


Abbildung 38: Reaktion von *T. formicarius* im Olfaktometer auf von *S. intricatus* besiedeltes Eichenholz sowie Bohrmehl von *S. intricatus* (Bohrmehl gewonnen von Stämmen 14 Tage nach der Besiedlung) (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Aus den erfolgreichen Experimenten mit dem Naturphänomen kann abgeleitet werden, dass die Olfaktometerapparatur geeignet erscheint, um verhaltensmodifizierende Reaktionen von *T. formicarius* auf ausgewählte Testsubstanzen zu beobachten. Die folgenden Experimente mit Testsubstanzen werden entsprechend den definierten Rahmenbedingungen auf Seite 109 durchgeführt.

6.2.2.3 TESTSUBSTANZEN

Olfaktometerexperimente mit ausgewählten Ketonen

Auf das Nonanon-2 zeigten die Ameisenbunkäfer eine aggregierende Reaktion im Olfaktometer (Abbildung 39). Bereits in einer 0,1-prozentigen Verdünnung konnte bei zusammenfassender Betrachtung von Männchen und Weibchen eine Lockwirkung des Nonanon-2 nachgewiesen werden. Auf die 10-prozentige Verdünnung konnte hingegen für die Weibchen eine aggregierende Reaktion auf den Duftreiz beobachtet werden (Abbildung 39). Eine repellente Reaktion auf das Nonanon-2 mit zunehmender Konzentration des Duftreizes wurde nicht erfasst.

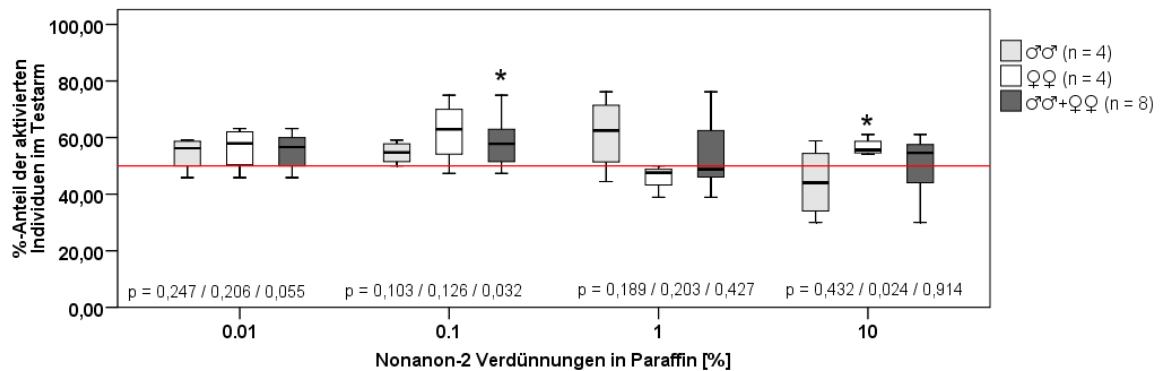


Abbildung 39: Reaktion von *T. formicarius* auf Nonanon-2 im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Auf das Acetophenon wurde bis zur 1-prozentigen Verdünnung zunächst ein indifferentes Verhalten des Ameisenbunkäfers beobachtet. Bei einer 10-prozentigen Acetophenon-Konzentration konnte bei *T. formicarius* jedoch deutlich repellentes Verhalten nachgewiesen werden (Abbildung 40).

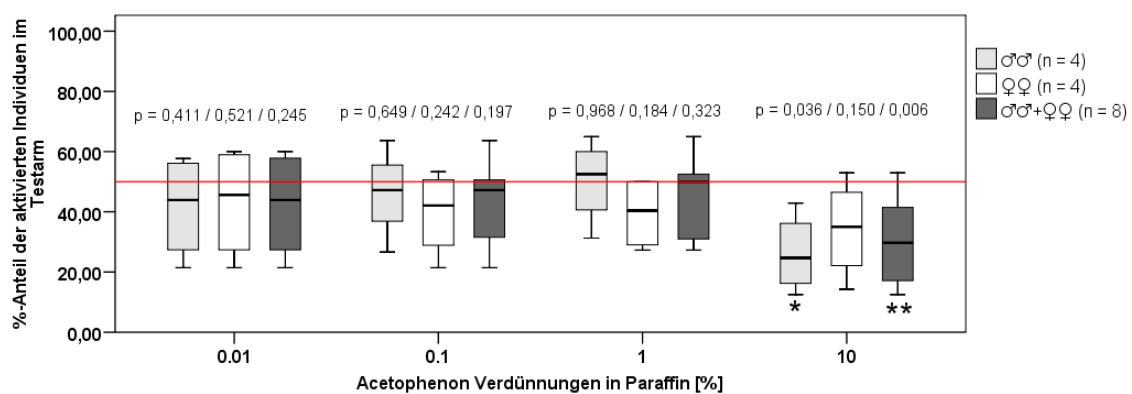


Abbildung 40: Reaktion von *T. formicarius* auf Acetophenon im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Zum 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon zeigte der Ameisenbunkäfer bereits ab einer Verdünnung von 0,1 % eine repellente Reaktion. Welche für die 1 % Verdünnung nur für die Männchen beschrieben werden konnte. Bei einem Anstieg der 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon-Konzentration auf 10 % zeigte sich sowohl für die Männchen als auch für die Weibchen eine indifferente Verhaltensweise (Abbildung 41).

Auf das 2-Undecanon wurde eine indifferente Reaktion des Ameisenbunkäfers beobachtet, welche sich jedoch mit steigender Konzentration, ähnlich dem Acetophenon, in eine tendenziell repellente Reaktion wandelte (Abbildung 42). Signifikant konnte dieser Zusammenhang jedoch nicht beschrieben werden.

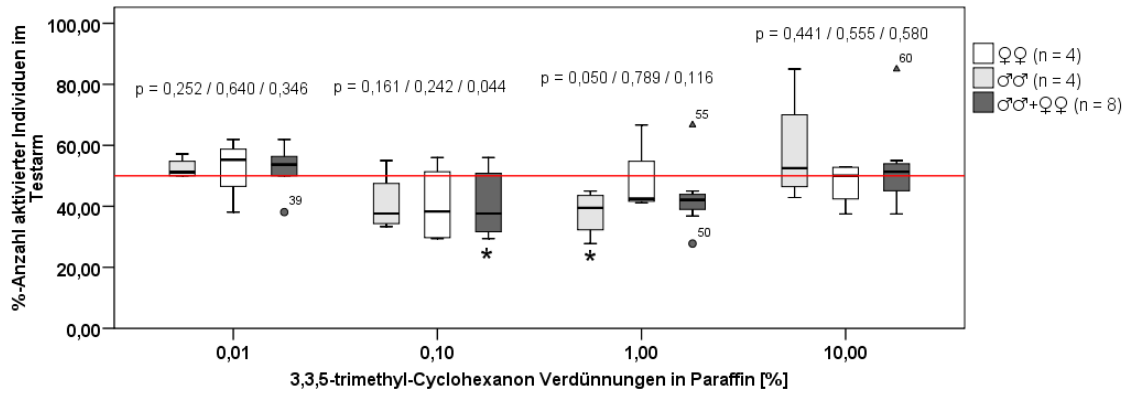


Abbildung 41: Reaktion von *T. formicarius* auf 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

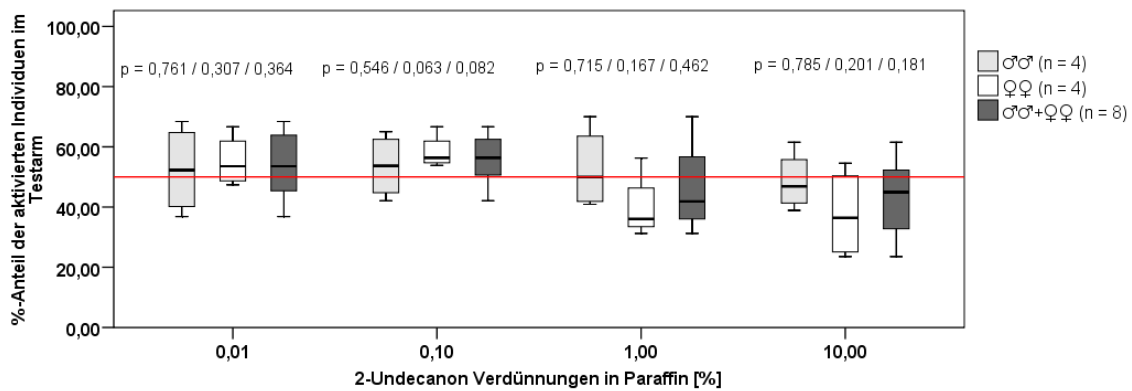


Abbildung 42: Reaktion von *T. formicarius* auf 2-Undecanon im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Olfaktometerexperimente mit ausgewählten Alkoholen

Für das Ethanol kann tendenziell eine steigende Repellenz auf *T. formicarius* mit zunehmender Konzentrationsstärke beschrieben werden (Abbildung 43).

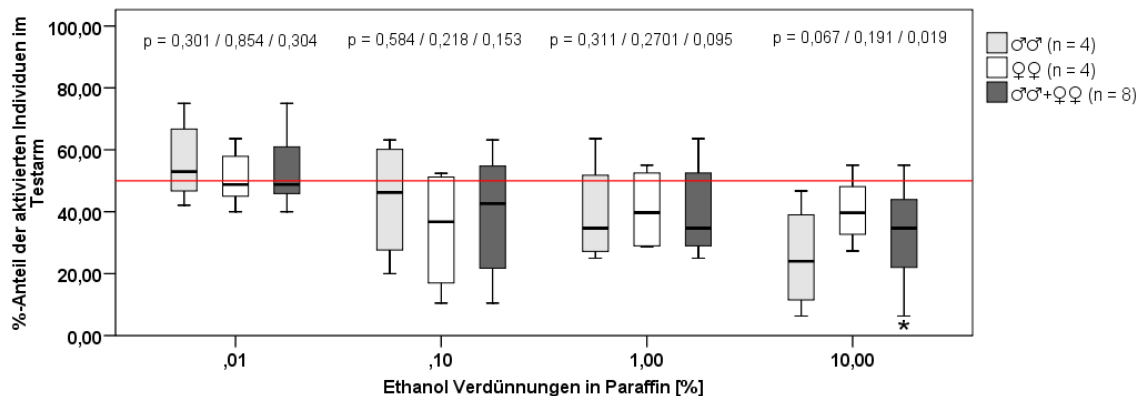


Abbildung 43: Reaktion von *T. formicarius* auf Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

In der 10 % Verdünnung zeigt sich dieser Zusammenhang bei gemeinsamer Betrachtung beider Geschlechter als leicht signifikant.

Auf das 4-Methylheptan-3-ol konnten in keiner Konzentrationsstufe signifikante Reaktionen des Ameisenbunkäfers beobachtet werden (Abbildung 44). Jedoch zeigt sich bei gemeinsamer Betrachtung von Männchen und Weibchen eine tendenzielle Lockwirkung des 4-Methylheptan-3-ols mit steigender Konzentration der Substanz.

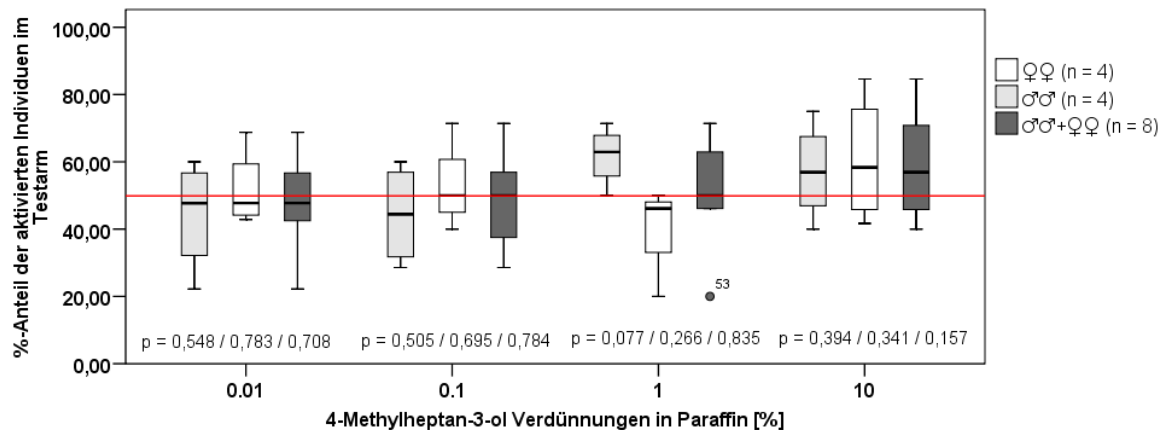


Abbildung 44: Reaktion von *T. formicarius* auf 4-Methylheptan-3-ol im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Der Alkohol 3-Penten-2-ol induzierte bereits bei einer Verdünnung von 0,01 % Attraktivität für die weiblichen Ameisenbunkäfer (Abbildung 45). Auch bei gemeinsamer Betrachtung von Männchen und Weibchen konnte in dieser Verdünnungsstufe Attraktivität auf den Ameisenbunkäfer nachgewiesen werden. Mit steigender Konzentration der Substanz zeigten sowohl Männchen als auch Weibchen tendenziell repellentes Verhalten auf das 3-Penten-2-ol.

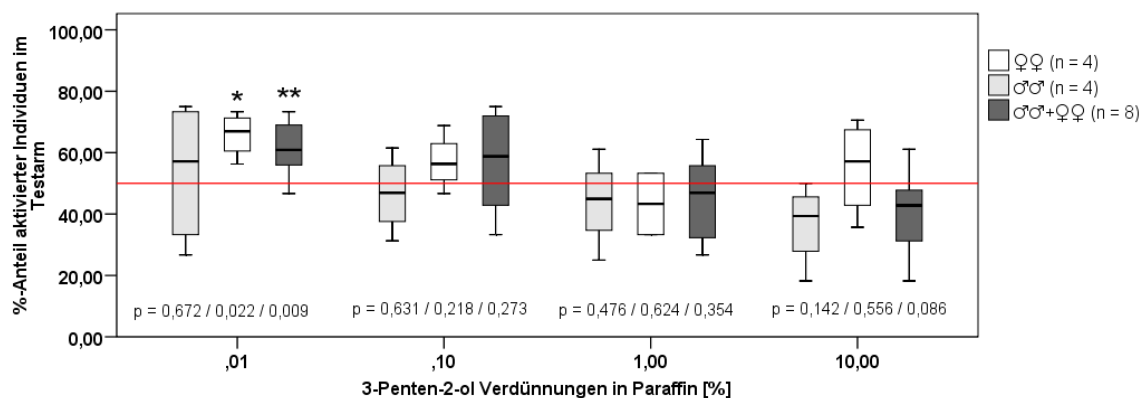


Abbildung 45: Reaktion von *T. formicarius* auf 3-Penten-2-ol im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; *n.s.* = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Olfaktometerexperimente mit ausgewählten Kairomonen

Auf das als Kairomon für *T. formicarius* bekannte (S)-(-)-Ipsenol konnte bereits in der niedrigsten getesteten Konzentration (0,01 %) eine aggregierende Reaktion beobachtet werden. Diese war vor allem bei den männlichen Ameisenbuntkäfern zu beobachten (Abbildung 46). Von den höheren Konzentration des (S)-(-)-Ipsenol konnte keine Lockwirkung mehr auf *T. formicarius* beobachtet werden. Hingegen wurde mit steigender Konzentration tendenziell eine repellente Reaktion auf das (S)-(-)-Ipsenol beobachtet.

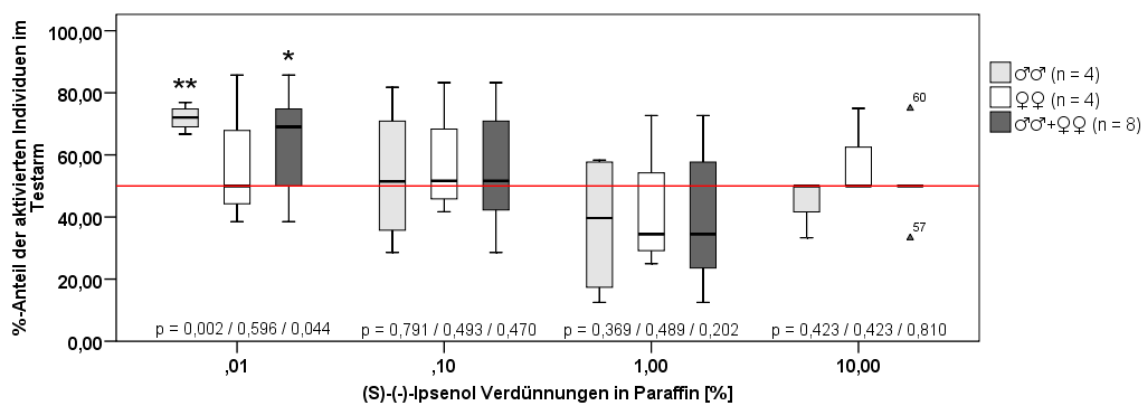


Abbildung 46: Reaktion von *T. formicarius* auf (S)-(-)-Ipsenol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$) Anmerkung: in der höchsten Verdünnungsstufe setzte sich die Zahl der Wiederholungen wie folgt zusammen: ♂♂: n = 3, ♀♀: n = 3, ♂♂+♀♀: n = 6

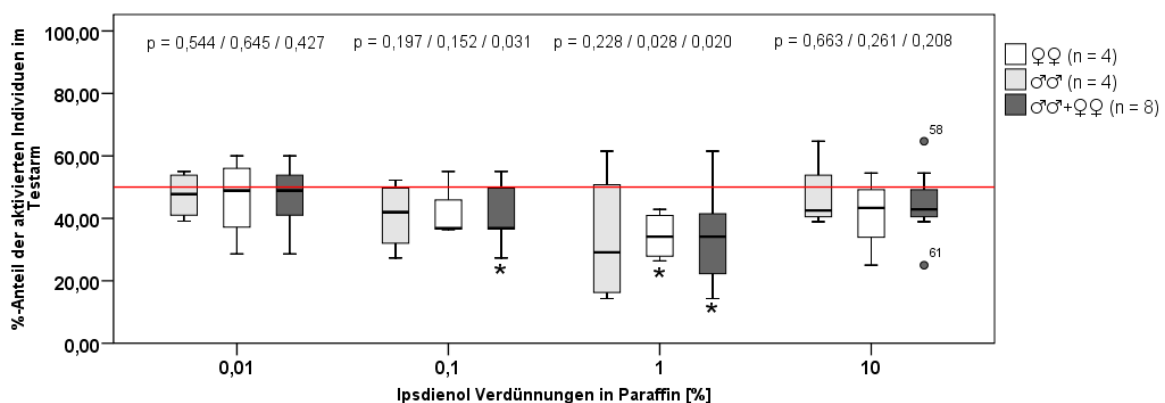


Abbildung 47: Reaktion von *T. formicarius* auf Ipsdienol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Zum Ipsdienol zeigte *T. formicarius* eine vergleichbare Reaktion wie auf das (S)-(-)-Ipsenol. In der geringsten getesteten Ipsdienol Konzentration wurde indifferentes Verhalten des Ameisenbuntkäfers beobachtet (Abbildung 47), hingegen zeigte der Ameisenbuntkäfer auf diese Konzentrationsstufe des (S)-(-)-Ipsenol eine aggregierende Reaktion. Das lässt vermuten, dass möglicherweise eine geringere Verdünnung des Ipsdienol notwendig gewesen wäre, um Attraktivität auf *T. formicarius* nachzuweisen. Auf

die 0,1 % und 1 % Verdünnung wurde hingegen repellentes Verhalten des Ameisenbuntkäfers beobachtet.

Olfaktometerexperimente mit ausgewählten Terpenen und deren Abkömmlingen

Auf das beta-Caryophyllen zeigte der Ameisenbuntkäfer über alle Konzentrationsstufen hinweg ein indifferentes Verhalten (Abbildung 48), welches sich in der 10 % Verdünnung tendenziell in ein repellentes Verhalten wandelte.

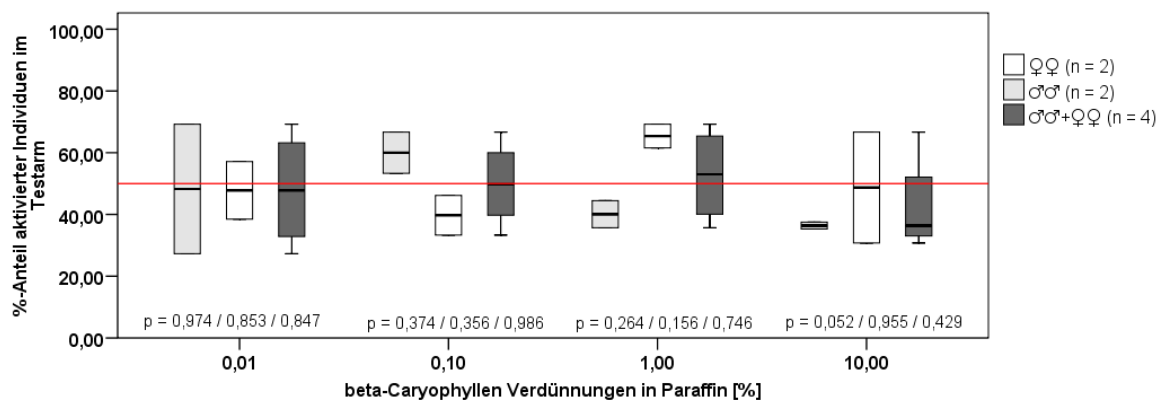


Abbildung 48: Reaktion von *T. formicarius* auf beta-Caryophyllen im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Zum cis-Nerolidol wurde ein konzentrationsabhängiges Verhalten des Ameisenbuntkäfers beobachtet (Abbildung 49). Bei einer geschlechtsunspezifischen Betrachtung kann bei einer Verdünnung von 0,1 % eine leichte Aggregationswirkung auf den Ameisenbuntkäfer erwartet werden. Mit weiter steigenden Konzentrationen ergibt sich eine stärker werdende Tendenz zur Meidung des cis-Nerolidols.

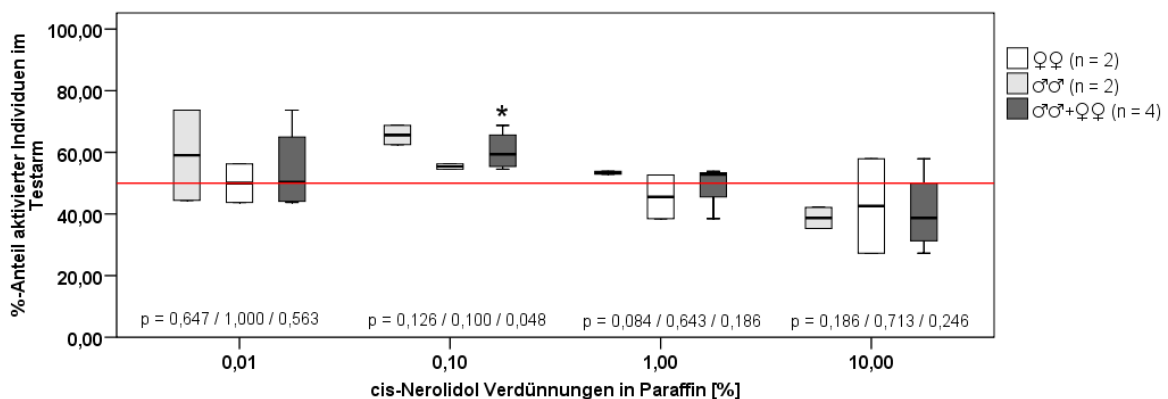


Abbildung 49: Reaktion von *T. formicarius* auf cis-Nerolidol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Auf das Linalool wurden in den Olfaktometerversuchen keine signifikanten Beobachtungen hinsichtlich konzentrationsabhängiger Reaktionen des Ameisenbunkkäfers gewonnen. Tendenziell schienen jedoch Linalool-Verdünnungen von 0,1 bis 1 % leicht aggregierend auf den Ameisenbunkkäfer zu wirken. Hingegen bewirkten sehr hohe Konzentrationen (10 %) tendenziell eher ein repellentes Verhalten.

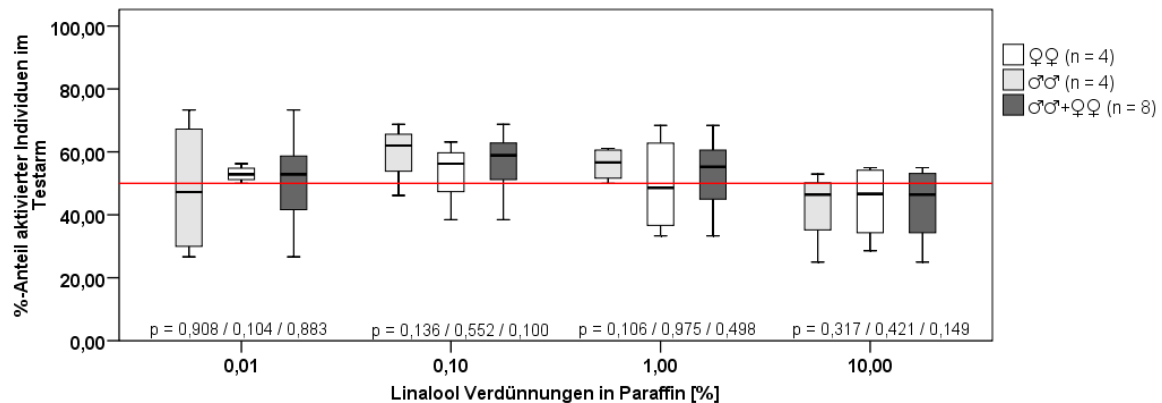


Abbildung 50: Reaktion von *T. formicarius* auf Linalool im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Olfaktometerexperimente mit ausgewählten Aldehyden

Die Ameisenbunkkäfer zeigten auf das Decanal überwiegend eine deutlich repellente Reaktion (Abbildung 51). Wobei diese Reaktion bei den Weibchen ab einer Verdünnung von 0,1 % als signifikant beschrieben werden konnte. Bei den Männchen konnte das repellente Verhalten erst ab einer 10 % Verdünnung des Decanals signifikant erfasst werden. Zudem zeigten die Männchen bei einer 0,1 % Verdünnung des Decanals auch tendenziell aggregierendes Verhalten.

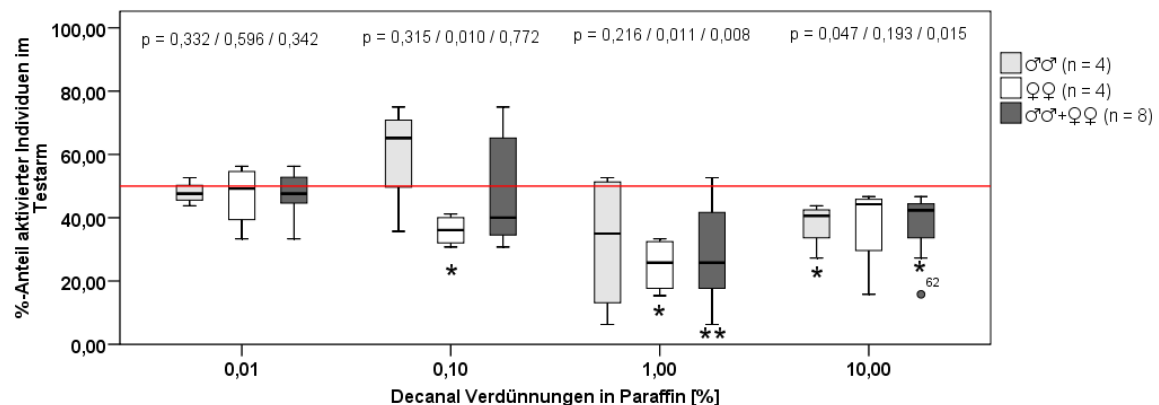


Abbildung 51: Reaktion von *T. formicarius* auf Decanal im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Olfaktometerexperimente mit ausgewählten sonstigen Semiochemikalien

Das Veratrol erzeugte beim Ameisenbunkäfer indifferentes Verhalten (Abbildung 52). Zudem war zu beobachten, dass mit steigender Konzentration des Veratrols die Streuung zwischen den einzelnen Versuchen, gemessen an der Anzahl der Individuen die sich in den Testarm bewegten, stark zunahm.

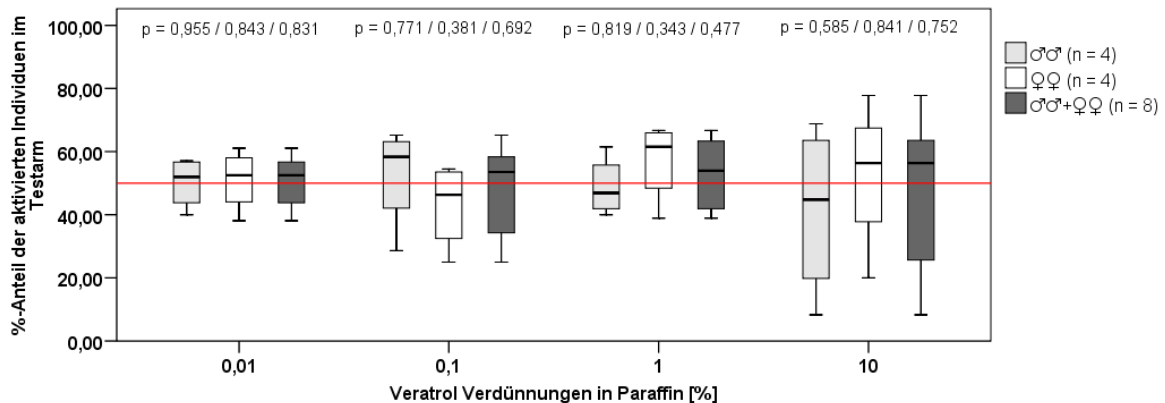


Abbildung 52: Reaktion von *T. formicarius* auf Veratrol im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Auf das Anisol konnte keine konzentrationsabhängige Reaktion des Ameisenbunkäfers beobachtet werden (Abbildung 53). Auch in der höchsten getesteten Konzentrationsstufe verteilten sich die Ameisenbunkäfer zahlenmäßig nahezu identisch in Test- und Nullarm des Olfaktometers.

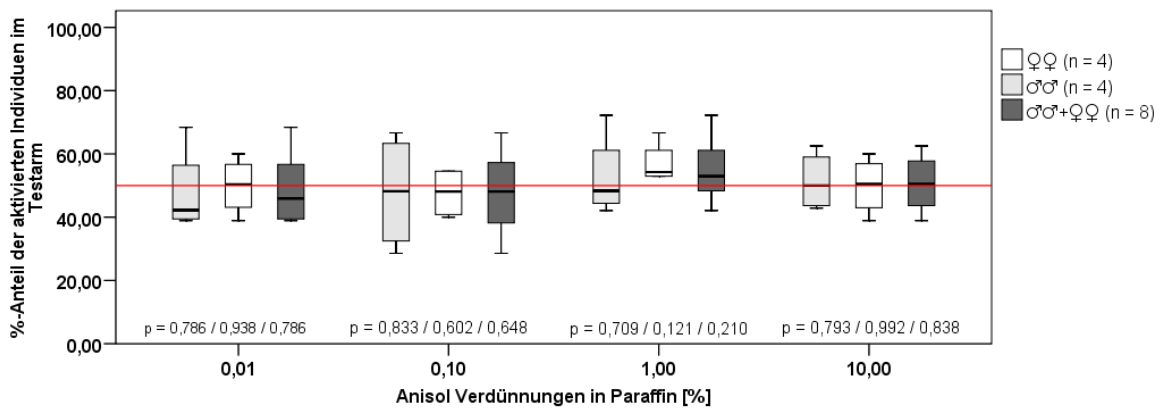


Abbildung 53: Reaktion von *T. formicarius* auf Anisol im Y-Olfaktometer (Statistik: *t*-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Olfaktometerexperimente mit Kombinationen von Semiochemikalien

Durch die Kombination von Veratrol mit Ethanol konnten, zumindest bei Kombination mit 0,01 % Ethanol, signifikante Reaktion des Ameisenbunkkäfers beobachtet werden. Analog zu den beobachteten Tendenzen einer Aggregation bei 1% Veratrol per se (Abbildung 52) wurde in Kombination mit 0,01% Ethanol eine vergleichbare Wirkung auf die *Thanasimus*-Weibchen beobachtet (Abbildung 54 A). Hingegen bewirkte die Kombination von 0,1 % Veratrol mit 0,01 % Ethanol ein repellentes Verhalten der Ameisenbunkkäfer Weibchen. Aus den Kombinationen der Veratrol Verdünnungen mit 1 % Ethanol resultierte ein, analog zu Veratrol per se, indifferentes Verhalten von *T. formicarius* (Abbildung 54 B).

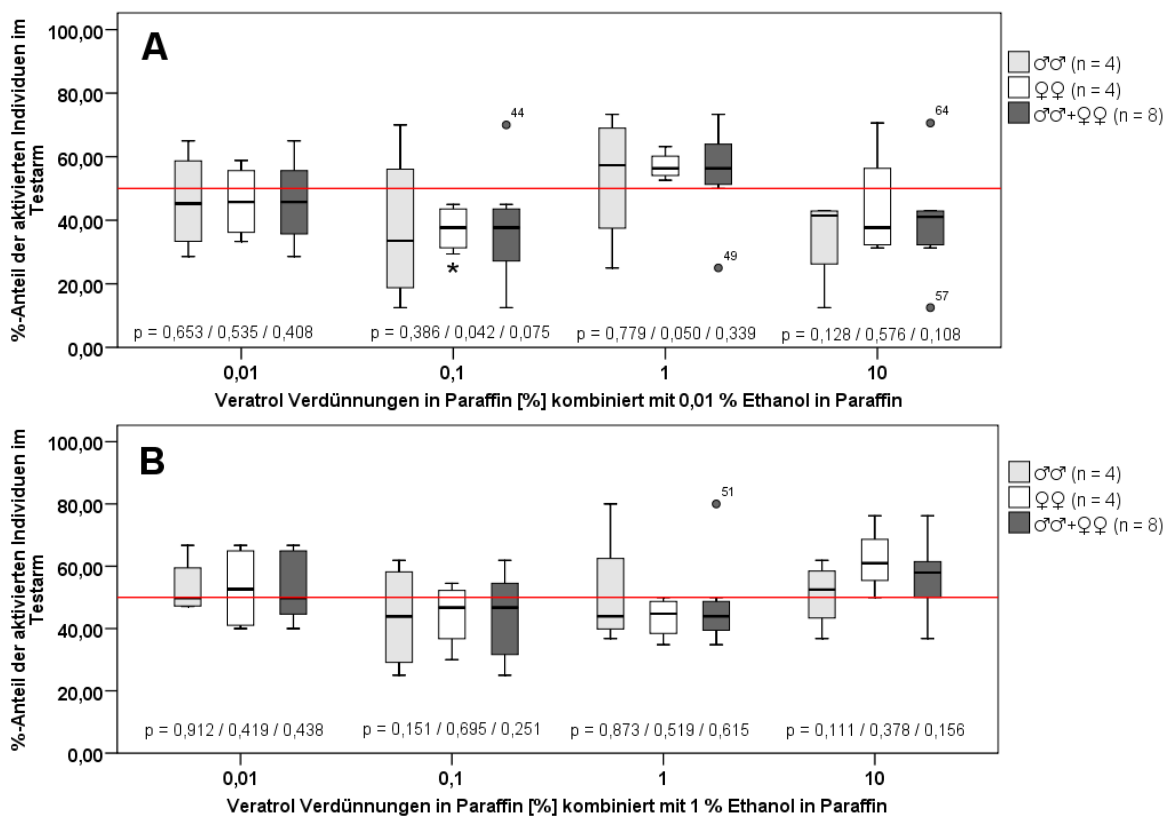


Abbildung 54: Reaktion von *T. formicarius* auf Veratrol kombiniert mit A) 0,01 % Ethanol und B) 1 % Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Durch die Kombination von Nonanon-2 mit Ethanol wurde die für Nonanon-2 per se (Abbildung 39) beobachtete Attraktivität auf *T. formicarius* reduziert, was in teilweise repellentes Verhalten der Ameisenbunkkäfer resultierte (Abbildung 55). Dabei schien sich eine höhere Ethanolkonzentration negativ auf die Aggregation der Ameisenbunkkäfer auszuwirken. Entsprechend wurde bei der Kombination von Nonanon-2 mit 0,01 % Ethanol lediglich bei einer 1 % Nonanon-2-Verdünnung ein repellentes Verhalten der

Ameisenbuntkäfer signifikant nachgewiesen, und konnte bei steigender Nonanon-2-Konzentration lediglich als Tendenz abgebildet werden (Abbildung 55 A). Hingegen wurde bei der Kombination von Nonanon-2 mit 1 % Ethanol sowohl bei der 1 % Nonanon-2-Verdünnung als auch in der 10 % Nonanon-2-Verdünnung ein repellentes Verhalten von *T. formicarius* erfasst (Abbildung 55 B).

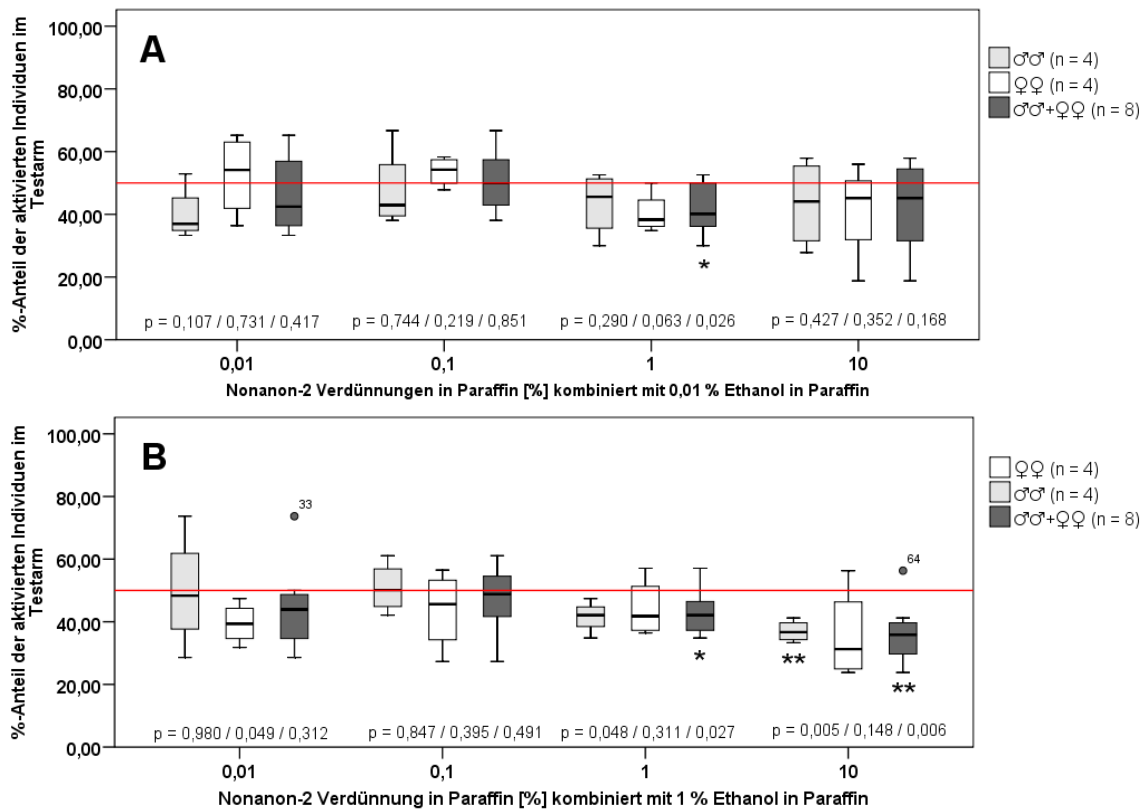


Abbildung 55: Reaktion von *T. formicarius* auf Nonanon-2 kombiniert mit A) 0,01 % Ethanol und B) 1 % Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

Die Kombination von 4-Methylheptan-3-ol mit Ethanol bewirkte in Abhängigkeit von der Ethanolkonzentration unterschiedliche Reaktionen bei *T. formicarius*. Entsprechend führte eine geringe Ethanolkonzentration (0,01 %) kombiniert mit niedrigen 4-Methylheptan-3-ol Konzentrationen (0,01 % und 0,1 %) zu einem repellenten Verhalten der Ameisenbuntkäferweibchen (Abbildung 56 A). Aus einer Kombination der 1 % Ethanol-Verdünnung mit einer 1 % 4-Methylheptan-3-ol-Verdünnung resultierte jedoch eine leichte Aggregation der Ameisenbuntkäfer (Abbildung 56 B).

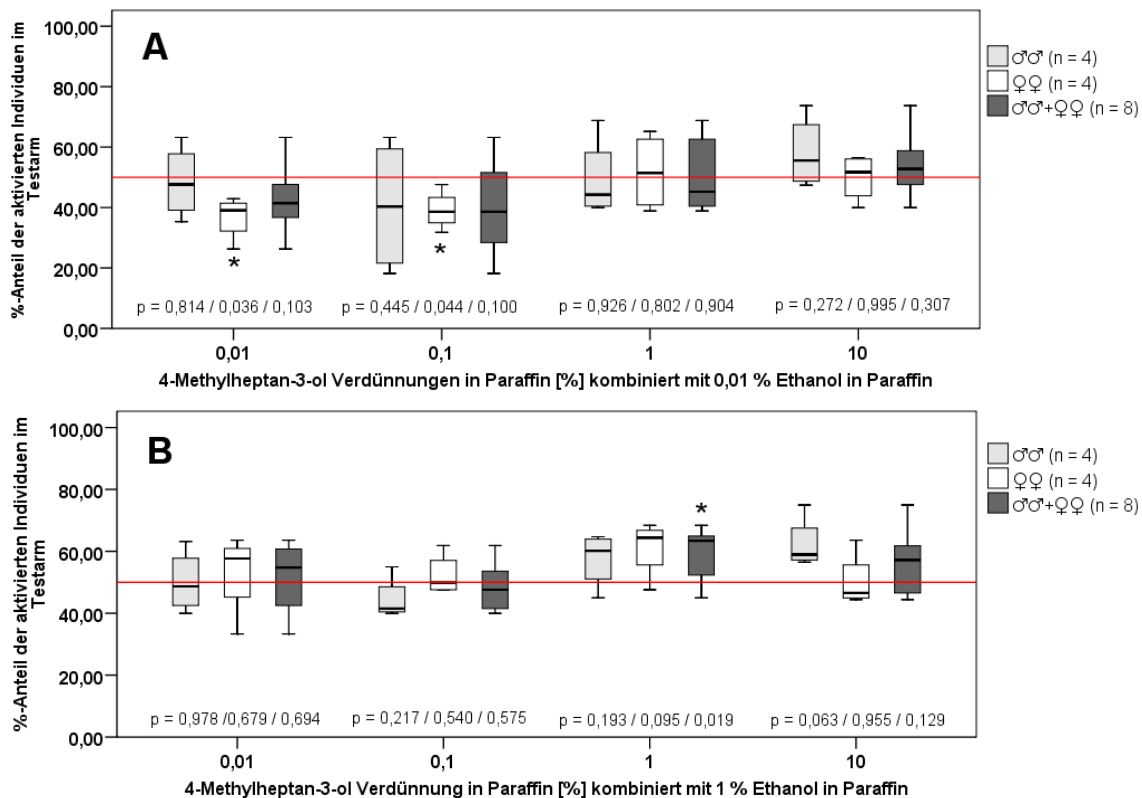


Abbildung 56: Reaktion von *T. formicarius* auf 4-Methylheptan-3-ol kombiniert mit A) 0,01 % Ethanol und B) 1 % Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)

6.2.3 ZUSAMMENFASSENDE ÜBERBLICK DER GETESTETEN SUBSTANZEN

Entsprechend der Tabelle 33 konnten bei fast allen Stoffklassen Substanzen gefunden werden, die vom Ameisenbunkkäfer sehr sensitiv wahrgenommen wurden (in einer 10^{-7} Konzentration). Dazu zählten das 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on, das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon, das (S)-(-)-Ipsenol, das d-Limonen und das Nonanal. Von diesen Substanzen erzeugte einzig das (S)-(-)-Ipsenol im Olfaktometer eine aggregierende Wirkung auf den Ameisenbunkkäfer, das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon hingegen bewirkte eine repellente Reaktion.

Substanzen, welche zumindest in den Olfaktometerexperimenten in der niedrigsten Verdünnungsstufe (10^{-4}) signifikante Reaktionen des Ameisenbunkkäfers bewirkten, waren das Nonanon-2, das 3-Penten-2-ol, das (S)-(+)-Ipsenol und das Ipsdienol. Von allen letztgenannten Substanzen konnten im Olfaktometer aggregierende Wirkungen auf den Ameisenbunkkäfer nachgewiesen werden (Tabelle 33).

Die Semiochemikalien, welche im Olfaktometer repellente Reaktionen bei *T. formicarius* bewirkten, wurden vom Ameisenbunkkäfer weniger sensitiv wahrgenommen. Dazu zählten

Acetophenon und Decanal, welche erst ab einer 10^{-3} Konzentrationen signifikant gerochen wurden. Auch das Ethanol gehört zu den Substanzen mit repellenter Wirkung auf den Ameisenbuntkäfer, eine Wahrnehmung in den EAG-Messungen konnte jedoch nicht erfasst werden (Tabelle 33).

Tabelle 33: Überblick der Ergebnisse der EAG- und Olfaktometerexperimente mit *T. formicarius*

Chemische Klasse	Substanz	log	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}		
		[%]	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10		
		EAG	EAG	EAG	EAG	Y	EAG	Y	EAG	Y	Y
Ketone	3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on	*		*			*				
	Acetophenon						*		*	--	
	Nonanon-2				*	+	**		**	+	
	3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	*	*	*	*	-	*	-	**		
	2-Undecanone					*	**		**		
Alkohole	Ethanol										-
	4-Methylheptan-3-ol					*	**		**		
	3-Penten-2-ol			*	*		**		**		
Kairomone	(S)-(-)-Ipsenol	*	**	**	**	++	**		**		
	Ipsdienol				**	+	**	+	**		
Terpene und deren Abkömmlinge	(-)-alpha-Pinen			**	**		**		**		
	(+)-alpha-Pinen						*		*		
	Linalool								*		
	cis-Nerolidol							+	*		
	beta-Caryophyllen										
Aldehyde	d-Limonen	**			*		**		*		
	Hexanal						*		*		
	Decanal						*	-	**	--	-
	Nonanal	*	*	*	*		*		**		
Sonstige	Anisol				*		*		**		
	Veratrol			*	*		**		**		
	Elemecin						*				

Legende: „+“ = aggregierende Wirkung auf *T. formicarius*, „-“ = repellente Wirkung auf *T. formicarius*; Signifikanz-ergebnisse entsprechend den Kapiteln 6.2.1 und 6.2.2: n.s. = $p \geq 0,05$ = keine Kennzeichnung, $p < 0,01$ = */+/-; $p \leq 0,001$ = **/+/-

6.3 DISKUSSION

Die in den Laborexperimenten erfassten Ergebnisse aus den Dosis-Antwort-Kurven und den Verhaltensexperimenten sollen in diesem Kapitel gemeinsam diskutiert werden. Es soll an dieser Stelle jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Verdünnungsstufen aus den Dosis-Antwort-Kurven nicht exakt die gleiche Verdünnungsstufe widerspiegeln, wie in den durchgeführten Verhaltensexperimenten. Der Grund liegt in einer aktiven Zugabe von 2 ml Luftgemisch einer entsprechenden Verdünnungsstufe in den Dosis-Antwort-Experimenten und einer nicht zu vergleichenden passiven Zugabe von Luftgemisch einer entsprechenden Verdünnungsstufe mit einem Luftstrom von 1,25 Liter/min in den Olfaktometerexperimenten. In der Tendenz dürften damit die passiv zugeführten Verdünnungen in den Verhaltensexperimenten etwa eine Verdünnungsstufe niedriger zu interpretieren sein (Prof. Dr. Stefan Schütz, mündl. Mitteilung). Beispielsweise dürfte eine

10^{-1} -Konzentration in den Olfaktometerexperimenten einer 10^{-2} -Konzentration in den Dosis-Antwort-Experimenten entsprechen.

Die Stärke der erfassten EAD-Potentiale bei der Durchführung der Dosis-Antwort-Experimente ist kein Indiz für die Relevanz der Semiochemikalie in der olfaktorischen Kommunikation, sondern vielmehr ein Weiser für die Anzahl stimulierter Sensillen auf der *Thanasimus*-Antenne (Howse et al. 1998). *T. formicarius* als generalistischer Prädator muss eine Vielzahl von Semiochemikalien wahrnehmen können, um alle potenziellen Beutetiere und deren Habitate olfaktorisch zu lokalisieren. Entsprechend muss *T. formicarius* in der Lage sein, ein breites Spektrum an chemischen Signalen von dessen Beutetieren und deren Wirtsbäumen wahrzunehmen (Zhang und Schlyter 2010). Den Ausführungen von Mustaparta (1984) und Byers (1989) folgend, existieren bei Insekten drei Typen von Sensillen auf der Antenne: (1) sehr spezifische Rezeptorzellen, welche nur für ein Enantiomer kompatibel sind, (2) pheromonale Rezeptorzellen, welche auch für Synergisten oder Inhibitoren kompatibel sind bzw. (3) generalistische Rezeptorzellen, welche sowohl auf Wirtsbaumvolatile als auch teilweise auf Pheromone reagieren.

Für alle in den Laborexperimenten getesteten **Ketone** konnte eine olfaktorische Wahrnehmung bei *T. formicarius* über die EAD-Messungen erfasst werden. Wobei auf das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon die stärkste Sensibilität der *Thanasimus*-Antenne gemessen werden konnte. Entsprechend wurde das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon bereits ab einer Konzentration von 10^{-7} signifikant wahrgenommen. Aufgrund der Wahrnehmung in dieser niedrigen Verdünnungsstufe kann vermutet werden, dass das Keton einen essentiellen Charakter für den Ameisenbunkkäfer besitzt. Ab einer Verdünnung von 10^{-3} (resp. 10^{-4}) wurde in den Olfaktometerexperimenten ein repellentes Verhalten des Ameisenbunkkäfers auf das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon beobachtet, welches sich in der Konzentration 10^{-1} (resp. 10^{-2}) neutralisierte. Die Wahrnehmung der Substanz scheint damit für *T. formicarius* in der Beutelokalisierung nicht relevant zu sein. Möglicherweise kann er durch deren Wahrnehmung jedoch den Anflug an ungeeignete Wirtsbäume seiner Beutetiere reduzieren. Aufgrund der sehr niedrigen Wahrnehmungsschwelle und der Kontinuität der Wahrnehmung über mehrere Konzentrationsstufen dürfte das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon auch in der Fernorientierung Relevanz für den Ameisenbunkkäfer besitzen (Hansen 1983, Byers 1989). Entsprechend den Ausführungen von Pyysalo (1976), der das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon als Volatil des Pilzes *Lectarius trivialis* nachweisen konnte, könnte das Keton *T. formicarius* beispielsweise daran hindern, zu stark verpilztes Holz

anzufliegen. Auch für das Keton 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on konnte eine sehr geringe Reizschwelle bei *T. formicarius* nachgewiesen werden (in Konzentration 10^{-7} signifikant), wengleich die gemessenen Elektropotentiale deutlich niedriger waren als beim 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon. Entsprechend wurden durch 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on weniger Chemorezeptoren auf der *Thanasimus*-Antenne aktiviert. Die Wahrnehmung in den sehr geringen Konzentrationen lässt jedoch auch für dieses Keton eine Bedeutung in der Fernorientierung bei *T. formicarius* erwarten. Francke und Heemann (1974) klassifizierten das Keton als Attraktant diverser *Trypodendron*-Arten. Parini und Petercord (2006) beschreiben das Keton als Aggregationspheromon für *T. domesticum*, welches bei physischer Belastung abgegeben wird. Aufgrund der vermuteten Räuber-Beute-Beziehung zwischen *T. formicarius* und *Trypodendron spec.* (Tømmerås 1988, Warzée und Grégoire 2003, Bader und Petercord 2004, Petercord 2008), wäre eine aggregierende Wirkung des 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on auch auf *T. formicarius* zu vermuten. Durch fehlende Olfaktometerexperimente mit dem 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on lässt sich jedoch keine Aussage über eine olfaktorische Verhaltensreaktion bei *T. formicarius* treffen. Den Vermutungen von Warzée und Grégoire (2003), sowie Warzée (2005) zitiert bei Zhang und Schlyter (2010) entsprechend, ist *T. formicarius* auf Borkenkäferarten aus Nadelwaldhabitaten spezialisiert. Die erfasste geringe Elektropotentialstärke der *Thanasimus*-Antenne auf das Keton lässt eine geringe Anzahl an Rezeptorzellen für das 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on vermuten, was im Hintergrund der Evolution betrachtet ebenfalls darauf zurückgeführt werden könnte, das *Trypodendron spec.* vermutlich nicht zur Hauptbeute von *T. formicarius* zählt. Die Ketone 2-Undecanon und Nonanon-2 nimmt der Ameisenbunkäfer ab einer Konzentration von 10^{-4} war, wobei das Nonanon-2 mit steigender Stoffkonzentration einen deutlicheren Anstieg an gemessenen Elektropotentialen induzierte als das 2-Undecanon. Beide Ketone sind als Pheromonkomponenten bekannt bzw. werden durch den Fraß am Wirtsbaum induziert. Das Nonanon-2 erzeugte in den Verhaltensversuchen ab einer Konzentration von 10^{-3} (resp. 10^{-4}) eine aggregierende Wirkung auf *T. formicarius*. In Kombination mit Ethanol führen steigende Ethanol-Abgaberraten jedoch zu repellenter Reaktion. Für das Undecanon-2 hingegen konnte in Verhaltensversuchen nur eine leichte Tendenz für die Attraktivität des Ketons beschrieben werden. Den Ausführungen von Byres (1989) entsprechend scheinen beide Ketone, aufgrund der höheren Reizschwelle der Sensillen für beide Substanzen, vermutlich eher in der Nahorientierung von *T. formicarius* zu fungieren. Das Nonanon-2 wurde von Francke et al. (1979) als Teil des Pheromonbouquets von *L. varius* beschrieben, welches bereits vor

Erreichen des Wirtsbaumes im Käfer enthalten ist, dessen Menge jedoch mit beginnender Fraßaktivität deutlich ansteigt. Mit der nachgewiesenen Räuber-Beute-Beziehung zwischen *T. formicarius* und *L. varius* (vgl. Kapitel 8.2.1.1) scheint das Nonanon-2 daher auch als Kairomon für den Ameisenbuntkäfer zu fungieren. Die Kombination von Nonanon-2 mit hohen Abgaberaten des Ethanol scheint hingegen eine repellente Reaktion von *T. formicarius* zu induzieren. Nach Hansen (1983) ist *T. formicarius* vermutlich in der Lage in der Qualität verschiedener Volatilgemische zu differenzieren. Da die Ethanolemission mit zunehmender Zersetzung des Holzes ansteigt, *L. varius* jedoch frisches Holz als Brutsubstrat wählt, könnten sich hohe Ethanolemissionen für *T. formicarius* unpassend zum Nonanon-2 darstellen, um *L. varius* zu lokalisieren. Entsprechend konnten auch Klimetzek et al. (1986) nachweisen, dass *L. varius* nur durch niedrige Ethanolabgaberaten aggregiert wird, hingegen auf höhere Ethanolemissionen mit geringerem Anflug reagiert. Auch für den Olivenborkenkäfer *P. scarabaeoides* konnte Attraktivität des Nonanon-2 beobachtet werden (Szuman-Szumski et al. 1998). *P. scarabaeoides* ist, zusammen mit *L. varius*, im mediterranen Raum an Olivenbäumen zu finden (Ruano et al. 2008). Beim Fraß von *P. scarabaeoides* an *Olea europea* entsteht neben Nonanon-2 auch 2-Undecanon wobei beide Ketone Attraktivität auf *P. scarabaeoides* erzeugen (Szuman-Szumski et al. 1998). Aufgrund des Vorkommens beider Bastkäfer am selben Wirtsbaum und ihrer ähnlichen Lebenszyklen (Campos und Lozano 1994) wäre anzunehmen, dass das 2-Undecanon auch beim Fraß von *L. varius* entsteht und das *T. formicarius* neben *L. varius* auch als Prädator von *P. scarabaeoides* auftreten könnte. Letzteren Verdacht beschreiben auch Gonzáles und Campos (1990). Auch die Verbreitung von *T. formicarius* über Europa, Asien bis nach Afrika lassen eine derartige Räuber-Beute-Interaktion vermuten (Zahradnik 1985). Dass das 2-Undecanon auch als Volatil anderer Laubbaumarten beschrieben werden kann zeigen die Ergebnisse in Kapitel 5.2.1.1, in denen 2-Undecanon als Volatil der Rot-Buche erfasst wurde.

Von den getesteten Ketonen war Acetophenon das Keton mit der höchsten Reizschwelle für *T. formicarius*. Eine signifikante Wahrnehmung konnte erst ab einer Konzentration von 10^{-3} nachgewiesen werden. In den Verhaltensexperimenten zeigte *T. formicarius* darüber hinaus indifferentes Verhalten und in der höchsten getesteten Konzentration (10^{-1} ; resp. 10^{-2}) eine repellente Reaktion. Entsprechend der hohen Reizschwelle ist eine Bedeutung in der olfaktorischen Orientierung für *T. formicarius* vor allem auf naher Distanz zu vermuten. Der repellente Charakter des Ketons könnte sich dadurch erklären lassen, dass

das Acetophenon auch als Pheromonkomponente von *T. bicolor* identifiziert wurde (Kohnle et al. 1987), denn aufgrund der geringen Körpergröße von *T. bicolor* dürfte dieser nicht zum natürlichen Beutespektrum von *T. formicarius* gehören. Darüber hinaus wurde das Acetophenon in volatilen Duftgemischen von *Dendroctonus pseudotsugae* (Hopk.), *D. rufipennis* (Kirby), *D. ponderosae*, *Dryocoetes confuses* (Swaine) und *Ips pini* identifiziert (Erbilgin et al. 2007). Auf *Dendroctonus brevicomis* konnten Erbilgin et al. (2007) repellente Wirkung des Acetophenon feststellen und vermuteten dessen Funktion als Antiaggregationspheromon. Möglicherweise hat das Acetophenon auch in der olfaktorischen Kommunikation europäischer Borkenkäferarten Relevanz. Obwohl Erbilgin et al. (2007) keine repellente Wirkung des Acetophenons auf die Prädatoren von *Dendroctonus brevicomis* beobachten konnten, könnte die repellente Reaktion von *T. formicarius* in den durchgeführten Olfaktometerexperimenten auf eine derartige Funktion hindeuten. Diese wäre vergleichbar mit der von Etxebeste und Pajares (2011) nachgewiesenen repellenten Reaktion von *T. formicarius* auf das Verbenon – einen für europäischer Borkenkäferarten beschriebenen Teil des Antiaggregationssystems (Bakke 1981, Byers et al. 1989, Etxebeste und Pajares 2011).

Von den getesteten **Alkoholen** konnte in den Dosis-Antwort-Experimenten lediglich für 4-Methylheptan-3-ol und 3-Penten-2-ol eine signifikante Wahrnehmung bei *T. formicarius* nachgewiesen werden. Die durch das Ethanol erzeugten Potentialänderungen stiegen mit ansteigender Konzentration des Ethanols zwar an, erzeugten jedoch in keiner Konzentrationsstufe eine von der Nullvariante (Paraffin) signifikant verschiedene Änderung des Elektropotentials. Entsprechend konnte kein Nachweis einer Wahrnehmung des Ethanols in den getesteten Konzentrationsstufen erbracht werden. In den Olfaktometerexperimenten zeigte *T. formicarius* auf die höchste getestete Ethanol-Konzentration von 10^{-1} (resp. 10^{-2}) dennoch repellentes Verhalten. Ethanol entsteht während anaerober Fermentierungsprozesse bei vielen absterbenden oder kranken Baumarten (Klimetzek et al. 1986, Chénier und Philogène 1989, Schroeder 2003) und stellt daher eine sehr unspezifische Information für den Ameisenbuntkäfer dar. Eine Reaktion auf Ethanol ist zudem von sehr vielen Borkenkäferarten bekannt, für einige wurde das Ethanol auch als Synergist in der Aggregationswirkung der Pheromone bzw. der vom Wirtsbaum emittierten Monoterpene nachgewiesen (Montgomery und Wago 1983, Klimetzek et al. 1986, Chénier und Philogène 1989). Anhand der Wahrnehmung des Ethanols per se wird *T. formicarius* nicht auf eine spezielle Beutearart bzw. deren Abundanz

am Wirtsbaum schließen können, jedoch wären auch synergistische Effekte mit von Beutetieren abgegebenen bzw. durch deren Fraß induzierten Semiochemikalien denkbar. Darüber hinaus dürfte die emittierte Abgaberate des Ethanol eine grobe Differenzierung für *T. formicarius* zwischen sekundären und primären Borkenkäferarten erlauben (Klimetzek et al. 1986). Entsprechend den Erkenntnissen von Klimetzek et al. (1986) sinkt mit steigender Ethanolabhängigkeit in der Wirtsbaumlokalisierung der Borkenkäfer die Spezialisierung für einen Wirtsbaum. Betrachtet man die Hauptbeutearten für *T. formicarius* in Europa (*Ips sexdentatus* Börn., *I. typographus*), dann sind diese eher den Spezialisten zuzuordnen und dürften ihre Wirtsbaumwahl weitestgehend unabhängig vom emittierten Ethanol treffen. Für *I. typographus* konnte diese vom Ethanol unabhängige Aggregation bereits nachgewiesen werden – nach Klimetzek et al. (1986) wird Ethanol beispielsweise erst nach erfolgreicher Besiedlung des Wirtsbaumes durch *I. typographus* produziert. Nachweise einer signifikanten Aggregation von *T. formicarius* durch Ethanol sind bislang nicht erbracht worden. Der von Schroeder (2003) erbrachte Nachweis der Aggregation von *T. formicarius* auf Ethanol ist beispielsweise nur in Mischung mit alpha-Pinen und nicht mit Ethanol als Einzelsubstanz erfolgt. Auch die Untersuchungen von Schroeder und Lindelöw (1988) verdeutlichen, dass Ethanol per se keine signifikante Aggregation bei *T. formicarius* induziert.

Für die Alkohole 4-Methylheptan-3-ol und 3-Penten-2-ol konnte eine signifikante Wahrnehmung von *T. formicarius* in den Dosis-Antwort-Experimenten erfasst werden. Auf das 4-Methylheptan-3-ol wurde dabei die stärkste Sensibilität der *Thanasimus*-Antenne beobachtet. Der Alkohol wurde ab einer Konzentration von 10^{-4} signifikant wahrgenommen. In Verhaltensexperimenten mit 4-Methylheptan-3-ol als Reinsubstanz wurde keine signifikante Reaktion des Ameisenbunkäfers beobachtet, wenngleich eine tendenzielle Aggregation mit steigender Konzentration zu verzeichnen war. In Kombination von 4-Methylheptan-3-ol in der Verdünnung 10^{-2} (resp. 10^{-3}) mit 1 % Ethanol konnte jedoch eine schwach signifikant aggregierende Reaktion von *T. formicarius* nachgewiesen werden. Aufgrund des Nachweises des 4-Methylheptan-3-ol als Pheromonkomponente diverser *Scolytus*-Arten (*S. multistriatus*, *S. intricatus*) wäre diese Aggregation auch zu erklären (Mori 1977, Vrkočová et al. 2003). Die Ergebnisse aus den Olfaktometerexperimenten deuten jedoch darauf hin, dass das 4-Methylheptan-3-ol vermutlich nicht die Hauptkomponenten in der Beutelokalisation der *Scolytus*-Arten für *T. formicarius* ist. Einen zum 4-Methylheptan-3-ol fast identischen Anstieg der

Elektropotentialänderungen in der Antenne auf die ansteigenden Konzentrationen der Testsubstanzen zeigte *T. formicarius* auf das 3-Penten-2-ol. Aus den Dosis-Antwort-Experimenten abgeleitet, konnte *T. formicarius* das 3-Penten-2-ol ab einer Konzentration von 10^{-3} signifikant wahrnehmen. In den Olfaktometerexperimenten zeigte *T. formicarius* jedoch schon ab einer Konzentration von 10^{-4} (resp. 10^{-5}) eine aggregierende Reaktion und mit weiter steigender Konzentration ein tendenziell eher repellentes Verhalten. Die genaue Bedeutung und Herkunft des 3-Penten-2-ol kann bislang nicht benannt werden. In den eigenen Untersuchungen wurde es als Volatil am Eschenholz und Buchenholz erfasst. Auch Zhang et al. (2012) konnten das 3-Penten-2-ol als Volatil in der Rinde von Laubbaumarten erfassen. Entsprechend wäre es vermutlich in einer Habitatdifferenzierung für *T. formicarius* von Bedeutung. Das 3-Penten-2-ol könnte jedoch auch als Teil des Pheromonbouquets europäischer Borkenkäferarten fungieren – zumindest konnten Mori et al. (1987) eine sehr ähnliche Komponente, das 3-Penten-1-ol, als Pheromonbestandteil bei *D. pseudotsugae* beschreiben, was auf einen kairomonalen Nutzen für *T. formicarius* hindeuten könnte.

Die in den Dosis-Antwort-Experimenten getesteten **Kairomone aus dem Nadelwald-habitat** konnten von *T. formicarius* signifikant wahrgenommen werden. Die niedrigste Reizschwelle besaß dabei das (S)-(-)-Ipsenol, welches bereits ab einer 10^{-7} Konzentration signifikante Potentialänderungen in der *Thanasimus*-Antenne erzeugte. Analog dazu konnte auch in den Olfaktometerexperimenten in der niedrigsten getesteten Verdünnungsstufe (10^{-4} resp. 10^{-5}) eine signifikante Attraktivität des (S)-(-)-Ipsenol auf *T. formicarius* nachgewiesen werden. Auch Hansen (1983) konnte in seinen elektrophysiologischen Untersuchungen eine sehr geringe Reizschwelle der *Thanasimus*-Antenne für (S)-(-)-Ipsenol nachweisen. Darüber hinaus konnten auch Tømmerås und Mustaparta (1985) eine geringere Reizschwelle der Rezeptoren für (-)-Ipsenol als für Ipsdienol erfassen. Wie die Ergebnisse von Tømmerås (1985) belegen, besitzt *T. formicarius*, im Gegensatz zum Ipsdienol, auch eine deutlich höhere Anzahl der an das Ipsenol adaptierten Rezeptoren, was die Bedeutung des Ipsenols für *T. formicarius* unterstreicht. Den Definitionen von Byers (1989) folgend müsste das (S)-(-)-Ipsenol daher olfaktorische Bedeutung für *T. formicarius* in der Fernlokalisierung seiner Beutetiere besitzen. In Freilandexperimenten konnte der Nachweis dieser kairomonalen Attraktivität in der Beutelokalisierung für *T. formicarius* bereits erbracht werden (Bakke und Kvamme 1981, Schlyter et al. 1987). Für viele der potentiellen Beutearten von *T. formicarius*, wie *I.*

sexdentatus, *I. typographus* und *I. cembrae* (Heer), ist das (S)-(-)-Ipsenol als Pheromonkomponente beschrieben, welche als Oxidationsprodukt des im Harz der Wirtsbäume enthaltenen Myrcens gebildet wird (Vité et al. 1974, Bakke et al. 1977, Stoakley et al. 1978). Nach Erkenntnissen von Zhang et al. (2000) ist das Ipsenol die Hauptkomponente im Aggregationspheromon von *I. cembrae*. Für *I. typographus* und *I. sexdentatus* Arten ist das Ipsenol jedoch nicht Teil des Aggregations- sondern des Antiaggregationssystems, welches der Abgrenzung zu am Wirtsbaum konkurrierenden Arten dient (Vité und Francke 1976). Beispielsweise beschreiben Bakke (1976) und Schlyter et al. (1989) hemmende Effekte des Ipsenols beim Anflug von *I. typographus* auf sein Aggregationspheromon Ipsdienol. Vergleichbare Reaktionen konnten Vité et al. (1974) für *I. sexdentatus* erfassen. Entsprechend würde die alleinige Reaktion auf das Ipsenol zu einem Zeitpunkt der Wirtsbaumbesiedlung der Beutetiere von *T. formicarius* entstehen, an welchem der Massenflug vorüber, und ein großer Teil der Beutetiere bereits im Bast eingebohrt ist. Möglicherweise gibt das Ipsenol jedoch den Hinweis eines geeigneten Brutsubstrates für *T. formicarius* zur Eiablage. Darüber hinaus wären auch evolutionäre Veränderungen der Borkenkäferpheromone denkbar, denen der Selektionsprozess von *T. formicarius* erst begonnen hat zu folgen. Denn auch das Aggregationspheromon seiner Hauptbeutearten (*I. sexdentatus*, *I. typographus*), das Ipsdienol, wird vom Ameisenbuntkäfer signifikant wahrgenommen. Wenngleich die Untersuchungen von Tømmerås (1985) belegen, dass *T. formicarius* lediglich zwei Rezeptorzellen für das Ipsdienol besitzt – im Gegensatz zum Ipsenol, für das insgesamt 12 Rezeptorzellen erfasst worden sind. In durchgeführten Dosis-Antwort-Experimenten wurde eine signifikante Wahrnehmung des Ipsdienols ab einer Konzentration von 10^{-4} erfasst. Auch Tømmerås und Mustaparta (1985) erfassten eine höhere Reizschwelle der Chemorezeptoren von *T. formicarius* für das Ipsdienol, als für das Ipsenol. Hingegen konnte Hansen (1983) keinen Unterschied in der Wahrnehmungsschwelle von Ipsdienol und Ipsenol feststellen. In den Olfaktometerexperimenten ließ sich keine Attraktivität des Ipsdienols nachweisen. In der niedrigsten Verdünnungsstufe (10^{-4} , resp. 10^{-5}) wurde indifferentes Verhalten beobachtet. Hingegen induzierten die höheren Verdünnungsstufen (10^{-3} , resp. 10^{-4} und 10^{-2} , resp. 10^{-3}) ein repellentes Verhalten bei *T. formicarius*. Möglicherweise wären noch niedrigere Verdünnungen notwendig gewesen, um Attraktivität nachweisen zu können. Nichts desto trotz, in Freilandexperimenten konnte eine aggregierende Reaktion von *T. formicarius* auf das Aggregationspheromon seiner Beutearten erfasst werden (Bakke und Kvamme 1981).

Von den getesteten **Terpenen** konnte eine olfaktorische Wahrnehmung durch die *Thanasimus*-Antenne für das d-Limonen, das (-)-alpha-Pinen, das (+)-alpha-Pinen, das Linalool und das cis-Nerolidol nachgewiesen werden. Die niedrigste Wahrnehmungsschwelle besaß *T. formicarius* für das d-Limonen, welches bereits erstmals ab einer Verdünnung von 10^{-7} wahrgenommen wurde. Eine kontinuierliche Wahrnehmung wurde ab einer Verdünnung von 10^{-4} erfasst. Dies steht in Widerspruch zu den Ergebnissen von Hansen (1983), der keinen Nachweis einer Stimulation der Rezeptoren durch Limonen nachweisen konnte. Auch das (-)-alpha-Pinen wurde, analog zu den Ergebnissen von Hansen (1983), bereits in sehr geringen Konzentrationen wahrgenommen. Ein signifikanter Nachweis der olfaktorischen Wahrnehmung wurde in den eigenen Untersuchungen ab einer Verdünnung von 10^{-5} beobachtet. Beide Monoterpene werden bei physiologischem Stress vom Wirtsbaum (z. B. Kiefer, Fichte) der Borkenkäfer als Teil des Abwehrmechanismus emittiert (Klepzig et al. 1995, Paine et al. 1997, Baier et al. 1999) und könnten für *T. formicarius* ein olfaktorisches Signal der Besiedlung des Wirtsbaumes darstellen, um seine Beute in frühen Besiedlungsphasen zu lokalisieren. Beispielsweise konnte in Freilandexperimenten verschiedener Autoren eine Attraktivität von alpha-Pinen und Limonen auf *T. formicarius* beobachtet werden. (Rudinsky et al. 1971, Schröder und Lindelöw 1989). Im Gegensatz zum (-)-alpha-Pinen wurde in den Dosis-Antwort-Experimenten eine deutlich höhere Reizschwelle vom (+)-alpha-Pinen erfasst. Eine signifikante Stimulation der Rezeptoren erfolgte ab einer Verdünnung von 10^{-3} . Hingegen erfasste Hansen (1983) einen nahezu identischen Verlauf der Dosis-Antwort-Kurven beider Enantiomere. Die Terpene cis-Nerolidol und Linalool konnten von *T. formicarius* erst in der höchsten getesteten Verdünnung (10^{-2}) wahrgenommen werden und dürften daher nur bei der Nahorientierung bedeutsam sein. Zumindest für das cis-Nerolidol konnte auch in den Olfaktometerversuchen eine signifikante Reaktion beobachtet werden. Der Ameisenbunkkäfer zeigte auf das Terpen bereits in einer Verdünnung von 10^{-3} (resp. 10^{-4}) eine aggregierende Reaktion. Das Linalool hingegen erzeugte indifferentes Verhalten im Olfaktometer. Die Bedeutung beider Terpene in der olfaktorischen Kommunikation ist bislang nicht bekannt. Jedoch deuten die eigenen Ergebnisse darauf hin, dass die Linalool- und die cis-Nerolidolabgabe durch den Fraß von *L. varius* an Esche induziert wird, und folglich für die Lokalisierung der Beute interessant sein könnte. Sweeney et al. (2007) beschreiben darüber hinaus, dass Wirtsbaumvolatile von einem breiten Spektrum von Individuen wahrgenommen und zur Beute- bzw. Habitatlokalisierung genutzt werden, jedoch eine deutlich geringere Sensivität als Pheromone besitzen. Die eigenen

Untersuchungen belegen jedoch, dass diese Formulierung nicht für alle Volatile angewandt werden kann und beispielsweise (-)-alpha-Pinen und d-Limonen vom Ameisenbuntkäfer auch sensitiver als Pheromonkomponenten (z.B. Ipsdienol) erfasst werden können.

Für alle in den Dosis-Antwort-Experimenten getesteten **Aldehyde** wurde eine signifikante Wahrnehmung der *Thanasimus*-Antenne beschrieben. Am sensibelsten reagierte die *Thanasimus*-Antenne auf das Nonanal, welches in allen getesteten Verdünnungsstufen und damit ab 10^{-7} wahrgenommen wurde. Nach Byers (1989) dürfte das Nonanal folglich auch in der Fernorientierung für *T. formicarius* relevanten Charakter besitzen. Das Hexanal und das Decanal konnten hingegen erst ab einer Verdünnung von 10^{-3} von der Antenne detektiert werden. Das Decanal wurde darüber hinaus auch in den Olfaktometerexperimenten beprobt, in welchen ab der Verdünnungsstufe 10^{-3} (resp. 10^{-4}) eine repellente Charakter für *T. formicarius* nachgewiesen wurde. Die aggregierende Wirkung des Nonanal bzw. dessen synergistische Eigenschaften sind auf eine Vielzahl von Insekten aus Laub- und Nadelwaldhabitaten bekannt und wurden bereits in Kapitel 5.3.3 erläutert. Eine unterstützende Funktion in Wirtsfindungsprozessen für den Ameisenbuntkäfer wäre daher anzunehmen. Nach Wildt et al. (2003) zählen die Aldehyde zu den Stressmarkern am Baum und deren Abgaberraten können beispielsweise durch herbivoren Fraß induziert werden (Rodriguez-Saona et al. 2006). Entsprechend lässt sich auch für das Hexanal und das Decanal eine Bedeutung in der Beutelokalisierung für *T. formicarius* vermuten. Der im Olfaktometer erfasste repellente Charakter des Decanal bei Verwendung als Einzelsubstanz lässt jedoch vermuten, dass die Aldehyde per se keine aggregierende Wirkung induzieren, sondern vielmehr als Synergisten mit anderen Attraktanzien gesehen werden müssen.

Weitere Substanzen, die auf olfaktorische Wahrnehmung der *Thanasimus*-Antenne getestet wurden waren Veratrol, Anisol und Elemicin. Vom Veratrol konnte dabei eine sehr sensitive Reaktion der *Thanasimus*-Antenne ab einer Verdünnung von 10^{-5} festgestellt werden. Eine signifikante Reaktion von *T. formicarius* in den Olfaktometerexperimenten wurde jedoch nicht erfasst. Entsprechend kann auch für das Veratrol nur eine synergistische Funktion in der Beutelokalisierung vermutet werden. In Kombination mit Ethanol zeigte sich weitestgehend indifferentes Verhalten, obwohl die Kombination einer Veratrolkonzentration von 10^{-3} mit 0,01 % Ethanol eine schwach repellente Reaktion der weiblichen Ameisenbuntkäfer erzeugte. In den Untersuchungen von Holighaus und Schütz (2006) wird Veratrol als Volatil der Rot-Buche beschrieben, welches während für *T.*

domesticum attraktiver Zerfallsstadien der Buche emittiert wird. Entsprechend wäre ein potentieller synergistischer Effekt für *T. formicarius* in Kombination mit Lineatin, dem Aggregationspheromon der Nutzholzborkenkäfer, zu vermuten. Auch das Anisol wurde mit relativ niedriger Sensibilität von der *Thanasimus*-Antenne wahrgenommen, erzeugte im Vergleich zum Veratrol jedoch deutlich höhere Potentialänderungen. Eine Reaktion des Ameisenbunkäfers im Olfaktometer wurde nicht beobachtet, entsprechend kann die Bedeutung des Anisols als Einzelsubstanz als wenig relevant für den Ameisenbunkäfer vermutet werden. Als Volatil der Eiche (Vrkočová et al. 2000) könnte es *T. formicarius* zur Beutelokalisierung des Eichensplintkäfers dienen – entsprechende Nachweise sind bislang jedoch nicht erfolgt. Mögliche synergistischer Effekte mit Pheromonkomponenten von *S. intricatus* wären zu prüfen. Das Elemicin konnte lediglich in der Verdünnung 10^{-3} vom Ameisenbunkäfer wahrgenommen werden. Entsprechend gering dürfte auch für Elemicin die chemoökologische Bedeutung für *T. formicarius* sein.

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER ANALYSE VON SEMIOCHEMIKALIEN AUS DEN UNTERSUCHUNGSHABITATEN

Eine Unterscheidung der Volatilmuster von Stammabschnitten aus unterschiedlichen Zersetzungsstadien des Einschlagterminversuches konnte, aufgrund bei der Probenahme aufgetretener Probleme, leider nicht durchgeführt werden. Dementsprechend war auch keine Interpretation hinsichtlich einer zeitlichen Veränderung der Wirtsvolatilzusammensetzung möglich, welche in der Primärattraktion der Borkenkäferzielarten eine Rolle spielen könnte. Dennoch scheint ein derartiger Versuchsansatz erfolgversprechend und sollte wiederholt werden.

Durch die Verwendung der Antenne von *T. formicarius* als biologischer Detektor ließen sich dennoch Semiochemikalien aus den Proben ableiten, von welchen eine ökologische Relevanz für die Zielarten am Wirtsbaum vermutet werden kann. Es konnte nachgewiesen werden, dass *T. formicarius* ein sehr breites Spektrum an Substanzen von unterschiedlichen Baumarten sowie von unterschiedlichen bast- und holzbesiedelnden Insekten detektieren kann. Entsprechend erzeugten emittierte Volatile der Baumarten Gemeine Esche, Rot-Buche und Eiche Antennenreaktionen bei *T. formicarius*.

Auch vom Rot-Buchenholz, das mit *X. germanus* bzw. *T. bicolor* besiedelt war, sowie vom Bohrmehl von *T. domesticum* wurden Substanzen emittiert, die Antennenreaktionen auslösten. An den Rot-Buchenhölzern mit *X. germanus* bzw. *T. bicolor* wurden keine Ausschläge auf potentielle käferbürtige Substanzen erfasst. Nicht alle der erfassten Substanzen lassen Rückschlüsse auf Räuber-Beute-Beziehungen von *T. formicarius* zu, spielen aber vermutlich bei dessen olfaktorischer Orientierung im Rot-Buchenhabitat eine Rolle.

Substanzen von mit *S. intricatus* besiedeltem Eichenholz erzeugten Antennenreaktionen des Ameisenbunkäfers. Es ließen sich jedoch keine Substanzen finden, die ausschließlich an Hölzern mit *S. intricatus* Besatz vorkamen und dementsprechend an unbesiedeltem Holz nicht abundant waren. Folglich dürften die von besiedeltem Eichenholz erfassten Substanzen ausschließlich volatilen oder herbivor induzierten Charakter besitzen.

Bei den Untersuchungen an Eschenholz ohne und mit Besatz von *L. varius* konnten hingegen volatile, potentiell herbivor induzierte und potentiell von *L. varius* induzierte Substanzen nachgewiesen werden, welche von *T. formicarius* wahrgenommen wurden.

Die Reaktion auf von Laubbaumarten stammenden Volatile lässt eine Abundanz des Prädatoren in Laubwaldhabitaten vermuten, muss jedoch nicht zwangsläufig auf diese zurückgeführt werden. Denn eine Wahrnehmung laubbaumbürtiger Substanzen könnte gleichermaßen auch als Differenzierungsstrategie zu ungeeigneten Wirtsbäumen verstanden werden. Dennoch deutet die Breite des Spektrums an wahrgenommenen Substanzen aus verschiedenen Substanzklassen auf eine sehr komplexe Wahrnehmung von Duftmustern aus Laubwaldhabitaten hin, welche höchst wahrscheinlich nicht alleinig zur Differenzierung zwischen Laub- und Nadelwaldhabitat notwendig wäre.

Mit den durchgeführten Dosis-Antwort-Kurven und den Olfaktometerexperimenten konnte die Wahrnehmung von volatilen, herbivor induzierten und potentiell käferbürtigen Substanzen durch *T. formicarius* bestätigt und deren Funktion als Semiochemikalie im Laubwaldhabitat nachgewiesen werden. Eine abschließende Interpretation der getesteten Semiochemikalien hinsichtlich ihrer olfaktorischen Bedeutung für *T. formicarius* im Laubwaldhabitat ist aus den Ergebnissen nicht zweifelsfrei möglich. Einzelne Substanzen wurden schon in sehr geringen Konzentrationsstufen wahrgenommen, woraus eine hohe ökologische Bedeutung abgeleitet wurde – ein diesbezüglicher Nachweis im Olfaktometer blieb jedoch teilweise aus. Das mag vermutlich darauf zurückzuführen sein, dass einzelne Substanzen zwar eine wichtige Funktion in der olfaktorischen Orientierung von *T. formicarius* besitzen, diese jedoch erst in Kombination mit weiteren Substanzen verhaltensmodifizierend nachgewiesen werden kann. Entsprechend gestaltet sich die olfaktorische Kommunikation – wie bei vielen anderen Arten – als sehr komplex und vielschichtig. Die Experimente können jedoch als Anhaltspunkt für anschließende Forschungen gesehen werden, in denen einzelne Substanzen hinsichtlich ihrer eigentlichen Funktion im Ökosystem differenzierter zu betrachten sind, denn nicht nur die Kombination mit anderen Semiochemikalien vermag die artspezifische Wirkung einer Substanz zu verändern, auch die Konzentrationen der Einzelsubstanzen und deren Mischungsverhältnisse zueinander sind wichtige Charakteristika.

TEIL C: Untersuchungen zur Wirkung ausgewählter Semiochemikalien im Freiland



Gliederung Teil C		Seite
8	Untersuchungen am Modell Falle	136
8.1	Methodik	136
8.2	Fangergebnisse	154
8.3	Saisonales Auftreten der Arten in den Laubwaldhabitaten	220
8.4	Diskussion	226
9	Untersuchungen am Modell Fangholz	265
9.1	Methodik	265
9.2	Ergebnisse	270
9.3	Diskussion der Ergebnisse am Fangholz	296
10	Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Freilandexperimente	305
10.1	Substanzwahl für naturnahe Managementverfahren	305
10.2	Notwendige natürliche Rahmenbedingungen und Ausblick	315
10.3	Bedeutung der identifizierten Substanzen und deren Wirkung als Semiochemikalien	317

8 UNTERSUCHUNGEN AM MODELL FALLE

8.1 METHODIK

Um die Reaktion der Zielarten auf die zu testenden Semiochemikalien zu erfassen, wurden handelsübliche THEYSON®-Lockstofffallen verwendet (Abbildung 57 links). Zur Optimierung der Fangergebnisse wurden diese in Anlehnung an Müller et al. (2008) modifiziert. Die Fanglade jeder Falle wurde verschlossen und mit Fangflüssigkeit (5 % Benzoesäure gemischt in Wasser) befüllt. Zudem wurden einige Tropfen Spülmittel hinzugegeben, um die Oberflächenspannung des Wassers zu reduzieren. Die Fangflüssigkeit sollte ein Entkommen der agilen Ameisenbuntkäfer aus den Fallen verhindern sowie aggregierte Individuen rechtzeitig abtöten, um eine zusätzliche Kommunikation aus den Fangladen zu unterbinden (Müller et al. 2008). Gleichzeitig übernahm die Fangflüssigkeit die Aufgabe einer Konservierung der gefangenen Insekten bis zur nächsten Leerung der Falle, wodurch das Entstehen von Verwesungsgerüchen reduziert wurde.

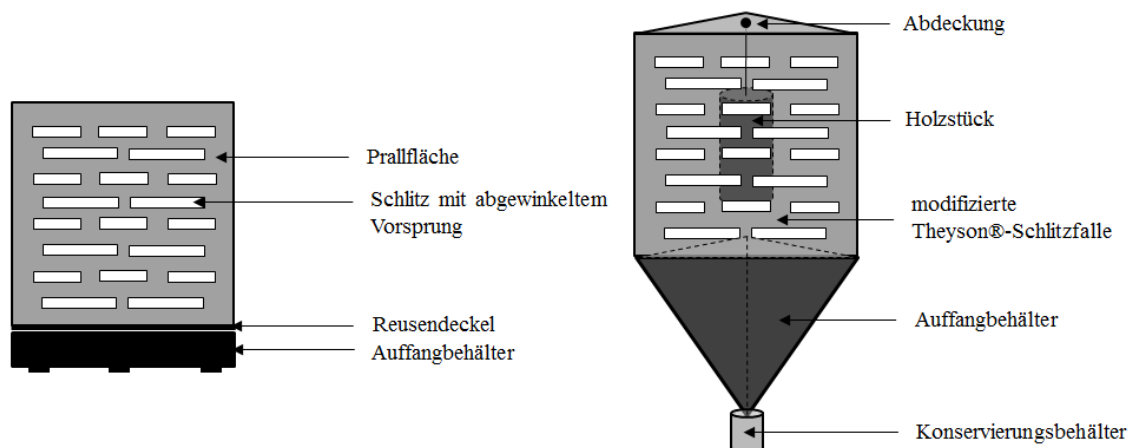


Abbildung 57: (Links) Schematischer Aufbau der THEYSON®-Schlitzfalle (Rechts) schematischer Aufbau der Falle nPhero

In einzelnen Fallenfangexperimenten kam eine am Institut für Waldbau und Forstschutz neu konzipierte Falle (nPhero) zum Einsatz, welche das Einhängen von Holzstücken in das Innere der Falle ermöglicht (Abbildung 57 rechts).

Alle Varianten eines entsprechenden Fallenfangexperimentes wurden auf einer sogenannten Falleninsel kreisförmig mit zufälliger Verteilung angeordnet, wobei die Nullvariante im Kreismittelpunkt der Falleninsel aufgebaut wurde. Die Abstände zwischen den einzelnen Fallen mit Testsubstanzen betragen 10 m und sind exemplarisch in Abbildung 58 abgetragen. Die Abstände wurden bewusst eng gewählt, um auf jeder Falleninsel das Vorhandensein der gleichen Käferpopulation zu gewährleisten. In Anlehnung an Schlyter (1992) differenzieren die Käfer auch auf kurze Distanz bewusst zwischen den einzelnen Substanzen. Der Abstand der Fallen mit Testsubstanz zur in der Mitte der Falleninsel befindlichen Nullvariante variierte in Abhängigkeit von der Anzahl an Testvarianten eines Experimentes. Insgesamt wurden für jedes Fallenfangexperiment vier Falleninseln aufgebaut, was einer dreifachen Wiederholung des Versuches entspricht. Der Abstand zwischen den einzelnen Falleninseln betrug etwa 100 m. Sollte das Versuchsdesign eines Experimentes vom hier beschriebenen Design abweichen, dann wird an entsprechender Stelle darauf hingewiesen.

Auf jeder Falleninsel wurden Datalogger der Firma Tinytag Plus 2/TGP 4500 installiert und die Werte der relativen Luftfeuchte sowie die Temperatur stündlich und über den gesamten Versuchszeitraum aufgezeichnet.

8.1.1 ZIELSTELLUNG DER EINZELNEN FALLENFANGEXPERIMENTE, AUSGEWÄHLTE SEMIOCHEMIKALIEN UND VERSUCHSAUFBAU

Die Substanzen Chalcogran und Sexowit® fungierten in vielen Experimenten als Standardvarianten, da auf diese bereits die Reaktion von Borkenkäferprädatoren wie *T. formicarius* und *N. elongatum* bekannt ist.

Nach Erkenntnissen von Achtnicht (2008) kann mit der Verwendung des Chalcogran im Vergleich zum Chalcoprax® der Anflug des Kupferstechers (*Pityogenes chalcographus* L.) reduziert werden. Die Verwendung des Chalcogran in den vorliegenden Untersuchungen basierte auf der bekannten Attraktivität des Lockstoffs auf *N. elongatum* (Heuer und Vité 1984, Achtnicht 2008). Mit der Verwendung der Substanz war es möglich die kairomonale Attraktivität der Testsubstanzen auf den Jagdkäfer zu beurteilen. Als Standard für die Ameisenbuntkäferfänge wurde aufgrund der bekannten Attraktivität auf den frühschwärmenden *T. formicarius* sowie die Rindenglanzkäfer handelsübliches Sexowit® gewählt (Müller et al. 2008, Wehnert 2009).

8.1.1.1 FALLENFANGEXPERIMENT 2010

Mit dem Experiment sollte ein Überblick über das Artenspektrum an bast- und holzbesiedelnden Insekten in Beständen der Rot-Buche⁸, der Gemeinen Esche und der Eiche gewonnen, deren saisonales Auftreten erfasst und die Reaktion der Zielarten auf bereits identifizierte Semiochemikalien (vgl. Kapitel 5.1.1) nachgewiesen werden. Entsprechend des Ursprungs der verwendeten Testsubstanzen hatten diese in Abhängigkeit von der Versuchsfläche, auf der sie erprobt wurde, autochthonen als auch teilweise allochthonen Charakter für das Untersuchungshabitat. Weiterhin sollte die Abundanz von Borkenkäferprädatoren aus den Laubwaldhabitaten abgeleitet werden bzw. das Potential, diese mit den verwendeten Testsubstanzen in Laubwaldhabitaten zu aggregieren.

Für das Experiment wurden entsprechend Kapitel 5.1.1 folgende Substanzen aus der Literatur ausgewählt:

Tabelle 34: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2010 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanz- klasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu$ /24h]	Dispenser
1 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
2 4-Methylheptan-3-ol	M-hept	Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
3 1,2-dimethoxy-Benzen (Veratrole)	Ver	Benzenderivat	91-16-7	90+	VWR	0,020	Kapillare
4 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on	MB-one	Keton	115-22-0	90+	VWR	1,150	Kapillare
5 2-Nonanon	Non	Keton	821-55-6	98	ABCR	0,180	Kapillare
6 Acetophenon	Ace	Keton	98-86-2	99	ABCR	0,080	Kapillare
7 Lineatin	Lin	Substanzmix	-	-	WITASEK	17,120	Folie
8 Chalcogran	Ch	Spiroacetal	38401-84-2	-	BASF	18,570	Reservoir
+ 2-Methyl-3-butin-2-ol		Alkohol	115-19-6	-	BASF		
9 Sexowit®	Sex	Substanzmix	-	-	WITASEK	15,270	Folie

Das Experiment wurde auf der Eschen-, Eichen- und Buchenversuchsfläche durchgeführt:

- Eschenversuchsfläche: Forstbezirk Leipzig, Revier Leipzig: Abteilung 459 und 460 (vgl. Kapitel 3.2)
- Eichenversuchsfläche: Forstbezirk Leipzig, Revier Collm: Abteilung 78 und 79 (vgl. Kapitel 3.3)
- Buchenversuchsfläche: Forstbezirk Bärenfels, Revier (vgl. Kapitel 3.1).

Auf jeweils drei von vier Falleninseln wurde außerhalb der kreisförmigen Aufstellung der Fallen eine nPhero-Falle aufgestellt, welche den Anflug der Antagonisten auf das von autochthonen Borkenkäfern natürlich produzierte Pheromonbouquet untersuchen sollte

⁸ Das Experiment in der Rot-Buche wurde von Robert Pfeiffer, im Rahmen einer Diplomarbeit (Pfeiffer 2011), unter Anleitung des Autors, durchgeführt.

(Abbildung 58). Dazu wurde in die nPhero-Fallen ein mit autochthonen Borkenkäfern besiedeltes Holzstück (50 cm Länge x 15 cm Durchmesser) gehangen:

- Eschenhabitat: Holzstück besiedelt mit *L. varius* (ab 20.04.2010)
- Eichenhabitat: Holzstück besiedelt mit *S. intricatus* (ab 31.05.2010)
- Buchenhabitat: Holzstück besiedelt mit *T. bicolor* (ab 27.04.2010).

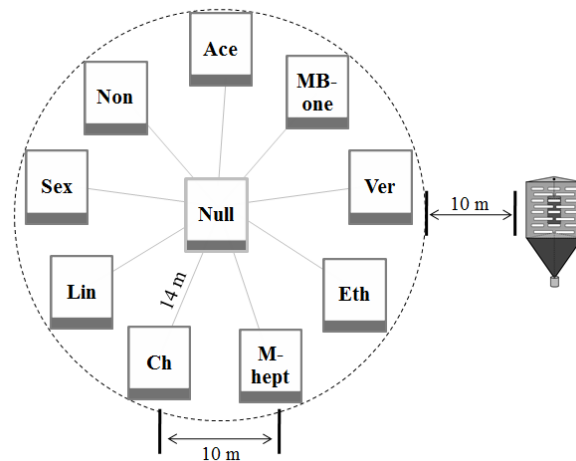


Abbildung 58: Exemplarischer Aufbau einer Fallensinsel im Fallenexperiment 2010: Substanzen innerhalb der Fallensinseln wurden in THEYSON®-Schlitzfallen eingehangen; außerhalb der Fallensinsel befindet sich nPhero-Falle mit besiedeltem Holzstück

Der Versuchszeitraum erstreckte sich vom 23. März 2010 bis 17. August 2010 mit einer wöchentlichen Leerung der Fallen (insgesamt 21 Leerungen).

8.1.1.2 FALLENFANGEXPERIMENT 2011A

Ziel des Fallenfangexperimentes 2011a war die Erprobung einer Reaktion der Zielarten (*L. varius*, *T. signatum*, *T. formicarius* und *N. elongatum*) auf Verdachtssubstanzen aus den chemischen Analysen des Versuchsjahres 2010 (vgl. Kapitel 5.2.1). Die in Tabelle 35 aufgeführten Substanzen und Substanzgemische wurden diesbezüglich erprobt. Das Experiment wurde mit dem Sexowit®-Dispenser als Standard für die Ameisenbuntkäferfänge vom 08.03.2011 bis zum 24.05.2011 durchgeführt. Während dieser Zeit erfolgten insgesamt sieben Leerungen der Fallen. Am 24.05.2011 erfolgte die Entnahme der Sexowit®-Dispenser aus den Fallen. Ab 30.05.2011 wurde das Experiment fortgesetzt und Chalcogran als Standard für *N. elongatum* verwendet. Das Experiment wurde bis 27.07.2011 mit insgesamt vier Leerungen der Fallen fortgeführt.

Das Experiment wurde auf der Eschenversuchsfläche (Abteilung 459 und 460, vgl. Kapitel 3.2) durchgeführt. Aufgrund der hohen Anzahl der zu testenden Einzelsubstanzen und

Substanzgemische (n=15) wurde das Inseldesign entsprechend Abbildung 59 modifiziert und eine doppelte ringförmige Anordnung der Fallen um die zentral positionierte Nullfalle gewählt. Der innere Ring an Fallen bestand aus den Stoffgemischen sowie der Standardvariante. Den äußeren Ring um die Nullvariante bildeten die Fallen, welche mit Einzelsubstanzen bestückt waren (vgl. Abbildung 59).

Tabelle 35: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2011a verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu\text{l}/24\text{h}$]	Dispenser
1 3-Penten-2-ol	Pe	Alkohol	1569-50-2	96	Sigma Aldrich	0,988	Kapillare
2 Linalool	Lo	Alkohol	78-70-6	97	abcr GmbH	0,013	Kapillare
3 cis-Nerolidol	cN	Alkohol	142-50-7	≥ 96	Sigma Aldrich	0,032	Kapillare
4 Elemicin	El	aromatischer KW	487-11-6	-	Synchem OHG	0,011	Kapillare
5 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	tC	Keton	873-94-9	98	Sigma Aldrich	0,401	Kapillare
6 Anisol	An	aromatischer KW	100-66-3	-	abcr GmbH	0,466	Kapillare
7 beta-Caryophyllen	bC	Sesquiterpen	87-44-5	80	abcr GmbH	0,395	Tube
8 Decanal	De	Aldehyd	112-31-2	96	abcr GmbH	0,141	Kapillare
9 2-Undecanon	Un	Keton	112-12-9	98	abcr GmbH	0,013	Kapillare
10 3-Penten-2-ol + Linalool + cis-Nerolidol	AlcMix	Alkohol Alkohol Alkohol	1569-50-2 78-70-6 142-50-7	96 97 ≥ 96	Sigma Aldrich abcr GmbH Sigma Aldrich	0,988 0,013 0,032	Kapillare Kapillare Kapillare
11 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon + 2-Undecanon	KetMix	Keton Keton	873-94-9 112-12-9	98 98	Sigma Aldrich abcr GmbH	0,401 0,013	Kapillare Kapillare
12 Elemicin + Anisol	ArKW- Mix	aromatischer KW aromatischer KW	487-11-6 100-66-3	- -	Synchem OHG abcr GmbH	0,011 0,466	Kapillare Kapillare
13 Linalool + cis-Nerolidol + Elemicin + 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon	EAG Mix	Alkohol Alkohol aromatischer KW Keton	78-70-6 142-50-7 487-11-6 873-94-9	97 ≥ 96 - 98	abcr GmbH Sigma Aldrich Synchem OHG Sigma Aldrich	0,013 0,032 0,011 0,401	Kapillare Kapillare Kapillare Kapillare
14 Sexowit (bis zum 26.04.2011)	Sex	substance mix	-	-	Witasek	17,12	Folie
15 Chalcogran (ab dem 30.05.2011) + 2-Methyl-3-butin-2-ol	Ch	Spiroacetal Alkohol	38401-84-2 115-19-6	- -	BASF BASF	18,57	Reservoir

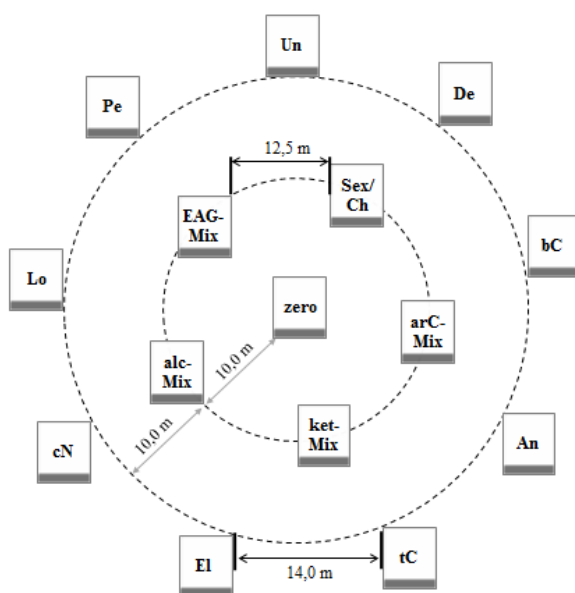


Abbildung 59: Exemplarischer Aufbau einer Falleninsel im Fallenexperiment 2011a

8.1.1.3 FALLENFANGEXPERIMENT 2011B

Mit dem Fallenfangexperiment 2011b wurden Einzelkomponenten aus dem Fallenfangversuch von 2010 (vgl. Kapitel 8.1.1.1) miteinander kombiniert, um Aussagen über synergistische Effekte zwischen den einzelnen Substanzen treffen zu können. Zudem sollte der Einfluss eines Habitatmixes (VOC), welcher aus einer Mischung von in Rinde der Esche (*Fraxinus spec.*) enthaltenen Substanzen bestand (Späth 1937, Markovic 1996, Kostova und Iossifova 2007), untersucht werden.

Es sollte vor allem eine Attraktivitätssteigerung auf Prädatoren und deren Beutetiere geprüft werden, wobei *T. formicarius* sowie die frühschwärmenden Borkenkäfer *T. signatum* und *L. varius* im Mittelpunkt der Untersuchungen standen.

Tabelle 36: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2011b verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu\text{l}/24\text{h}$]	Dispenser
1 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
2 2-Nonanon	Non	Keton	821-86-2	≥ 98	Merck	0,180	Kapillare
3 Veratrol	Ver	Benzenderivat	91-16-7	90+	VWR	0,020	Kapillare
4 beta-Caryophyllen		Sesquiterpen	87-44-5	80	ABCR	0,395	Tube
+ Linalool	VOC	Monoterpen	78-70-6	97	ABCR	0,013	Kapillare
+ Fraxidin (in Ethanol)		Flavanoid	525-21-3	95+	Extrasynthese	n.b.	Kapillare
+ Nerolidol		Sesquiterpen	7212-44-4	98	ABCR	0,076	Kapillare
5 Ethanol	Eth+Non	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ 2-Nonanon		Keton	821-55-6	98	ABCR	0,180	Kapillare
6 Ethanol		Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ 2-Nonanon		Keton	821-55-6	98	ABCR	0,180	Kapillare
+ beta-Caryophyllen	Eth+Non+VOC	Sesquiterpen	87-44-5	80	ABCR	0,395	Tube
+ Linalool		Monoterpen	78-70-6	97	ABCR	0,013	Kapillare
+ Fraxidin (in Ethanol)		Flavanoid	525-21-3	95+	Extrasynthese	n.b.	Kapillare
+ Nerolidol		Sesquiterpen	7212-44-4	98	ABCR	0,076	Kapillare
7 Ethanol	Eth+Ver	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ Veratrol		Benzenderivat	91-16-7	90+	VWR	0,020	Kapillare
8 Ethanol		Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ Veratrol (2x)	Eth+Ver(2)	Benzenderivat	91-16-7	90+	VWR	0,040	Kapillare

Da im Fallenfangexperiment 2010 die erwartete Reaktion von *L. varius* auf das Nonanon-2 als auch von *T. signatum* auf das Veratrol nicht nachgewiesen werden konnte (vgl. Kapitel 8.2.2.1), sollte mit dem Experiment eine Reaktion der beiden Arten auf die genannten Substanzen in Kombination mit Ethanol untersucht werden. Möglicherweise sind die Substanzen als Einzelsubstanzen für die Käfer inaktiv und wirken erst in Kombination mit weiteren Substanzen aggregierend (Rennwick und Vité 1980). Da die Substanzen Veratrol und Nonanon-2 als Einzelsubstanzen keine Reaktion bei *T. formicarius* bewirkten (vgl. Kapitel 8.2.2.1), war es zudem von Interesse, ob sich auch Synergismen in der Wirkung auf den Ameisenbuntkäfer erzeugen lassen.

Das Experiment wurde auf der Eschenversuchsfläche bei Zwenkau (Abteilung 459, vgl. Kapitel 3.2), durchgeführt. Der Versuchszeitraum erstreckte sich vom 08. März 2011 bis 26.04.2011, wobei sechs Leerungen der Fallen durchgeführt wurden.

8.1.1.4 FALLENFANGEXPERIMENT 2011c

Ähnlich wie beim Fallenfangexperiment 2011b, sollten mit dem Fallenfangexperiment 2011c Einzelkomponenten aus dem Versuchsjahr 2010 (vgl. Kapitel 8.1.1.1) miteinander kombiniert werden, um Aussagen über synergistische Effekte zwischen den einzelnen Substanzen treffen zu können. Auch in diesem Experiment sollte der Einfluss eines Habitatmixes, welcher aus einer Mischung von aus Eiche emittierten Volatilen bestand (König et al. 1995, Vrkočová et al. 2000), untersucht werden. Es sollte vor allem eine Attraktivitätssteigerung auf Prädatoren und deren Beutetiere geprüft werden, wobei *T. formicarius* sowie der später schwärmende *S. intricatus* im Mittelpunkt der Untersuchungen standen.

Tabelle 37: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2011c verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe-rate [$\Delta\mu$ /24h]	Dispenser
1 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
2 beta-Caryophyllen		Sequiterpen	87-44-5	80	ABCR	0,395	Tube
+ (+)-alpha-Pinen	VOC	Monoterpen	7785-70-8	98	Alfa Aesar	1,093	Kapillare
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ Limonen		Monoterpen	138-86-3	≥ 95	Merck	2,421	Kapillare
3 Limonen	Lim	Monoterpen	138-86-3	≥ 95	Merck	2,421	Kapillare
4 Limonen		Monoterpen	138-86-3	≥ 95	Merck	2,421	Kapillare
+ (+)-alpha-Pinen	Lim+aP	Monoterpen	7785-70-8	98	Alfa Aesar	1,093	Kapillare
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
5 Ethanol		Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ 4-Methylheptan-3-ol	Eth+Mhept	Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
6 Ethanol		Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ 2-Nonanon	Eth+Non	Keton	821-55-6	98	ABCR	0,180	Kapillare
7 Ethanol		Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ 4-Methylheptan-3-ol	Eth+Mhept+Non	Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
+ 2-Nonanon		Keton	821-55-6	98	ABCR	0,180	Kapillare
8 Ethanol		Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
+ 4-methylheptan-3-ol		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
+ 2-Nonanon		Keton	821-55-6	98	ABCR	0,180	Kapillare
+ beta-Caryophyllen	Eth+Mhept+	Sequiterpene	87-44-5	80	ABCR	0,395	Tube
+ (+)-alpha-Pinen	Non+VOC	Monoterpen	7785-70-8	98	Alfa Aesar	1,093	Kapillare
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ Limonen		Monoterpen	138-86-3	≥ 95	Merck	2,421	Kapillare

Ziel des Experimentes war es, die in der Literatur (Vrkočová et al. 2003) beschriebene aber im Fallenfangexperiment 2010 nicht erfasste Wirkung des 4-Methylheptan-3-ol auf den Eichensplintkäfer zu untersuchen, sowie dessen im Fallenfangexperiment nachgewiesene

Reaktion auf das Nonanon-2 weiter zu beleuchten. Es sollte zudem untersucht werden, ob der Ameisenbuntkäfer durch die verwendeten Stoffkombinationen aggregiert werden kann.

Das Experiment wurde auf der Eschenversuchsfläche bei Zwenkau (Abteilung 459, vgl. Kapitel 3.2), durchgeführt. Der Versuchszeitraum für das Experiment erstreckte sich vom 23. Mai 2011 bis 25.08.2011, wobei sechs Leerungen der Fallen durchgeführt wurden.

8.1.1.5 FALLENFANGEXPERIMENTE 2012A

Um aus Laubwaldhabitaten stammende Semiochemikalien im Nadelwaldhabitat zu erproben wurden Fallenfangexperimente auf der Versuchsfläche der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*) angelegt (vgl. Kapitel 3.4). Entsprechend dem Wirkungsprinzip der Allochthonen Kairomone sollte durch die Anwendung der Substanzen eine hohe Lockwirkung auf im Kiefernhabitat lebende Prädatoren verbunden mit einer möglichst repellenten Wirkung auf autochthone Borkenkäferarten erreicht werden. Insgesamt wurden in diesem Rahmen sechs Experimente durchgeführt.

Fallenfangexperiment 2012a-1⁹

Tabelle 38: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-1 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu$ /24h]	Dispenser
1 Sexowit	Sex	Substanzmix	-	-	Witasek	17,120 Folie	
2 Sexowit + Acetophenon	Sex + Ace	Substanzmix Keton	- 98-86-2	- 99	Witasek ABCR	17,120 Folie 0,080 Kapillare	
3 Sexowit + Acetophenon (2x)	Sex + Ace(2)	Substanzmix Keton	- 98-86-2	- 99	Witasek ABCR	17,120 Folie 0,160 Kapillare (2x)	
4 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910 Kapillare	
5 Ethanol + (-)-alpha-Pinen	Eth + (-)aP	Alkohol Monoterpen	64-17-5 7785-26-4	96 98	VWR Alfa Aesar	4,910 Kapillare 0,709 Kapillare	
6 Ethanol + Veratrol	Eth + Ver	Alkohol Benzenderivat	64-17-5 91-16-7	96 90+	VWR VWR	4,910 Kapillare 0,020 Kapillare	
7 Ethanol + 2-Nonanon	Eth + Non	Alkohol Keton	64-17-5 821-55-2	96 ≥ 98	VWR Merck	4,910 Kapillare 0,180 Kapillare	
8 Ethanol + 4-Methylheptan-3-ol	Eth + Mhept	Alkohol Alkohol	64-17-5 14979-39-6	96 99	VWR VWR	4,910 Kapillare 0,230 Kapillare	
9 Ethanol + 3-Penten-2-ol	Eth + Pe	Alkohol Alkohol	64-17-5 1569-50-2	96 96	VWR Sigma Aldrich	4,910 Kapillare 0,988 Kapillare	
10 Ethanol + cis-Nerolidol	Eth + cN	Alkohol Alkohol	64-17-5 142-50-7	96 ≥ 96	VWR Sigma Aldrich	4,910 Kapillare 0,032 Kapillare	
11 Ethanol + Decanal	Eth +De	Alkohol Aldehyd	64-17-5 112-31-2	96 96	VWR abcr GmbH	4,910 Kapillare 0,141 Kapillare	

⁹ Ein Teil der in diesem Experiment gewonnenen Bestimmungsdaten wurde im Rahmen einer Masterarbeit von Florian Keiper, unter Anleitung des Autors, erhoben.

In diesem Experiment sollte das für viele Borkenkäferarten attraktive Ethanol als Grundsubstanz dienen und mit aus Laubwaldhabitaten stammenden Volatilen und Pheromonen kombiniert werden (vgl. Tabelle 38). Damit sollte geprüft werden, ob die im Kiefernhabitat vorkommenden Borkenkäferarten, entsprechend der Nicht-Wirtsbaum-Theorie, eine repellente Reaktion auf die aus den Laubwaldhabitaten stammenden Semiochemikalien zeigen. Zudem sollte die Attraktivität der Substanzen auf den Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* untersucht werden. Als weiterer Teil des Experimentes wurde die Wirkung des Acetophenons auf *T. formicarius* näher untersucht. In den Fallenfangexperimenten von 2010 sowie den Olfaktometerexperimenten zeigte sich eine Tendenz zur Meidung des Acetophenons.

Der Versuch erstreckte sich über den Zeitraum vom 14.03.2012 bis 03.05.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen.

Fallenfangexperiment 2012a-2

Um die Wirkung von Semiochemikalien aus dem Pheromonbouquet von *L. varius* im Kiefernhabitat zu erproben wurde das Fallenfangexperiment 2012a-2 angelegt.

Tabelle 39: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-2 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe-rate [$\Delta\mu/24h$]	Dispenser
1 Tomowit	Tom	Substanzmix	-	-	Witasek	24,525	Tube
2 Sexowit	Sex	Substanzmix	-	-	Witasek	17,120	Folie
3 <i>exo</i> -Brevicommin	exoB	Substanzmix	62255-25-8		Synergy Chem.	0,840	flex lure
4 <i>endo</i> -Brevicommin	endoB	Substanzmix	62532-53-0		Synergy Chem.	1,344	bubble cap
5 <i>exo</i> -Brevicommin + 2-Nonanon	exoB+Non	Substanzmix Keton	62255-25-8 821-55-2	≥ 98 ≥ 98	Synergy Chem. Merck	0,840	flex lure Kapillare
6 <i>endo</i> -Brevicommin + 2-Nonanon	endoB+Non	Substanzmix Keton	62532-53-0 821-55-2	≥ 98	Synergy Chem. Merck	1,344	bubble cap Kapillare
7 <i>exo</i> -Brevicommin + 2-Nonanon + Nonanal	exoB + Non + Na	Substanzmix Keton Aldehyd	62255-25-8 821-55-2 124-19-6	≥ 98 ≥ 98 97%	Synergy Chem. Merck ABCR	0,840	flex lure Kapillare Kapillare
8 <i>endo</i> -Brevicommin + 2-Nonanon + Nonanal	endoB + Non + Na	Substanzmix Keton Aldehyd	62532-53-0 821-55-2 124-19-6	≥ 98 ≥ 98 97%	Synergy Chem. Merck ABCR	1,344	bubble cap Kapillare Kapillare

Dabei sollten die von Francke et al. (1979) identifizierten Pheromonkomponenten *exo*-Brevicommin und Nonanon-2, sowie das vermutlich durch Käferfraß gebildete Nonanal (vgl. Tabelle 19) auf Attraktivität auf den Ameisenbuntkäfer untersucht werden. Als enantiomeres Pendant zum *exo*-Brevicommin wurde auch das *endo*-Brevicommin in den Untersuchungen verwendet. Den Anforderungen eines Allochthonen Kairomones entsprechend, sollten neben der Attraktivität auf Antagonisten, möglichst repellentes

Verhalten bei den autochthonen Borkenkäfern beobachtet werden. Zum Nachweis für die Abundanz der im Kiefernhabitat frühschwärmenden Waldgärtner wurde ein Tomowit®-Dispenser in das Versuchsdesign integriert. Als Standarddispenser zur Aggregation des Zwölfzähligen Kiefernborkekäfers (*I. sexdentatus*) wurde ein Sexowit®-Dispenser verwendet.

Der Versuch erstreckte sich über den Zeitraum vom 14.03.2012 bis 03.05.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen.

Fallenfangexperiment 2012a-3

Im Fallenfangexperiment 2012a-3 sollte die Wirkung von Semiochemikalien aus dem Pheromonbouquet von *S. intricatus* untersucht werden. Dabei wurden sowohl von Vrkočová et al. (2000) und Vrkočová et al. (2003) identifizierte Semiochemikalien, als auch Semiochemikalien aus eigenen Experimenten (vgl. Tabelle 20), in den Untersuchungen berücksichtigt. Zum Nachweis der Abundanz der im Kiefernhabitat heimischen Borkenkäfer wurde analog zum Fallenfangexperiment 2012a-2 ein Tomowit®- sowie ein Sexowit®-Dispenser in das Versuchsdesign integriert. Da alpha-Cubeben als Einzelsubstanz nicht zu beschaffen war, wurde analog zu Pearce et al. (1975) Cubeben-Öl im Experiment verwendet.

Tabelle 40: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-3 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [µl/24h]	Dispenser
1 Tomowit	Tom	Substanzmix	-	-	Witasek	24,525	Tube
2 Sexowit	Sex	Substanzmix	-	-	Witasek	17,120	Folie
3 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare
4 alpha-Cubeben	aCub	Substanzmix	-	-	essence pur	0,047	Kapillare
5 alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol	aCub + Mhept	Substanzmix	-	-	essence pur	0,047	Kapillare
		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
6 alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol + Anisol	aCub + Mhept + An	Substanzmix	-	-	essence pur	0,047	Kapillare
		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
		aromatischer KW	100-66-3	-	abcr	0,466	Kapillare
7 alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol + (+)-Limonen	aCub + Mhept + Lim	Substanzmix	-	-	essence pur	0,047	Kapillare
		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
		Monoterpen	5989-27-5	95	abcr	0,079	Kapillare
8 alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol + alpha-Caryophyllen	aCub + Mhept + aCar	Substanzmix	-	-	essence pur	0,047	Kapillare
		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
		Sesquiterpen	6753-98-6	96	Carl Roth	2,469	Kapillare

Der Versuch erstreckte sich über den Zeitraum vom 14.03.2012 bis 03.05.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen.

Fallenfangexperiment 2012a-4

Zur Überprüfung eines Repellenzverhaltens des Buchdruckers (*I. typographus*) auf Semiochemikalien aus Laubwaldhabitaten wurde das Fallenfangexperiment 2012a-4 angelegt, bei dem Pheroprax®-Dispenser mit Laubholzsemiochemikalien modifiziert wurden. Aufgrund der Beschaffenheit des Untersuchungshabitates konnte nicht mit einer hohen Populationsdichte des Buchdruckers gerechnet werden. Dennoch konnte aufgrund der polyphagen Lebensweise die Abundanz einer Buchdrucker-Population angenommen werden. Der Vorteil der Anlage des Experimentes im Kiefernhabitat lag in der hohen Populationsdichte der *Thanasimus*-Spezies. Demnach konnte zeitgleich auch auf Veränderungen im Anflugverhalten des Ameisenbuntkäfers auf die modifizierten Pheroprax®-Dispenser untersucht werden. Zudem konnte eine Gefährdung des Kiefernbestandes durch die Konzentration von Pheroprax® auf der Versuchsfläche ausgeschlossen werden.

Tabelle 41: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-4 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\mu\text{l}/24\text{h}$]	Dispenser
1 Pheroprax®	Ph	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
2 Pheroprax®	Ph+Non	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ 2-Nonanon		Keton	821-55-2	≥ 98	Merck	0,180	Kapillare
3 Pheroprax®	Ph+Mhept	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ 4-Methylheptan-3-ol		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
4 Pheroprax®	Ph+Ver	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ Veratrol		Benzenderivat	91-16-7	90+	VWR	0,020	Kapillare
5 Pheroprax®	Ph+Ace	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ Acetophenon		Keton	98-86-2	99	ABCR	0,080	Kapillare
6 Pheroprax®	Ph+Un	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ 2-Undecanon		Keton	112-12-9	98	ABCR	0,013	Kapillare
7 Pheroprax®	Ph+Pe	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ 3-Penten-2-ol		Alkohol	1569-50-2	96	Sigma Aldrich	0,988	Kapillare
8 Pheroprax®	Ph+cN	Substanzmix	-	-	BASF	72,611	Reservoir
+ cis-Nerolidol		Alkohol	142-50-7	≥ 96	Sigma Aldrich	0,032	Kapillare

Der Versuch wurde im Zeitraum vom 16.05.2012 bis 04.07.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen durchgeführt.

Fallenfangexperiment 2012a-5

Aufgrund der sensitiven Wahrnehmung des (-)-alpha-Pinen von der Ameisenbuntkäferantenne (vgl. Kapitel 6.2.1), sowie der Attraktivität des Ethanol bei der Charakterisierung von Brutraum für eine Vielzahl von Borkenkäferarten, sollte mit dem Experiment die Wirkung von Ethanol und (-)-alpha-Pinen als Synergisten zu käferbürtigen Pheromonen für den Ameisenbuntkäfer untersucht werden. Dabei wurden sowohl Pheromon-

komponenten von Nadelholz besiedelnden Borkenkäferarten (Ipsdienol und (S)-(-)-Ipsenol) sowie von Laubholz besiedelnden Borkenkäferarten (Nonanon-2, 4-Methylheptan-3-ol, 3-Penten-2-ol) verwendet.

Tabelle 42: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-5 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu/24h$]	Dispenser
1 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
2 Ethanol	Eth+aP	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
3 Ethanol	Eth+aP+Non	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ 2-Nonanon		Keton	821-55-2	≥ 98	Merck	0,180	Kapillare
4 Ethanol	Eth+aP+Mhept	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ 4-Methylheptan-3-ol		Alkohol	14979-39-6	99	VWR	0,230	Kapillare
5 Ethanol	Eth+aP+Pe	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ 3-Penten-2-ol		Alkohol	1569-50-2	96	Sigma Aldrich	0,988	Kapillare
6 Ethanol	Eth+aP+IpsOl	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ (S)-(-)-Ipsenol		Terpenalkohol	35628-05-8	-	BASF	0,236	Kapillare
7 Ethanol	Eth+aP+IpsDi	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ Ipsdienol		Terpenalkohol	54809-53-9	-	BASF	0,013	Kapillare
8 Sexowit®	Sex	Substanzmix	-	-	Witasek	17,120	Folie

Der Versuch wurde im Zeitraum vom 16.05.2012 bis 04.07.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen durchgeführt.

Fallenfangexperiment 2012a-6

In diesem Experiment wurden erneut nPhero-Fallen zur Untersuchung der Wirkung des natürlichen Pheromonbouquets von *L. varius*, *T. domesticum* und *S. intricatus* in Beständen der Gemeinen Kiefer aufgebaut. Mit dem Experiment sollte die Attraktivität aller drei Borkenkäferarten als potentielle Beute für den Ameisenbunkkäfer beleuchtet werden. Darüber hinaus wurde auf Attraktivität der natürlichen Pheromonbouquets für weitere Antagonisten im Kiefernhabitat geprüft.

Für das Experiment 2012a-6 wurden jeweils zwei nPhero-Fallen außerhalb der kreisförmigen Anordnung des Fallenfangexperimentes 2012a-3, bzw. im weiteren Jahresverlauf 2012a-5, eingegliedert. Die beiden nPhero-Fallen wurden dazu im Raster eines gleichschenkligen Dreiecks ausgehend von der Nullfalle (Abstand: 25 m) in die Versuche integriert. Der Versuchszeitraum erstreckte sich vom 28.03.2012 bis 04.07.2012.

Zeitlich wurden die nPhero-Fallen mit folgenden Hölzern bestückt:

Tabelle 43: Übersicht der Anzahl der Einbohrlöcher der in die nPhero-Fallen eingehangenen Hölzer

	Anzahl der Einbohrlöcher im Holz auf der Falleninsel (FI)				Zeitraum
	FI 1	FI 2	FI 3	FI 4	
<i>Fraxinus excelsior</i> besiedelt mit <i>Leperisinus varius</i>	33	8	7	12	28.03.2012 - 24.05.2012
<i>Fagus sylvatica</i> besiedelt mit <i>Trypodendron domesticum</i>	11	7	8	9	28.03.2012 - 04.07.2012
<i>Quercus spec.</i> besiedelt mit <i>Scolytus intricatus</i>	9	12	15	7	24.05.2012 - 04.07.2012

8.1.1.6 FALLENFANGEXPERIMENT 2012B

Im Versuchsjahr 2012 wurden zwei Experimente auf der Versuchsfläche der Gemeinen Esche durchgeführt (vgl. Kapitel 3.2).

Fallenfangexperiment 2012b-1

Das Fallenfangexperiment 2012b-1 wurden im Eschenhabitat (Versuchsfläche Esche, Abteilung 458, vgl. Kapitel 3.2) analog zum auf der Kiefernversuchsfläche durchgeführten Fallenfangexperiment 2012a-2 angelegt, um die Reaktion des Eschenbastkäfers (*L. varius*) auf Teile seines bislang aus der Literatur bekannten Pheromonbouquets zu untersuchen. Es handelt es sich bei diesem Experiment um eine autochthone Erprobung der Testsubstanzen, bei der erneut auch die Reaktion von natürlichen Gegenspielern des Eschenbastkäfers beleuchtet werden sollte. Einziger Unterschied zum Fallenfangexperiment 2012a-2 war die Verwendung eines Ethanol-Dispensers (Kapillare mit einer Abgaberate von 4,91 µl / 24h) als Standard zur Aggregation von *L. varius*, an Stelle des Tomowit®-Dispensers. Das Experiment wurde im Zeitraum vom 15.03.2012 bis 20.04.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen durchgeführt.

Fallenfangexperiment 2012b-2

Mit dem Experiment sollte die Wirkung von Stressmarkern (Decanal und Nonanal), welche aus GC-MS/EAD-Analysen von mit Eschenbastkäfern besiedeltem Eschenholz nachgewiesen wurden (vgl. Tabelle 19) sowie deren Kombination mit weiteren identifizierten Semiochemikalien aus besiedeltem Eschenholz (Tabelle 14, Tabelle 16 und Tabelle 19) untersucht werden. Dabei sollte vor allem die Reaktion des Kleinen Bunten Eschenbastkäfers (*L. varius*) und dessen Prädator *T. formicarius* auf die Testsubstanzen geprüft werden.

Tabelle 44: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012b-2 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu/24h$]	Dispenser
1 Decanal	De/Na	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
2 Decanal	De/Na+cN	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ cis-Nerolidol		Alkohol	142-50-7	≥ 96	Sigma Aldrich	0,032	Kapillare
3 Decanal	De/Na+Lo	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ Linalool		Alkohol	78-70-6	97	ABCR	0,013	Kapillare
4 Decanal	De/Na+El	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ Elemicin		aromatischer KW	487-11-6	-	Synchem OHG	0,011	Kapillare
5 Decanal	De/Na+Un	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ 2-Undecanon		Keton	112-12-9	98	ABCR	0,013	Kapillare
6 Decanal	De/Na+Cop	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ (-)-alpha-Copaen		Sesquiterpen	3856-25-5	-	SantaCruz Biotec.	n.b.	Kapillare
7 Decanal	De/Na+Lim	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ (+)-Limonen		Monoterpen	5989-27-5	95	ABCR	2,421	Kapillare
8 Decanal	De/Na+aP	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ (-)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-26-4	98	Alfa Aesar	0,709	Kapillare
+ (+)-alpha-Pinen		Monoterpen	7785-70-8	98	Alfa Aesar	1,093	Kapillare
9 Decanal	De/Na+Hept+	Aldehyd	112-31-2	96	ABCR	0,141	Kapillare
+ Nonanal		Aldehyd	124-19-6	97	ABCR	0,100	Kapillare
+ Heptanal		Aldehyd	111-71-7	96	ABCR	0,610	Kapillare
+ Hexanal		Aldehyd	66-25-1	96	ABCR	0,919	Kapillare
10 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,910	Kapillare

Durchgeführt wurde das Experiment auf der Eschenversuchsfläche (Abteilung 459 und 460, vgl. Kapitel 3.1) im Zeitraum vom 15.03.2012 bis 20.04.2012 mit drei Leerungen der Fallen.

8.1.1.7 FALLENFANGEXPERIMENT 2012C

Auf der Buchenversuchsfläche (vgl. Kapitel 3.1) wurden zwei zeitlich aufeinander folgende Experimente angelegt.

Fallenfangexperiment 2012c-1

Ziel des Experimentes war es, die Reaktion des Laubnutzholzborkenkäfers (*T. domesticum*) auf sein Aggregationspheromon Lineatin mittels ausgewählten Testsubstanzen zu steigern bzw. zu reduzieren. Dabei wurden die für Borkenkäfer aus Nadelwäldern konzipierten Dispenser Sexowit® und Typosan® auf Repellenzwirkung auf *T. domesticum* getestet. Mit dem Veratrol hingegen sollte die Attraktivität des Lineatin-Dispensers auf *T. domesticum* gesteigert werden.

Tabelle 45: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012c-1 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [Δµl/24h]	Dispenser
1 Lineatin	Lin	Substanzmix	-	-	Witasek	36,889	Folie
2 Lineatin + Acetophenon	Lin+Ace	Substanzmix Keton	- 98-86-2	- 99	Witasek ABCR	36,889	Folie 0,08 Kapillare
3 Lineatin + Nonanon-2	Lin+Non	Substanzmix Keton	- 821-55-2	- ≥ 98	Witasek Merck	36,889	Folie 0,18 Kapillare
4 Lineatin + 4-Methylheptan-3-ol	Lin+Mhept	Substanzmix Alkohol	- 14979-39-6	- 99	Witasek VWR	36,889	Folie 0,23 Kapillare
5 Lineatin + Veratrol	Lin+Ver	Substanzmix Benzenderivat	- 91-16-7	- 90+	Witasek VWR	36,889	Folie 0,02 Kapillare
6 Lineatin + Veratrol (2x)	Lin+Ver(2)	Substanzmix Benzenderivat	- 91-16-7	- 90+	Witasek VWR	36,889	Folie 0,04 Kapillare
7 Lineatin + Sexowit®	Lin+Sex	Substanzmix Substanzmix	- -	- -	Witasek Witasek	36,889	Folie 17,12 Folie
8 Lineatin + Typosan®	Lin+Typ	Substanzmix Substanzmix	- -	- -	Witasek Flügel	36,889	Folie 39,722 Folie
9 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	4,91	Kapillare
10 Ethanol + Veratrol (2x)	Eth+Ver(2)	Alkohol Benzenderivat	64-17-5 91-16-7	96 90+	VWR VWR	4,91	Kapillare 0,04 Kapillare

Die Semiochemikalien Acetophenon, 4-Methylheptan-3-ol und Nonanon-2 sind für andere Borkenkäferarten an Laubholz als Teile von deren Pheromonbouquet beschrieben worden (vgl. 5.1.1). Insofern galt es mit dem Experiment zu prüfen, ob diese Substanzen zur Habitatdifferenzierung von *T. domesticum* genutzt werden.

Das Experiment wurde auf der Buchenversuchsfläche (Abteilung 604 und 605 vgl. Kapitel 3.1) im Zeitraum vom 23.03.2012 bis 02.05.2012 mit drei Leerungen der Fallen durchgeführt.

Fallenfangexperiment 2012c-2¹⁰

Die in den SPME-Analysen von 2011 identifizierten Semiochemikalien von Rot-Buche besiedelt mit *T. bicolor*, sowie Rot-Buche besiedelt mit *X. germanus*, sollten mit diesem Experiment auf Lockwirksamkeit im Freiland getestet werden. Für den Kleinen Buchenborkenkäfer sollte zudem die Lockwirksamkeit Acetophenons, welches als Teil seines Pheromonbouquets beschrieben wurde (Kohnle et al. 1987), erprobt werden. Durchgeführt wurde das Experiment erneut auf der Buchenversuchsfläche Abteilung 604 und 605 (vgl. Kapitel 3.1).

¹⁰ Das Experiment wurde im Rahmen einer Masterarbeit von Robert Friedrich, unter Anleitung des Autors, durchgeführt.

Eine Übersicht, der im Experiment verwendeten Substanzen ist in Tabelle 46 aufgeführt. Durchgeführt wurde der Versuch im Zeitraum vom 15.05.2012 bis 12.07.2012 mit insgesamt vier Leerungen der Fallen.

Tabelle 46: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012c-2 verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe- rate [$\Delta\mu/24h$]	Dispenser
1 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	13,361	Reservoir
2 Ethanol + Acetophenon	Eth+Ace	Alkohol Keton	64-17-5 98-86-2	96 99	VWR ABCR	13,361 47,411	Reservoir Reservoir
3 Ethanol klein + Acetophenon	Eth(s)+Ace	Alkohol Keton	64-17-5 98-86-2	96 99	VWR ABCR	4,910 47,411	Kapillare Reservoir
4 Ethanol + Acetophenon klein	Eth+Ace(s)	Alkohol Keton	64-17-5 98-86-2	96 99	VWR ABCR	13,361 0,080	Reservoir Kapillare
5 Ethanol + Acetophenon + Thujopsene	Eth+Ace+Tj	Alkohol Keton Sesquiterpen	64-17-5 98-86-2 470-40-6	96 99 ≥ 97	VWR ABCR Sigma Aldrich	13,361 47,411 0,059	Reservoir Reservoir Kapillare
6 Ethanol + Acetophenon + beta-Cedren	Eth+Ace+Ced	Alkohol Keton Sesquiterpen	64-17-5 98-86-2 546-28-1	96 99 -	VWR ABCR ABCR	13,361 47,411 n.b.	Reservoir Reservoir Kapillare
7 Ethanol + Acetophenon + beta-Caryophyllen	Eth+Ace+bC	Alkohol Keton Sesquiterpen	64-17-5 98-86-2 87-44-5	96 99 80	VWR ABCR ABCR	13,361 47,411 0,395	Reservoir Reservoir Kapillare
8 Ethanol + Essigsäure	Eth+Ac	Alkohol Carbonsäure	64-17-5 64-19-7	96 ≥ 99	VWR Carl Roth	13,361 1,196	Reservoir Kapillare
9 Chalcogran	Ch	Spiroacetal	38401-84-2	-	BASF	0,402	Kapillare
10 Chalcogran + Ethanol	Ch+Eth	Spiroacetal Alkohol	38401-84-2 64-17-5	- 96	BASF VWR	0,402 13,361	Kapillare Reservoir

8.1.1.8 FALLENFANGEXPERIMENT 2012D

In diesem Experiment sollte die Wirkung von Semiochemikalien aus dem Pheromonbouquet von *S. intricatus* sowie von Semiochemikalien, welche beim Fraß der Käfer am Eichenholz gebildet werden, untersucht werden. Dabei wurden sowohl von Vrkočová et al. (2000) und Vrkočová et al. (2003) identifizierte Semiochemikalien, als auch Semiochemikalien aus eigenen Experimenten (vgl. Tabelle 20), in den Untersuchungen berücksichtigt (Tabelle 47).

Das Experiment wurde auf der Eichenversuchsfläche bei Luckau (vgl. Kapitel 3.3) im Zeitraum vom 16.05.2012 bis 04.07.2012 mit insgesamt drei Leerungen der Fallen durchgeführt.

Tabelle 47: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012d verwendeten Substanzen

Substanz	Abk.	Substanzklasse	CAS	RH [%]	Anbieter	Abgabe-rate [$\Delta\mu$ /24h]	Dispenser
1 Ethanol	Eth	Alkohol	64-17-5	96	VWR	45,429	Reservoir
2 Ethanol + alpha-Cubeben	Eth+aCub	Alkohol Substanzmix	64-17-5 -	96 -	VWR essence pur	45,429 0,047	Reservoir Kapillare
3 Ethanol + alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol	Eth+aCub+ Mhept	Alkohol Substanzmix Alkohol	64-17-5 - 14979-39-6	96 - 99	VWR essence pur VWR	45,429 0,047 0,230	Reservoir Kapillare Reservoir
4 Ethanol + alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol + Anisol + beta-Caryophyllen	Eth+aCub+ Mhept+An+bC	Alkohol Substanzmix Alkohol aromatischer KW Sesquiterpen	64-17-5 - 14979-39-6 100-66-3 87-44-5	96 - 99 - 80	VWR essence pur VWR abcr GmbH ABCR	45,429 0,047 0,230 0,466 0,395	Reservoir Kapillare Reservoir Kapillare Kapillare
5 Ethanol + alpha-Cubeben + 4-Methylheptan-3-ol + (+)-Limonene + alpha-Caryophyllen	Eth+aCub+ Mhept+dLim+ aCar	Alkohol Substanzmix Alkohol Monoterpen Sesquiterpen	64-17-5 - 14979-39-6 5989-27-5 6753-98-6	96 - 99 95 96	VWR essence pur VWR abcr Carl Roth	45,429 0,047 0,230 0,079 2,469	Reservoir Kapillare Reservoir Kapillare Kapillare

8.1.2 APPLIKATION DER CHEMIKALIEN IN DISPENSERN

Die Semiochemikalien Sexowit®, Lineatin (=Lineatin-Kombi®) und Pheroprax® wurden als bereits funktions- und gebrauchsfähige Foliendispenser direkt von der Industrie (Witasek Pflanzenschutz GmbH) bezogen. Auch die Dispenser *exo*-Brevicommin und *endo*-Brevicommin wurden industriell gefertigt und bezogen (Synergy Semiochemicals Corp., Kanada).

Der Dispenser Chalcogran wurde in Fallenfang- und Fangholzexperimenten von 2010 und 2011 als Mischung von Methylbutinol und Chalcogran (15:1) verwendet. Die Mischung wurde am Institut für Waldbau und Forstschutz hergestellt und in leere Reservoirdispenser der Firma BASF gefüllt. Jede Seite des Reservoirs wurde mit 1 ml des Chalcogran befüllt. Die durch das Befüllen mit einer handelsüblichen Einwegspritze (Braun Injekt 2ml, Ø 0,60 x 25 mm) entstandenen Löcher wurden anschließend mit einer Heißklebepistole abgedichtet.

Alle anderen Semiochemikalien wurden in Mikrokapillaren (Hirschmann DURAN® ringcaps 100/200 μ l) befüllt. Zuvor wurden die beidseitig geöffneten Mikrokapillaren an einem Ende durch Erhitzung über einem Bunsenbrenner verschlossen. Das Befüllen der Mikrokapillaren mit den Reinsubstanzen erfolgte mit handelsüblichen Einwegspritzen (Braun Injekt 2 ml, Ø 0,60 x 25 mm). Um die Mikrokapillaren bei einer Anwendung im Gelände vor Defekten zu schützen, wurden diese in eine dafür angefertigte Schutzhülle, an welcher zudem eine Halterung für die Befestigung der Dispenser angebracht war, platziert.

Im Versuchsjahr 2011 wurden wenige Einzelsubstanzen auch in Reservoir-Dispenser injiziert, um höhere Abgaberaten zu erzielen. Die Injektion erfolgte analog zu der für das Chalcogran beschriebenen Methodik.

Die Füllstände der Kapillardispenser wurden wöchentlich überprüft und bei Bedarf erfolgte eine Erneuerung der Dispenser. Die industriell bezogenen Dispenser wurden den Empfehlungen des Herstellers entsprechend gewechselt.

8.1.3 DATENAUSWERTUNG

Zur Auswertung der Fallenfänge wurden die Fangzahlen der Art_x mit den einzelnen Varianten pro Leerungstermin verwendet. Jedoch gingen nur die Fangzahlen in die statistische Auswertung ein, welche in der Zeit des Schwarmmaximums der Art_x erfasst wurden. Die Zeit des Schwarmmaximums war durch die drei Fangtage der Art_x mit den höchsten Fangzahlen (Summe der Art_x über alle Falleninseln) definiert. Alle übrigen Fangtage wurden für die statistische Auswertung der Fänge nicht berücksichtigt. Dies war nötig, da die Fangzahlen der Art_x als Prozent in Relation zum Gesamtfang der Art_x auf der Falleninsel pro Leerungstermin betrachtet wurden. Nach dieser Methode könnten kleine und unter Umständen zufällig entstandene Fangzahlen die gleiche prozentuale Wertung bekommen, wie sehr hohe und gerichtete Fänge. Demzufolge können kleine Fangzahlen das statistische Ergebnis positiv bzw. negativ beeinflussen. Die prozentuale Betrachtung der Fallenfänge hatte jedoch den Vorteil, dass Unterschiede in der Populationsgröße der Art_x zwischen den einzelnen Falleninseln, sowie im zeitlichen Verlauf ausgeglichen werden konnten.

Die prozentualen Fangdaten wurden anschließend einer $\arcsin(\sqrt{p})$ -Transformation unterzogen, um Voraussetzungen der Normalverteilung und Varianzhomogenität zu erreichen. Als Auswerteprozedur wurde ein Allgemeines Lineares Modell (ALM) verwendet, mit welchem der Einfluss der Lockstoffvariante auf die gefangenen Art_x geprüft wurde. Konnte mit dem ALM ein signifikanter Einfluss der Testvarianten auf die Fangzahl der Art_x nachgewiesen werden (Modellwert erlangt signifikanten Charakter auf dem Signifikanzniveau von 5 %), dann wurde als post-hoc-Test der Fischer's LSD-Test angewandt, um die Attraktivität der Testsubstanzen auf die Art_x statistisch beurteilen zu können (Strom et al. 1999, Guérard et al. 2000, Youssef et al. 2009).

Wenn die Voraussetzungen für ein parametrisches Testverfahren nicht erfüllt waren, dann wurde der Kruskal-Wallis-Test zur Prüfung von signifikanten Unterschieden zwischen den Varianten herangezogen. Um zu testen, welche der Variablen sich signifikant unterschieden wurde, anschließend der nicht parametrische Mann-Whitney-U-Test verwendet (Signifikanzniveau 5 %).

8.2 FANGERGEBNISSE

8.2.1 FANGERGEBNISSE AUF NATÜRLICH PRODUZIERTE PHEROMONBOUQUETS

8.2.1.1 NPHERO-FALLENFANGEXPERIMENT 2010

Eschenhabitat: Holzstücke besiedelt mit *L. varius*

Die mit *L. varius* besiedelten Eschen-Hölzer, mit denen die nPhero-Fallen auf der Eschenversuchsfläche bestückt wurden, erzeugten auf *L. varius* die höchste Attraktivität (Tabelle 48). Insgesamt war *L. varius* mit 1.139 aggregierten Individuen die am häufigsten angelockte Borkenkäferart. Aber auch *X. germanus* wurde von mit *L. varius* besiedelten Eschenholzstücken signifikant aggregiert (Tabelle 48). Darüber hinaus wurden *H. crenatus* und *S. intricatus* mit erhöhten Fangzahlen in den nPhero-Fallen nachgewiesen.

Von den Prädatoren konnte einzig vom Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* ein signifikanter Anflug auf die besiedelten Eschenholzstücke beobachtet werden (Tabelle 48). Ein geschlechtsspezifischer Anflug von *T. formicarius* auf das besiedelte Eschenholz konnte nicht nachgewiesen werden (t-Test für gepaarte Stichproben: $p = 0,156$). Im Vergleich der im Fangzeitraum aggregierten Anzahl an *T. formicarius* erreichte die vom besiedelten Eschenholzstück erfasste Attraktivität 15,2 % des Sexowit®-Dispensers¹¹. Zudem wurden im späteren Jahresverlauf (ab 06.07.2010) *Thanasimus*-Larven, welche sich in den besiedelten Eschenhölzern entwickelt haben müssen, nachgewiesen. Alle erfassten Larven befanden sich im L3-Stadium (durchschnittliche Körperlänge 1,82 cm).

Der Prädatoren *N. elongatum* wurde nur mit zwei das *Leperisinus*-Holz angeflogenen Individuen erfasst. Eine vom besiedelten Eschenholz ausgehende signifikante Lockwirkung auf den Jagdkäfer konnte aufgrund des geringen Anfluges nicht nachgewiesen werden.

¹¹ Die Fangzahlen der Sexowit®-Dispenser dienten bei der Auswertung zur Abschätzung der Abundanz von *Thanasimus spec.*

Tabelle 48: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit *L. varius* besiedelte Eschenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 20.04.2010 – 17.08.2010 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)

	nPhero		Null		p-Wert	Sex		p-Wert
	Σ	Anteil	Σ	Anteil		Σ	Anteil	
Prädatoren	309		90			716		
<i>Thanasimus formicarius</i>	47	12,9%	7	1,9%	0,008	310	85,2%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♂	25	11,2%	6	2,7%	0,090	193	86,2%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♀	22	15,7%	1	0,7%	0,002	117	83,6%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> (Larve)	44	100,0%	0	0,0%	< 0,001	0	0,0%	< 0,001 *
<i>Nemosoma elongatum</i>	2	100,0%	0	0,0%	0,083	0	0,0%	0,083 *
<i>Tillus elongatus</i>	1	4,5%	2	9,1%	0,385	19	86,4%	0,004
<i>Rhizophagus bipustulatus</i>	2	66,7%	1	33,3%	-	0	0,0%	-
<i>Salpingus ruficollis</i>	3	50,0%	1	16,7%	-	2	33,3%	-
Tenebrinoidae	3	50,0%	0	0,0%	-	3	50,0%	-
Elateridae	111	64,9%	38	22,2%	-	22	12,9%	-
Staphilinidae	49	36,8%	34	25,6%	-	50	37,6%	-
Parasitoide (Ordnung: Hymenoptera)	597		10			16		
<i>Coeloides filiformis</i>	379	95,9%	6	1,6%	< 0,001	10	2,5%	< 0,001
Chalcidoidea spec.	195	96,1%	3	1,5%	< 0,001	5	2,4%	< 0,001
Sonstige	23	92,0%	1	4,0%	0,001	1	4,0%	0,001
bast- und holzbesiedelnde Insekten	1.215		44			93		
<i>Leperisinus varius</i>	1.139	99,4%	4	0,4%	< 0,001	3	0,3%	< 0,001
<i>Hylesinus crenatus</i>	16	84,2%	1	5,3%	-	2	10,5%	-
<i>Hylecoetus dermestoides</i>	0	0,0%	1	100,0%	0,317	0	0,0%	1,000 *
<i>Scolytus intricatus</i>	12	60,0%	3	15,0%	-	5	25,0%	-
<i>Xylosandrus germanus</i>	20	100,0%	0	0,0%	< 0,001	0	0,0%	< 0,001 *
<i>Xyleborus dispar</i>	1	100,0%	0	0,0%	0,317	0	0,0%	0,317 *
<i>Xyleborus monographus</i>	2	33,3%	1	16,7%	-	3	50,0%	-
<i>Xyleborus saxeseni</i>	3	25,0%	3	25,0%	-	6	50,0%	-
<i>Trypodendron domesticum</i>	0	0,0%	1	0,0%	0,317	0	0,0%	1,000 *
<i>Trypodendron signatum</i>	20	16,1%	30	24,2%	-	74	59,7%	-
Cerambycidae	2	100,0%	0	0,0%	0,083	0	0,0%	0,083 *

Der stärkste Anflug von potentiellen Antagonisten des Eschenbastkäfers (*L. varius*) konnte mit einem ab Mitte Juni beginnenden Anflug von parasitischen Hymenopteren beobachtet werden. Insgesamt konnten 597 Individuen erfasst werden, von denen die Brackwespe *Coeloides filiformis* (F.) am häufigsten nachgewiesen wurde (Tabelle 48).

Eichenhabitat: Holzstücke besiedelt mit S. intricatus

Auf das mit dem Eichensplintkäfer (*S. intricatus*) besiedelte Eichenholzstück, welches in die nPhero-Fallen auf der Eichenversuchsfläche eingehangen wurde, zeigte der Eichensplintkäfer einen höchst signifikanten Anflug (Tabelle 49).

Von den weiteren erfassten Borkenkäferarten konnte ausschließlich für *X. germanus* eine aggregierende Wirkung des mit dem Eichensplintkäfer besiedelten Holzstückes erfasst werden. Attraktivität besaß das besiedelte Eichenholzstück zudem für die Cerambycidae.

Tabelle 49: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit *S. intricatus* besiedelte Eichenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 31.05.2010 – 17.08.2010 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)

	nPhero		Null		p-Wert	Sex		p-Wert
	Σ	Anteil	Σ	Anteil		Σ	Anteil	
Prädatoren	98		37			109		
<i>Thanasimus formicarius</i>	0	0%	0	0%	1,000	55	100%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♂	0	0%	0	0%	1,000	28	100%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♀	0	0%	0	0%	1,000	27	100%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i>	0	0%	0	0%	1,000	1	100%	0,317 *
<i>Thanasimus femoralis</i> ♂	0	0%	0	0%	1,000	1	100%	0,317 *
<i>Thanasimus femoralis</i> ♀	0	0%	0	0%	1,000	0	0%	1,000
<i>Nemosoma elongatum</i>	2	50,0%	0	0,0%	-	2	50,0%	-
<i>Tillus elongatus</i>	3	11,5%	0	0,0%	0,120	23	88,5%	0,004
<i>Rhizophagus depressus</i>	1	2,3%	1	2,3%	0,922	41	95,3%	< 0,001
<i>Salpingus ruficollis</i>	1	33,3%	0	0,0%	-	2	66,7%	-
Tenebrinoidae	0	0,0%	0	0,0%	1,000	2	100,0%	0,083 *
Elateridae	85	64,4%	22	16,7%	0,014	25	18,9%	0,085
Staphilinidae	6	17,6%	14	41,2%	-	14	41,2%	-
Parasitoide (Ordnung: Hymenoptera)	11	28,9%	8	21,1%	-	19	50,0%	-
bast- und holzbesiedelnde Insekten	251		5			14		
<i>Scolytus intricatus</i>	228	98,7%	1	0,4%	< 0,001	2	0,9%	< 0,001
<i>Xylosandrus germanus</i>	7	87,5%	0	0,0%	0,001	1	12,5%	0,003
<i>Xyleborus saxeseni</i>	0	0,0%	1	100,0%	0,317	0	0,0%	1,000 *
<i>Xyleborus dispar</i>	1	100,0%	0	0,0%	0,317	0	0,0%	0,317 *
<i>Xyleborus monographus</i>	1	50,0%	1	50,0%	1,000	0	0,0%	0,317 *
<i>Trypodendron lineatum</i>	1	100,0%	0	0,0%	0,317	0	0,0%	0,317 *
<i>Trypodendron signatum</i>	0	0,0%	1	100,0%	0,317	0	0,0%	1,000 *
<i>Ips typographus</i>	1	10,0%	0	0,0%	0,400	9	90,0%	0,003
Cerambycidae	12	80,0%	1	6,7%	0,003	2	13,3%	0,001

Ein Anflug von Ameisenbuntkäfern (*Thanasimus spec.*) auf das besiedelte Holzstück wurde nicht beobachtet, obwohl zumindest *T. formicarius* im Untersuchungshabitat abundant war, was durch die Fänge des Sexowit®-Dispensers belegt werden konnte. Gleiches konnte auch für die Fangzahlen von *Tillus elongatus* (L.) und *Rhizophagus depressus* (F.) beobachtet werden (Tabelle 49). Ein gerichteter Anflug auf das besiedelte Holzstück konnte einzig von den Elateridae beobachtet werden (Tabelle 49).

Rot-Buchenhabitat: Holzstücke besiedelt mit *T. bicolor*

Auch der Kleine Buchenborkenkäfer (*T. bicolor*) zeigte einen signifikanten Anflug auf von ihm besiedelte Rot-Buchen-Hölzer. Insgesamt wurden zwar nur 19 Individuen aggregiert, jedoch war die Fangzahl höchst signifikant verschieden von der Nullvariante (Tabelle 50). Der Schwarze Nutzholzborkenkäfer (*X. germanus*) zeigte auf die Hölzer ein indifferenten Anflug. Dagegen wurden die Bohrkäfer (Bostrichidae) höchst signifikant von den mit *T. bicolor* besiedelten Hölzern aggregiert.

Tabelle 50: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit *T. bicolor* besiedelte Buchenholzstücke, Nullfallen und mit Chalcogran beköderte Fallen vom 27.04.2010 – 17.08.2010 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Ch: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)

	nPhero		Null		p-Wert	Ch		p-Wert
	Σ	Anteil	Σ	Anteil		Σ	Anteil	
Prädatoren	48		31			682		
<i>Thanasimus formicarius</i>	0	0%	2	100%	0,083	0	0%	1,000 *
<i>Thanasimus formicarius</i> ♂	0	0%	2	100%	0,083	0	0%	1,000 *
<i>Thanasimus formicarius</i> ♀	0	0%	0	0%	1,000	0	0%	1,000
<i>Nemosoma elongatum</i>	1	0,2%	0	0,0%	0,395	626	99,8%	<0,001
<i>Tillus elongatus</i>	2	50,0%	2	50,0%	1,000	0	0,0%	0,083 *
<i>Rhizophagus bipustulatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	6	100,0%	0,003
<i>Salpingus ruficollis</i>	23	100,0%	0	0,0%	0,001	0	0,0%	0,001 *
<i>Salpingus planisostriis</i>	2	100,0%	0	0,0%	0,089	0	0,0%	0,089 *
Elateridae	14	34,1%	13	31,7%	-	14	34,1%	-
Staphilinidae	6	10,3%	16	27,6%	0,541	36	62,1%	<0,001
Parasitoide (Ordnung: Hymenoptera)	1	100,0%	0	0,0%	0,317	0	0,0%	0,317 *
bast- und holzbesiedelnde Insekten	286		25			31		
<i>Hylecoetus dermestoides</i>	1	100,0%	0	0,0%	0,395	0	0,0%	0,395
<i>Taphrorychus bicolor</i>	19	100,0%	0	0,0%	<0,001	0	0,0%	<0,001
<i>Xylosandrus germanus</i>	20	40,0%	13	26,0%	-	17	34,0%	-
Bostrichidae	246	90,4%	12	4,4%	<0,001	14	5,1%	<0,001

Von den potenziellen natürlichen Gegenspielern konnte einzig für den Scheinrüssler *Salpingus ruficollis* (L.) ein signifikant gerichteter Anflug beobachtet werden (Tabelle 50). Der Jagdkäfer *N. elongatum* wurde lediglich mit einem Exemplar in den nPhero-Fallen nachgewiesen, so dass eine Attraktivität des von *T. bicolor* besiedelten Holzes statistisch nicht nachzuweisen war. Seine Abundanz konnte jedoch mit der Chalcogran-Variante erfasst werden, auf die *N. elongatum* einen sehr gerichteten Anflug zeigte (Tabelle 50). Auch der als potenzieller Prädatör in Frage kommende *Rhizophagus bipustulatus* (F.) konnte mit Chalcogran nachgewiesen werden, zeigte jedoch auf die mit *T. bicolor* besiedelten Hölzer keinen Anflug.

8.2.1.2 NPHERO-FALLENFANGEXPERIMENT 2012

Kiefernhabitat: Holzstücke besiedelt mit *L. varius*

Analog zum nPhero-Fallenfangexperiment 2010 konnte auch im Kiefernhabitat ein Anflug von *T. formicarius* auf die mit *L. varius* besiedelten Eschenstämme nachgewiesen werden (Tabelle 51). Wobei der Anflug bei geschlechtsspezifischer Betrachtung der Fänge überwiegend auf die weiblichen *T. formicarius* zurückzuführen war. Das besiedelte Eschenholz erreichte im Vergleich zu den summierten Fangzahlen des Sexowit® eine Attraktivität von 12,4% und damit ähnliche Werte wie im nPhero-Fallenfangexperiment 2010. Ein differenzierter Anflug von männlichen und weiblichen *T. formicarius* konnte

weder für die besiedelten Eschenholzstämme (t-Test für gepaarte Stichproben: $p = 0,586$) noch für die mit Sexowit® beköderten Fallen nachgewiesen werden (t-Test für gepaarte Stichproben: $p = 0,256$). Neben *T. formicarius* konnte auch die Abundanz von *T. femoralis* im Kiefernhabitat erfasst werden. Ein gerichteter Anflug auf die mit Eschenbastkäfern besiedelten Eschenstämme konnte jedoch nicht nachgewiesen werden (Tabelle 51). Von den übrigen in Tabelle 51 erfassten Prädatoren zeigten die Kurzflügler eine gerichtete Reaktion zum Eschenholz.

Tabelle 51: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit *L. varius* besiedelte Eschenhölzer, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 28.03.2012 – 24.05.2012 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)

	nPhero		Null			Sex		
	Σ	Anteil	Σ	Anteil	p-Wert	Σ	Anteil	p-Wert
Prädatoren	523		246			844		
<i>Thanasimus formicarius</i>	28	11,0%	2	0,8%	0,015	225	88,2%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♂	6	8,7%	1	1,4%	0,101	62	89,9%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♀	22	11,8%	1	0,5%	0,013	163	87,6%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i>	1	6,7%	1	6,7%	0,922	13	86,7%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i> ♂	0	0,0%	0	0,0%	1,000	5	100,0%	0,025 *
<i>Thanasimus femoralis</i> ♀	1	10,0%	1	10,0%	0,875	8	80,0%	< 0,001
<i>Tillus elongatus</i>	0	0,0%	1	33,3%	-	2	66,7%	-
<i>Rhizophagus depressus</i>	1	0,8%	1	0,8%	1,000	116	98,3%	< 0,001
<i>Pytho depressus</i>	1	3,6%	0	0,0%	0,403	27	96,4%	< 0,001
Tenebrinoidea	0	0,0%	0	0,0%	1,000	13	100,0%	0,025 *
Elateridae	437	50,6%	230	26,6%	0,207	197	22,8%	0,008
Staphilinidae	26	55,3%	8	17,0%	0,013	13	27,7%	0,002
Parasitoide (Ordnung: Hymenoptera)	1		1			1		
Chalcidoidea spec.	1	100,0%	0	0,0%	0,317	0	0,0%	0,317
Sonstige	0	0,0%	1	50,0%	-	1	50,0%	-
bast- und holzbesiedelnde Insekten	92		42			631		
<i>Leperisinus varius</i>	34	100,0%	0	0,0%	< 0,001	0	0,0%	< 0,001 *
<i>Tomicus piniperda</i>	5	50,0%	2	20,0%	-	3	30,0%	-
<i>Ips typographus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	30	100,0%	0,003 *
<i>Ips sexdentatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	257	100,0%	< 0,001 *
<i>Ips acuminatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	232	100,0%	< 0,001 *
<i>Hylurgops palliatus</i>	5	17,2%	16	55,2%	-	8	27,6%	-
<i>Hylastes opacus</i>	23	27,4%	14	16,7%	-	47	56,0%	-
<i>Hylastes cunicularius</i>	1	25,0%	2	50,0%	-	1	25,0%	-
<i>Hylastes attenuatus</i>	1	9,1%	1	9,1%	-	9	81,8%	-
<i>Hylastes ater</i>	3	25,0%	3	25,0%	-	6	50,0%	-
<i>Hylurgus ligniperda</i>	0	0,0%	2	12,5%	0,229	14	87,5%	< 0,001
Cerambycidae	20	43,5%	2	4,3%	0,209	24	42,2%	0,008

Auf das im Kiefernhabitat allochthone Eschenholzstück konnte kein Anflug von im Habitat heimischen bast- und holzbesiedelnden Insekten erfasst werden, obwohl deren

Abundanz mit dem Sexowit®-Dispenser nachgewiesen werden konnte. Am häufigsten wurden dabei *I. typographus*, *I. sexdentatus*, *Ips acuminatus* (Gyll.) und *H. opacus* erfasst. Ausschließlich der Eschenbastkäfer *L. varius* wurde mit den nPhero-Fallen signifikant aggregiert, wobei nicht ausgeschlossen werden kann, dass es sich bei den erfassten Individuen um aus dem Eschenholz stammende Käfer handelte (Tabelle 51).

Kiefernhabitat: Holzstücke besiedelt mit *T. domesticum*

Tabelle 52: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit *T. domesticum* besiedelte Buchenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 28.03.2012 – 24.05.2012 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)

	nPhero		Null			Sex		
	Σ	Anteil	Σ	Anteil	p-Wert	Σ	Anteil	p-Wert
Prädatoren	511		246			829		
<i>Thanasimus formicarius</i>	9	3,8%	2	0,8%	0,056	225	95,3%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♂	1	1,6%	1	1,6%	0,742	62	96,9%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♀	8	4,7%	1	0,6%	0,084	163	94,8%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i>	0	0,0%	1	7,1%	0,400	13	92,9%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i> ♂	0	0,0%	0	0,0%	1,000	5	100,0%	0,025 *
<i>Thanasimus femoralis</i> ♀	0	0,0%	2	11,1%	0,403	8	88,9%	< 0,001
<i>Glischrochilus quadripunctatus</i>	20	100,0%	0	0,0%	0,003	0	0,0%	0,003
<i>Rhizophagus depressus</i>	18	13,3%	1	0,7%	0,012	116	85,9%	< 0,001
<i>Pytho depressus</i>	1	3,6%	0	0,0%	0,403	27	96,4%	< 0,001
Elateridae	443	50,9%	230	26,4%	0,003	197	22,6%	< 0,001
Staphilinidae	11	34,4%	8	25,0%	-	13	40,6%	-
Parasitoide (Ordnung: Hymenoptera)	3	60,0%	1	20,0%	-	1	20,0%	-
bast- und holzbesiedelnde Insekten	37		40			630		
<i>Trypodendron domesticum</i>	55	100,0%	0	0,0%	< 0,001	0	0,0%	< 0,001 *
<i>Trypodendron lineatum</i>	2	100,0%	0	0,0%	0,083	0	0,0%	0,083 *
<i>Leperisinus varius</i>	4	100,0%	0	0,0%	0,083	0	0,0%	0,083 *
<i>Tomicus piniperda</i>	2	28,6%	2	28,6%	-	3	42,9%	-
<i>Ips typographus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	30	100,0%	0,003 *
<i>Ips sexdentatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	257	100,0%	< 0,001 *
<i>Ips acuminatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	232	100,0%	< 0,001 *
<i>Hylurgops palliatus</i>	7	22,6%	16	51,6%	-	8	25,8%	-
<i>Hylastes opacus</i>	10	14,1%	14	66,2%	0,787	47	66,2%	0,010
<i>Hylastes attenuatus</i>	2	16,7%	1	8,3%	-	9	75,0%	-
<i>Hylastes ater</i>	1	10,0%	3	30,0%	-	6	60,0%	-
<i>Hylurgus ligniperda</i>	1	5,9%	2	11,8%	0,541	14	82,4%	0,001
Cerambycidae	10	27,8%	2	5,6%	0,541	24	66,7%	0,001

Auf die mit *T. domesticum* besiedelten Buchenholzstücke konnte kein signifikanter Anflug von *T. formicarius* erfasst werden, wobei die Fangzahlen nur knapp das Signifikanzniveau überschritten (Tabelle 52). Ein Vergleich der *T. formicarius* Fänge erbrachte eine Attraktivität des mit *T. domesticum* besiedelten Buchenholzes von 4,0 %, im Vergleich zum Sexowit®. Die Fangzahlen von *T. formicarius* ließen auch keinen differenzierten

Anflug der Geschlechter auf die Varianten nPhero (t-Test für gepaarte Stichproben: $p = 0,284$) und Sexowit® (t-Test für gepaarte Stichproben: $p = 0,226$) erkennen. Auch von *T. femoralis* konnte kein Anflug auf die mit *T. domesticum* besiedelten Holzstücke beobachtet werden. Hingegen zeigten die Prädatoren *Glischrochilus quadripunctatus* (L.), *R. depressus* sowie die Familie der Schnellkäfer einen signifikanten Anflug auf die besiedelten Holzstücke (Tabelle 52).

Auch die mit *T. domesticum* besiedelten Buchenholzstücke sind im Untersuchungshabitat allochthon. Ein Anflug von im Habitat heimischen Borkenkäfern auf die Holzstücke konnte nicht nachgewiesen werden, obwohl deren Abundanz durch die Fangzahlen der mit Sexowit® bestückten Fallen angezeigt wird (Tabelle 52). Einzig für *T. domesticum* wurde ein gerichteter Anflug auf die nPhero-Fallen nachgewiesen, wobei auch hier Fänge von aus dem Holz stammenden Käfern nicht ausgeschlossen werden können (Tabelle 52).

Kiefernhabitat: Holzstücke besiedelt mit S. intricatus

Tabelle 53: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit *S. intricatus* besiedelte Eichenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 13.06.2012 – 04.07.2012 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)

	nPhero		Null			Sex		
	Σ	Anteil	Σ	Anteil	p-Wert	Σ	Anteil	p-Wert
Prädatoren	96		77			396		
<i>Thanasimus formicarius</i>	0	0,0%	1	0,9%	0,409	116	99,1%	< 0,001
<i>Thanasimus formicarius</i> ♂	0	0,0%	0	0,0%	1,000	37	100,0%	0,008 *
<i>Thanasimus formicarius</i> ♀	0	0,0%	1	1,3%	0,409	79	98,8%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i>	0	0,0%	2	5,3%	0,409	36	94,7%	< 0,001
<i>Thanasimus femoralis</i> ♂	0	0,0%	0	0,0%	1,000	21	100,0%	0,008 *
<i>Thanasimus femoralis</i> ♀	0	0,0%	2	11,8%	0,409	15	88,2%	< 0,001
<i>Rhizophagus depressus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	15	100,0%	0,008 *
Elateridae	88	39,3%	63	28,1%	-	73	32,6%	-
Staphilinidae	8	40,0%	8	40,0%	-	4	20,0%	-
Parasitoide (Ordnung: Hymenoptera)	0	0,0%	0	0,0%	1,000	1	100,0%	0,317
bast- und holzbesiedelnde Insekten	37		1			953		
<i>Scolytus intricatus</i>	33	100,0%	0	0,0%	0,008	0	0,0%	0,008 *
<i>Scolytus kirschi</i>	2	100,0%	0	0,0%	0,317	0	0,0%	0,317 *
<i>Tomicus piniperda</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	4	100,0%	0,025 *
<i>Ips typographus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	45	100,0%	0,008 *
<i>Ips sexdentatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	832	100,0%	0,008 *
<i>Ips acuminatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	36	100,0%	0,008 *
<i>Hylurgops palliatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	1	100,0%	0,317 *
<i>Hylastes attenuatus</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	15	100,0%	0,083 *
<i>Hylastes ater</i>	0	0,0%	0	0,0%	1,000	6	100,0%	0,025 *
Cerambycidae	2	11,8%	1	5,9%	0,826	14	82,4%	< 0,001

Analog zum nPhero-Fallenfangexperiment 2010 konnte auch im Kiefernhabitat kein Anflug von *Thanasimus* spec. auf mit *S. intricatus* besiedelte Eichenhölzer beobachtet werden, obwohl deren Abundanz auf der Untersuchungsfläche erfasst wurde (Tabelle 53). Darüber hinaus konnte während des Untersuchungszeitraums kein Anflug weiterer potentieller Gegenspieler des Eichensplintkäfers auf die besiedelten Hölzer nachgewiesen werden.

Von den bast- und holzbesiedelnden Insekten zeigte ausschließlich *S. intricatus* einen gerichteten Anflug auf die besiedelten Eichenhölzer. Jedoch könnte ein Teil der erfassten Individuen auch aus dem Holz stammen (Tabelle 53). Von den im Kiefernhabitat abundanten bast- und holzbesiedelnden Insekten konnte kein Anflug auf mit *S. intricatus* besiedelte Eichenhölzer erfasst werden.

8.2.2 FANGERGEBNISSE MIT SYNTHETISCHEN TESTSUBSTANZEN

8.2.2.1 FALLENFANGEXPERIMENT 2010

(1) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Abundanz der Zielarten in den Untersuchungshabitaten

Aus Tabelle 54 wird ersichtlich, dass *T. formicarius* in Laubwaldhabitaten teilweise in einer sehr hohen Individuendichten vorkommen kann. Entsprechend der Lage der Versuchsflächen, wie sie in Kapitel 3 beschrieben wurde, kann vor allem im Eschenhabitat von einem autochthonen Vorkommen von *T. formicarius* ausgegangen werden. Auf der Eichen- und Rot-Buchen-Versuchsfläche muss ein zusätzlicher Anflug aus umliegenden Nadelholzbeständen vermutet werden. *T. femoralis* wurde hingegen nur auf der Eichenversuchsfläche und in sehr geringer Abundanz nachgewiesen.

Tabelle 54: Erfasste Individuenfangzahl im Versuchszeitraum (23.03.2010 – 17.08.2010) differenziert nach Versuchsflächen (Summe über alle Testvarianten + Nullvariante; Fangzahlen mit nPhero sind nicht mit berücksichtigt; MW = mittlere Fangzahl pro Falleninsel)

	VF Esche			VF Eiche			VF Buche		
	Σ	MW	SD	Σ	MW	SD	Σ	MW	SD
<i>Thanasimus formicarius</i>	681	170,3	21,2	163	40,8	11,8	178	32,0	23,2
<i>Thanasimus femoralis</i>	0	0,0	0,0	3	0,8	1,0	0	0,0	0,0
<i>Lepersinus varius</i>	3.210	802,5	222,6	4	1,0	0,8	12	2,3	2,2
<i>Trypodendron domesticum</i>	25	6,3	3,9	2.116	529,0	111,7	9.778	2.005,5	1.354,4
<i>Trypodendron signatum</i>	1.442	360,5	275,5	336	84,0	145,4	3	0,3	0,5
<i>Scolytus intricatus</i>	133	33,3	12,9	10	2,5	3,1	0	0,0	0,0

In allen Laubwaldhabitaten konnten autochthone Borkenkäferarten, welche als potentielle Beutearten für die Ameisenbuntkäfer angenommen werden können, festgestellt werden. Dies waren auf der Eschenversuchsfläche vor allem *L. varius*, *T. signatum* und *S. intricatus*. Auf der Buchenversuchsfläche wurde fast ausschließlich *T. domesticum* als potentielle Beutearart für die Ameisenbuntkäfer nachgewiesen. Die geringsten Beutefangzahlen wurden auf der Eichenversuchsfläche erfasst. Den größten Anteil hierbei erreichte der Laubnutzholzborkenkäfer (*T. domesticum*). Der Eichensplintkäfer (*S. intricatus*) wurde, entgegen den Erwartungen, nur in sehr geringen Individuendichten erfasst.

Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen

Um die Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen darzustellen, wurden für jede Art nur die Fangzahlen von der Versuchsfläche herangezogen, auf welcher die Zielart in ihrer größten Individuendichte anzutreffen war (Tabelle 54).

Tabelle 55: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2010 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante	VF Esche				VF Eiche	VF Buche	
	Th. for.	L. var.	T. sign.	S. intri.	Th. fem.	T. dom.	
ALM (p-Wert)	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,001	< 0,001*	< 0,001	
Null	Σ	14,0	186,0	46,0	4,0	0,0	25,0
	Anteil	2,1%	5,8%	3,2%	3,0%	0,0%	0,3%
Eth	Σ	7,0	962,0	51,0	41,0	0,0	437,0
	Anteil	1,0%	30,0%	3,5%	30,8%	0,0%	4,5%
	p-Wert	0,789	< 0,001	0,041	< 0,001	1,000	0,002
M-hept	Σ	7,0	159,0	18,0	14,0	0,0	27,0
	Anteil	1,0%	5,0%	1,2%	10,5%	0,0%	0,3%
	p-Wert	0,966	0,502	0,676	0,550	1,000	0,791
Ver	Σ	7,0	55,0	36,0	10,0	0,0	45,0
	Anteil	1,0%	1,7%	2,5%	7,5%	0,0%	0,5%
	p-Wert	0,521	0,002	0,810	0,025	1,000	0,845
MB-one	Σ	10,0	298,0	25,0	8,0	0,0	28,0
	Anteil	1,5%	9,3%	1,7%	6,0%	0,0%	0,3%
	p-Wert	0,591	0,767	0,575	0,683	1,000	1,000
Non	Σ	13,0	162,0	8,0	25,0	0,0	13,0
	Anteil	1,9%	5,0%	0,6%	18,8%	0,0%	0,1%
	p-Wert	0,719	0,918	0,281	0,004	1,000	0,791
Ace	Σ	4,0	273,0	30,0	10,0	0,0	16,0
	Anteil	0,6%	8,5%	2,1%	7,5%	0,0%	0,2%
	p-Wert	0,759	0,359	0,098	0,128	1,000	0,590
Lin	Σ	84,0	1.011,0	1.120,0	9,0	0,0	9.022,0
	Anteil	12,3%	31,5%	77,7%	6,8%	0,0%	92,3%
	p-Wert	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,544	1,000	< 0,001
Ch	Σ	23,0	42,0	28,0	3,0	0,0	103,0
	Anteil	3,4%	1,3%	1,9%	2,3%	0,0%	1,1%
	p-Wert	0,133	0,002	0,098	0,946	1,000	0,346
Sex	Σ	512,0	62,0	80,0	9,0	3,0	62,0
	Anteil	75,2%	1,9%	5,5%	6,8%	100,0%	0,6%
	p-Wert	< 0,001	0,002	0,218	0,054	0,025	0,708

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Aus Tabelle 55 lässt sich erkennen, dass der Ameisenbunkkäfer (*T. formicarius*) ausschließlich mit Stoffgemischen aggregiert wurde. Die deutlichste Reaktion zeigte dieser auf den Sexowit®-Dispenser. Der Dispenser erreichte eine Fangleistung von 75,2 % aller erfassten *T. formicarius*. Daneben zeigte *T. formicarius* ausschließlich auf den Lineatin-Dispenser eine aggregierende Reaktion, welche jedoch nicht an die Fangleistung des Sexowit®-Dispensers heranreichte (12,3 % Fangleistung). Auf die verwendeten

Einzelsubstanzen konnte keine signifikante Reaktion von *T. formicarius* beobachtet werden. Wie in Tabelle 56 ersichtlich wird, konnte auch keine geschlechtsspezifische Reaktion von *T. formicarius* auf eine der erprobten Testsubstanzen beobachtet werden.

Tabelle 56: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2010 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Eth	M-hept	Ver	MB-one	Non	Ace	Lin	Ch	Sex
Männchen	7	3	5	3	3	5	4	45	15	289
p-Wert ♂	-	0,774	0,775	0,309	0,498	0,902	0,514	<0,001	0,338	<0,001
Weibchen	7	4	2	4	7	8	0	39	8	223
p-Wert ♀	-	0,748	0,831	0,409	0,621	0,566	0,409	<0,001	0,831	<0,001
p-Wert ♂-♀	0,339	0,242	0,173	1,000	0,297	0,674	0,339	0,120	0,229	0,261

Analog zu *T. formicarius* zeigte auch *T. femoralis* tendenzielle Reaktion auf den Sexowit®-Dispenser. Mit allen anderen Testvarianten konnte hingegen kein Nachweis von *T. femoralis* erbracht werden.

Von den potentiellen Beutearten konnten neben Reaktionen auf Stoffgemische auch Reaktionen auf die verwendeten Einzelsubstanzen erfasst werden. Beispielsweise führte Ethanol zu einer signifikanten Aggregation von *T. signatum*, *T. domesticum*, *L. varius* und von *S. intricatus* (Tabelle 55). Der Ethanol-Dispenser erzeugte bei beiden letztgenannten Arten eine Aggregationsleistung von rund 30 % aller auf einer Falleninsel erfassten Individuen. Eine repellente Wirkung auf den Eschenbastkäfer *L. varius* konnte vom Veratrol erfasst werden, hingegen war das Veratrol für den Eichensplintkäfer leicht aggregierend. Darüber hinaus konnte auch auf das Nonanon-2 eine leichte Aggregationswirkung des Eichensplintkäfers (*S. intricatus*) beobachtet werden.

Auf das Stoffgemisch Lineatin zeigten, wie zu erwarten, die *Trypodendron*-Arten eine aggregierende Reaktion. Dennoch wurde *T. domesticum* (92,3 %) stärker bzw. gerichteter vom Lineatin aggregiert als *T. signatum* (77,7 %). Aber auch *L. varius* wurde durch den Lineatin-Dispenser signifikant angelockt. Die Aggregationsleistung des Lineatin-Dispensers auf *L. varius* war überdies vergleichbar mit der Aggregationsleistung des Ethanols. Bei den erfassten *Trypodendron*-Arten zeigten sich diesbezüglich Unterschiede. Auf das Ethanol reagierten zwar beide *Trypodendron*-Arten mit Aggregation, die Reaktion auf das Lineatin war jedoch deutlich stärker nachzuweisen.

Auf die nadelbaumbürtigen Lockstoffe Sexowit® und Chalcogran zeigte *L. varius* im Vergleich zur Nullvariante ein repellentes Verhalten. Von den Laubholzarten *T. signatum*,

T. domesticum und *S. intricatus* konnte zumindest keine gerichtete Reaktion auf Nadelholzbürtige Lockstoffe erfasst werden.

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Abundanz weiterer Prädatoren in den Untersuchungshabitaten

Im Fallenfangexperiment von 2010 konnten neben den erfassten Zielarten weitere Prädatoren mit den verwendeten Testsubstanzen erfasst werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 57 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 57: Erfasste Individuenfangzahl im Versuchszeitraum (23.03.2010 – 17.08.010) differenziert nach Versuchsflächen (Summe über alle Testvarianten + Nullvariante; Fangzahlen mit nPhero sind nicht mit berücksichtigt)

	VF Esche			VF Eiche			VF Buche		
	Σ	MW	SD	Σ	MW	SD	Σ	MW	SD
<i>Nemosoma elongatum</i>	208	52,0	11,2	924	231,0	52,4	820	205,0	128,6
<i>Salpingus planirostris</i>	54	13,5	8,4	6	1,5	0,6	76	19,0	4,3
<i>Salpingus ruficollis</i>	67	16,8	4,6	20	5,0	2,6			
<i>Tillus elongatus</i>	30	7,5	4,7	40	10,0	7,0	18	4,5	1,9
<i>Rhizophagus bipustulatus</i>	49	12,3	4,8	50	12,5	3,1	91	22,8	4,4
<i>Rhizophagus dispar</i>	10	2,5	1,7	4	1,0	2,0	218	54,5	17,1
<i>Rhizophagus depressus</i>	93	23,3	6,3	105	26,3	10,8	39	9,8	3,2
<i>Tenebroidae</i>	3	0,8	1,0	5	1,3	1,0	0	0,0	0,0
<i>Staphilinidae</i>	1.046	261,5	92,2	490	122,5	15,3	472	118,0	16,3
<i>Elateridae</i>	505	126,3	44,6	466	116,5	33,0	252	63,0	20,3

Der Jagdkäfer (*N. elongatum*) konnte auf der Buchen- und Eichenversuchsfläche mit umliegenden Nadelholzbeständen in größerer Individuendichte angetroffen werden als auf der Laubholzexklave (Eschenversuchsfläche). Jedoch geht aus diesen Ergebnissen hervor, dass der Jagdkäfer auch in reinen Laubwaldbeständen abundant ist. Die Fangzahl der Staphilinidae war auf der Eschenversuchsfläche deutlich höher als auf der Eichen- bzw. Buchenversuchsfläche. Weitere Familien, deren Abundanz auf der Eschenversuchsfläche dominierte waren die Salpingidae und die Elateridae. Hingegen konnten Rhizophagidae in der Summe am häufigsten auf der Buchenversuchsfläche erfasst werden. Der Holzbuntkäfer (*T. elongatus*) wurde hingegen am häufigsten auf der Eichenversuchsfläche nachgewiesen.

Reaktion der Prädatoren auf die Testsubstanzen

Um die Reaktion der Prädatoren auf die Testsubstanzen darzustellen, wurden für jede Art nur Fangzahlen von der Untersuchungsfläche herangezogen, auf welcher die Zielart in ihrer größten Individuendichte anzutreffen war (Tabelle 58).

Tabelle 58: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2010 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante	VF Esche				VF Eiche				VF Buche		
	Sal. plan.	Sal. ruf.	Staph.	Elater.	Ne.el.	Til.el.	Tenebr.	Rh. depr.	Rh. bip.	Rh. dis.	
ALM (p-Wert)	< 0,001	0,059	0,043	0,723	< 0,001	< 0,001	0,460	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Null	∑	0,0	1,0	81,0	43,0	0,0	1,0	0,0	2,0	1,0	0,0
	Anteil	0,0%	1,5%	7,7%	8,5%	0,0%	2,5%	0,0%	1,9%	1,1%	0,0%
Eth	∑	7,0	12,0	118,0	49,0	0,0	0,0	0,0	7,0	2,0	6,0
	Anteil	13,0%	17,9%	11,3%	9,7%	0,0%	0,0%	0,0%	6,7%	2,2%	2,8%
M-hept	p-Wert	0,017	-	0,260	-	1,000	0,117	-	0,665	1,000	0,361
	∑	0,0	5,0	122,0	49,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0
Ver	Anteil	0,0%	7,5%	11,7%	9,7%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%	1,1%	0,9%
	p-Wert	1,000	-	0,949	-	1,000	0,117	-	0,802	0,781	1,000
MB-one	∑	4,0	9,0	124,0	51,0	1,0	0,0	1,0	2,0	5,0	0,0
	Anteil	7,4%	13,4%	11,9%	10,1%	0,1%	0,0%	20,0%	1,9%	5,5%	0,0%
Non	p-Wert	0,288	-	0,755	-	0,116	0,117	-	0,665	0,420	1,000
	∑	0,0	0,0	70,0	62,0	0,0	0,0	1,0	1,0	3,0	1,0
Ace	Anteil	0,0%	0,0%	6,7%	12,3%	0,0%	0,0%	20,0%	1,0%	3,3%	0,5%
	p-Wert	1,000	-	0,318	-	1,000	0,117	-	1,000	0,688	1,000
Lin	∑	2,0	3,0	86,0	60,0	1,0	0,0	0,0	1,0	3,0	0,0
	Anteil	3,7%	4,5%	8,2%	11,9%	0,1%	0,0%	0,0%	1,0%	3,3%	0,0%
Ch	p-Wert	0,213	-	0,279	-	0,920	0,117	-	0,578	1,000	1,000
	∑	2,0	3,0	99,0	66,0	2,0	0,0	0,0	1,0	3,0	0,0
Sex	Anteil	3,7%	4,5%	9,5%	13,1%	0,2%	0,0%	0,0%	1,0%	3,3%	0,0%
	p-Wert	0,773	-	0,079	-	0,783	0,117	-	0,763	0,713	1,000
Sex	∑	17,0	21,0	90,0	59,0	5,0	0,0	0,0	27,0	13,0	146,0
	Anteil	31,5%	31,3%	8,6%	11,7%	0,5%	0,0%	0,0%	25,7%	14,3%	67,0%
Ch	p-Wert	< 0,001	-	0,205	-	0,645	0,117	-	< 0,001	0,047	< 0,001
	∑	4,0	7,0	102,0	35,0	910,0	0,0	1,0	7,0	41,0	2,0
Sex	Anteil	7,4%	10,4%	9,8%	6,9%	98,5%	0,0%	20,0%	6,7%	45,1%	0,9%
	p-Wert	0,273	-	0,284	-	< 0,001	0,117	-	0,578	< 0,001	0,817
Sex	∑	18,0	6,0	154,0	31,0	5,0	39,0	2,0	56,0	19,0	61,0
	Anteil	33,3%	9,0%	14,7%	6,1%	0,5%	97,5%	40,0%	53,3%	20,9%	28,0%
Sex	p-Wert	< 0,001	-	0,320	-	0,887	< 0,001	-	< 0,001	0,002	< 0,001

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Die Prädatoren zeigten analog zu *T. formicarius* (vgl. Kapitel 8.2.2.1) die stärksten Reaktionen auf Stoffgemische. Mit Einzelsubstanzen konnten diese hingegen nur sehr schwach aggregiert werden. Von den verwendeten Einzelsubstanzen besaß das Ethanol Attraktivität für *Salpingus planirostris* (F.). Tendenziell war diese Attraktivität auch auf *S. ruficollis* und die Rindenglanzkäfer zu beobachten. Auch das Veratrol schien auf die Scheinrüssler eine leichte Lockwirkung zu besitzen, signifikant konnte dieser Zusammenhang jedoch nicht beschrieben werden.

Mit dem verwendeten Lineatin wurde eine Vielzahl an Prädatoren aggregiert. Signifikant konnte dies für *S. planirostris* und die Rhizophagidae erfasst werden. Signifikante Unterschiede in den Fangzahlen von Ethanol und Lineatin konnten dabei für die Arten *R. depressus* ($p = 0,002$), *R. bipustulatus* ($p = 0,047$) und *Rhizophagus dispar* (Pay.) ($p < 0,001$) gefunden werden (Anlage Tabelle 56, Anlage Tabelle 57, Anlage Tabelle 63). Letztgenannte Art war zudem der häufigste Prädatoren in den Lineatin-Fallen.

Aber auch die nadelbaumbürtigen Lockstoffe Chalcogran und Sexowit® aggregierten eine hohe Anzahl an Prädatoren (Tabelle 58). Auf das Sexowit® konnte von allen erfassten Rindenglanzkäferarten, *T. elongatus* und *S. planirostris* eine aggregierende Reaktion beobachtet werden. Auf das Chalcogran zeigten hingegen *N. elongatum* und *R. bipustulatus* eine gerichtete Reaktion. Der Anflug von *N. elongatum* auf das Chalcogran war von allen erfassten Prädatoren die stärkste Reaktion auf eine Testsubstanz. Insgesamt wurden mit diesem Lockstoff im Mittel 98,5 % aller auf einer Falleninsel erfassten Jagdkäfer aggregiert. Auch von den Rindenglanzkäfern zeigten alle Arten eine Präferenz für einen Lockstoff. *R. dispar* wurde am stärksten vom Lineatin-Dispenser aggregiert (Signifikanz zum Sexowit: $p < 0,001$; Anlage Tabelle 63). Als einzige Rindenglanzkäferart, welche vom Chalcogran aggregiert wurde, zeigte *R. bipustulatus* im Vergleich zum Lineatin ($p < 0,001$) und zum Sexowit® ($p < 0,001$) Präferenz für diesen Lockstoff (Anlage Tabelle 57). Der Rindenglanzkäfer *R. depressus* wurde hingegen am stärksten vom Sexowit®-Dispenser aggregiert (Signifikanz zum Lineatin: $p < 0,001$; Anlage Tabelle 56). Auch *T. elongatus* zeigte eine sehr gerichtete Reaktion auf den Sexowit®-Dispenser, indem im Mittel 97,5 % aller *T. elongatus* mit diesem Lockstoff nachgewiesen wurden.

(3) Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten

Abundanz weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten in den Untersuchungshabitaten

In Tabelle 59 sind die Fangzahlen weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten, welche auf den einzelnen Versuchsflächen erfasst werden konnten, dargestellt.

Um die Reaktion der Arten auf die Testsubstanzen darzustellen, wurden für jede Art nur Fangzahlen von der Untersuchungsfläche herangezogen, in welcher die Zielart in ihrer größten Individuendichte anzutreffen war.

Es wird ersichtlich, dass mit den Testsubstanzen auf der Eschenversuchsfläche neben *L. varius* und *T. signatum* (vgl. Kapitel 8.2.2.1) vor allem *X. saxeseni*, *Xyleborus monographus* (F.) und *H. crenatus* nachgewiesen werden konnten. Borkenkäferarten, welche im Vergleich zu den anderen Flächen auf der Eichenfläche dominierten waren *Trypodendron lineatum* (Oliv.) und *X. dispar*. Auf der Buchenfläche konnten hingegen die höchsten Fangzahlen an *X. germanus*, *T. bicolor*, *Hylecoetus dermestoides* (L.) sowie den Nadelholz bewohnenden Arten *I. typographus* und *P. chalcographus* erfasst werden.

Tabelle 59: Erfasste Individuenfangzahl im Versuchszeitraum (23.03.2010 – 17.08.010) differenziert nach Versuchsflächen (Summe über alle Testvarianten + Nullvariante; Fangzahlen mit nPhero sind nicht mit berücksichtigt)

	VF Esche			VF Eiche			VF Buche		
	Σ	MW	SD	Σ	MW	SD	Σ	MW	SD
<i>Hylecoetus dermestoides</i>	3	0,8	1,0	11	2,8	1,0	24	6,0	4,8
<i>Hylesinus crenatus</i>	19	4,8	1,7	0	0,0	0,0	3	0,8	1,0
<i>Taphrorychus bicolor</i>	14	3,5	2,9	8	2,0	2,2	230	57,5	40,4
<i>Trypodendron lineatum</i>	16	4,0	2,2	393	98,3	192,5	0	0,0	0,0
<i>Xyleborus dispar</i>	30	7,5	7,2	355	88,8	32,1	97	24,3	13,2
<i>Xyleborus monographus</i>	137	34,3	22,1	8	2,0	0,8	0	0,0	0,0
<i>Xyleborus saxeseni</i>	907	226,8	98,4	469	117,3	43,3	0	0,0	0,0
<i>Xylosandrus germanus</i>	61	15,3	7,7	218	54,5	25,6	5.128	1.282,0	332,7
<i>Ips typographus</i>	20	5,0	2,6	20	5,0	1,8	107	26,8	12,7
<i>Pityogenes chalcographus</i>	5	1,3	1,0	39	9,8	9,0	108	27,0	7,3

Reaktion der bast- und holzbesiedelnden Arten auf die Testsubstanzen

Aus Tabelle 60 wird ersichtlich, dass auf die bast- und holzbesiedelnden Arten von den getesteten Einzelsubstanzen fast ausschließlich vom Ethanol eine Attraktivität erzeugt werden konnte. Mit Ethanol konnten die Arten *X. saxeseni*, *X. germanus* und *T. bicolor* signifikant aggregiert werden. Der stärkste Aggregationseffekt vom Ethanol wurde auf *X. germanus* beobachtet. Im Durchschnitt wurden 53,2 % aller auf einer Falleninsel aggregierten *X. germanus* mit den Ethanol-Fallen erfasst. Weitere Arten, von denen ein tendenzieller Anflug auf Ethanol beobachtet werden konnte waren *X. monographus* und *H. crenatus*. Von den übrigen getesteten Einzelsubstanzen konnte lediglich vom 4-Methylheptan-3-ol eine Lockwirkung auf *X. monographus* beschrieben werden. Auf den Lineatin-Dispenser zeigte *X. germanus* eine signifikant geringere Reaktion, als auf den Ethanol-Dispenser ($p < 0,001$). Hingegen reagierten alle anderen Arten, welche eine signifikante Reaktion auf das Ethanol erkennen ließen, stärker auf den Lineatin-Dispenser als auf den Ethanol-Dispenser (Tabelle 60). Die stärkste Aggregationswirkung erzeugte der Lineatin-Dispenser auf die Arten *X. dispar* (93,0 % Fangleistung) und *T. bicolor* (91,0 % Fangleistung). Beide letztgenannten Arten sowie *X. saxeseni* und *X. monographus* wurden signifikant stärker vom Lineatin-Dispenser als vom Ethanol-Dispenser aggregiert¹².

¹² Signifikanztest zwischen Ethanol und Lineatin für *Xyleborus saxeseni* $p < 0,001$, für *Xyleborus dispar* $p < 0,001$, *Xyleborus monographus* $p = 0,004$ und für *T. bicolor* $p < 0,001$ (Anlage Tabelle 88, Anlage Tabelle 85, Anlage Tabelle 84).

Tabelle 60: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2010 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante	VF Esche			VF Eiche		VF Buche					
	<i>Xyl. mon.</i>	<i>H. cren.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>T.lin</i>	<i>Xyl. disp.</i>	<i>Hyl. derm.</i>	<i>Xylo. ger.</i>	<i>T. bicol.</i>	<i>I. typ.</i>	<i>P. ch.</i>	
ALM (p-Wert)	< 0,001	0,560	< 0,001	0,001 *	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	
Null	Σ	1,0	1,0	4,0	0,0	0,0	2,0	16,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,7%	5,3%	0,4%	0,0%	0,0%	8,7%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
	Σ	18,0	2,0	171,0	1,0	9,0	0,0	2.715,0	17,0	0,0	1,0
Eth	Anteil	13,1%	10,5%	18,9%	0,3%	2,5%	0,0%	53,2%	8,1%	0,0%	0,9%
	p-Wert	0,109	-	< 0,001	1,000	0,387	0,242	< 0,001	< 0,001	1,000	0,811
	Σ	7,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	1,0	0,0
M-hept	Anteil	5,1%	5,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%	0,9%	0,0%
	p-Wert	0,028	-	1,000	1,000	1,000	0,242	0,687	1,000	0,117	1,000
	Σ	6,0	4,0	10,0	0,0	15,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0
Ver	Anteil	4,4%	21,1%	1,1%	0,0%	4,2%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,206	-	0,411	1,000	0,141	0,242	0,687	1,000	1,000	1,000
	Σ	3,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	15,0	1,0	0,0	0,0
MB-one	Anteil	2,2%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,5%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,830	-	0,570	1,000	1,000	0,242	1,000	1,000	1,000	1,000
	Σ	7,0	4,0	5,0	0,0	0,0	2,0	14,0	0,0	0,0	0,0
Non	Anteil	5,1%	21,1%	0,6%	0,0%	0,0%	8,7%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,779	-	0,571	1,000	1,000	0,647	1,000	1,000	1,000	1,000
	Σ	3,0	1,0	3,0	0,0	1,0	0,0	12,0	0,0	0,0	1,0
Ace	Anteil	2,2%	5,3%	0,3%	0,0%	0,3%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,9%
	p-Wert	0,830	-	0,805	1,000	1,000	0,242	0,687	1,000	1,000	0,133
	Σ	86,0	2,0	684,0	391,0	330,0	19,0	2.210,0	191,0	0,0	1,0
Lin	Anteil	62,8%	10,5%	75,4%	99,5%	93,0%	82,6%	43,3%	91,0%	0,0%	0,9%
	p-Wert	< 0,001	-	< 0,001	0,025	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	1,000	1,000
	Σ	3,0	2,0	3,0	0,0	0,0	0,0	38,0	0,0	0,0	97,0
Ch	Anteil	2,2%	10,5%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	89,8%
	p-Wert	0,559	-	0,616	1,000	1,000	0,242	0,331	1,000	1,000	< 0,001
	Σ	3,0	2,0	18,0	1,0	0,0	0,0	61,0	1,0	106,0	8,0
Sex	Anteil	2,2%	10,5%	2,0%	0,3%	0,0%	0,0%	1,2%	0,5%	99,1%	7,4%
	p-Wert	0,768	-	1,000	1,000	1,000	0,242	0,013	1,000	< 0,001	0,211

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Weitere Arten, auf die der Lineatin-Dispenser eine Attraktivität ausübte, waren der Sägehörnige Werftkäfer *H. dermestoides* sowie *T. lineatum*.

Von den in Tabelle 60 aufgeführten laubholzbesiedelnden Arten reagierte keine auf die nadelbaumbürtigen Lockstoffe Sexowit® und Chalcogran. Einzig der an Laub- und Nadelholz vorkommende *X. germanus* wurde durch den Sexowit®-Dispenser aggregiert. Von den an Gemeiner Fichte (*Picea abies*) vorkommenden Borkenkäfern wurde *I. typographus* vom Sexowit® aggregiert und *P. chalcographus*, wie zu erwarten, hauptsächlich vom Chalcogran. Zudem zeigte *P. chalcographus* auch einen schwachen Anflug auf das Sexowit®.

8.2.2.2 FALLENFANGEXPERIMENT 2011A

(1) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Ein Einfluss der Testvariante auf die Individuenfangzahl konnte im Fallenfangexperiment 2011a ausschließlich für *T. formicarius* beschrieben werden. Die stärkste Reaktion zeigte dieser vergleichbar mit dem Fallenfangexperiment 2010 auf den Sexowit®-Dispenser.

Auch die prozentuale Fangleistung erreichte mit 78,3 % ähnlich hohe Werte wie im Vorjahr.

Tabelle 61: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung; als Standard bis 24.05.2011 wurde Sexowit®, ab 30.05.2011 wurde Chalcogran verwendet)

Fangzahlen bis zum 24.05.2011				Fangzahlen ab dem 30.05.2011						
Variante	Th. for.	L. var.	T. sign.	Variante	Th. for.	L. var.	T. sign.	S. intri.		
ALM (p-Wert)	< 0,001	0,281	0,218	ALM (p-Wert)	0,030	0,450*	0,405	0,364		
Null	Σ	3,0	34,0	10,0	Null	Σ	2,0	0,0	11,0	0,0
	Anteil	2,6%	3,9%	4,1%		Anteil	13,3%	0,0%	4,7%	0,0%
	Σ	1,0	56,0	21,0		Σ	0,0	0,0	34,0	1,0
Pe	Anteil	0,9%	6,4%	8,6%	Pe	Anteil	0,0%	0,0%	14,7%	4,0%
	p-Wert	0,627	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	1,0	55,0	21,0		Σ	0,0	0,0	15,0	0,0
Lo	Anteil	0,9%	6,2%	8,6%	Lo	Anteil	0,0%	0,0%	6,5%	0,0%
	p-Wert	0,869	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	3,0	96,0	17,0		Σ	0,0	0,0	16,0	1,0
cN	Anteil	2,6%	10,9%	7,0%	cN	Anteil	0,0%	0,0%	6,9%	4,0%
	p-Wert	0,311	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	3,0	37,0	13,0		Σ	0,0	0,0	6,0	0,0
AlcMix	Anteil	2,6%	4,2%	5,4%	AlcMix	Anteil	0,0%	0,0%	2,6%	0,0%
	p-Wert	0,438	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	0,0	54,0	16,0		Σ	0,0	0,0	24,0	0,0
tC	Anteil	0,0%	6,1%	6,6%	tC	Anteil	0,0%	0,0%	10,3%	0,0%
	p-Wert	0,397	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	0,0	37,0	15,0		Σ	1,0	0,0	5,0	1,0
Un	Anteil	0,0%	4,2%	6,2%	Un	Anteil	6,7%	0,0%	2,2%	4,0%
	p-Wert	0,397	-	-		p-Wert	1,000	-	-	-
	Σ	3,0	38,0	25,0		Σ	4,0	0,0	12,0	3,0
KetMix	Anteil	2,6%	4,3%	10,3%	KetMix	Anteil	26,7%	0,0%	5,2%	12,0%
	p-Wert	0,430	-	-		p-Wert	0,247	-	-	-
	Σ	0,0	68,0	17,0		Σ	0,0	0,0	19,0	2,0
EI	Anteil	0,0%	7,7%	7,0%	EI	Anteil	0,0%	0,0%	8,2%	8,0%
	p-Wert	0,397	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	1,0	44,0	16,0		Σ	1,0	0,0	14,0	1,0
An	Anteil	0,9%	5,0%	6,6%	An	Anteil	6,7%	0,0%	6,0%	4,0%
	p-Wert	0,570	-	-		p-Wert	0,601	-	-	-
	Σ	2,0	74,0	8,0		Σ	0,0	0,0	2,0	6,0
ArKW Mix	Anteil	1,7%	8,4%	3,3%	ArKW Mix	Anteil	0,0%	0,0%	0,9%	24,0%
	p-Wert	0,741	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	2,0	52,0	10,0		Σ	4,0	0,0	23,0	2,0
EAG Mix	Anteil	1,7%	5,9%	4,1%	EAG Mix	Anteil	26,7%	0,0%	9,9%	8,0%
	p-Wert	0,937	-	-		p-Wert	0,038	-	-	-
	Σ	2,0	157,0	14,0		Σ	0,0	1,0	28,0	2,0
De	Anteil	1,7%	17,8%	5,8%	De	Anteil	0,0%	100,0%	12,1%	8,0%
	p-Wert	0,499	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	4,0	47,0	14,0		Σ	0,0	0,0	9,0	1,0
bC	Anteil	3,5%	5,3%	5,8%	bC	Anteil	0,0%	0,0%	3,9%	4,0%
	p-Wert	0,366	-	-		p-Wert	0,297	-	-	-
	Σ	90,0	33,0	26,0		Σ	3,0	0,0	14,0	0,0
Sex	Anteil	78,3%	3,7%	10,7%	Ch	Anteil	20,0%	0,0%	6,0%	0,0%
	p-Wert	< 0,001	-	-		p-Wert	0,684	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Eine leichte Attraktivität auf den Ameisenbuntkäfer konnte zudem vom EAG-Mix, bestehend aus Linalool, cis-Nerolidol, Elemicin und 3,3,5-trimethyl-Cylohexanon, beobachtet werden (Tabelle 61). Auf die verwendeten Einzelsubstanzen und übrigen Substanzgemische konnte keine Reaktion des Ameisenbuntkäfers nachgewiesen werden (Tabelle 61).

Tabelle 62: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a bis 24.05.2011 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Pe	Lo	cN	AlcMix	tC	Un	KetMix	El	An	ArKWMix	EAGMix	De	bc	Sex
Männchen	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	32
p-Wert ♂	-	0,524	1,000	0,249	0,213	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,085	<0,001
Weibchen	3	0	1	2	2	0	0	3	0	1	2	2	2	2	58
p-Wert ♀	-	0,777	0,765	0,386	0,702	0,777	0,777	0,144	0,777	0,969	0,789	0,702	0,200	0,386	<0,001
p-Wert ♂-♀	0,339	0,339	0,339	0,756	0,920	1,000	1,000	0,125	1,000	0,339	0,339	0,171	0,181	1,000	0,083

Eine geschlechterspezifische Auswertung der Fangzahlen von *T. formicarius* ergab keine Unterschiede im Anflug auf die Testsubstanzen (Tabelle 62).

Während des ersten Teils des Experimentes bis 24.05.2011 konnte von den Zielindividuen mit den verwendeten Substanzen neben *T. formicarius* lediglich *L. varius* und *T. signatum* nachgewiesen werden. Für beide Arten ließ sich mit dem Allgemeinen Linearen Modell jedoch kein signifikanter Einfluss der Testvarianten auf die Individuenfangzahl beschreiben. Im Vergleich zur Nullvariante konnten für Decanal und cis-Nerolidol jedoch erhöhte Fangzahlen von *L. varius* beobachtet werden (Tabelle 61). Die im Vorjahr für *L. varius* beobachtete Repellenz auf Sexowit® konnte mit dem Fallenfangexperiment 2011a nicht beobachtet werden – es wurde lediglich indifferentes Verhalten erfasst.

Etwas weniger deutlich ließen sich Tendenzen in der Attraktivität der Testsubstanzen für *T. signatum* ableiten. Dieser wurde am häufigsten mit dem Sexowit® sowie mit dem Ketonmix erfasst.

Neben den im ersten Teil des Experimentes erfassten Arten konnte im zweiten Teil des Experimentes ab 30.05.2011 auch *S. intricatus* nachgewiesen werden. Erneut wurde jedoch kein Einfluss der Testvarianten auf die Fangzahlen der bast- und holzbesiedelnden Arten erfasst (Tabelle 61).

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Im ersten Teil des Fallenfangexperimentes 2011a konnte eine Reaktion in Abhängigkeit von den verwendeten Testsubstanzen nur für die Arten *R. depressus*, *R. bipustulatus* und *S. planirostris* beschrieben werden, welche sich alle durch das Sexowit® signifikant aggregieren ließen (Tabelle 63).

Für alle anderen Prädatoren konnte keine Beeinflussung der Fangzahl in Abhängigkeit von der Testsubstanz beschrieben werden. Im Vergleich zum Fallenfangexperiment 2010

verhielt sich *Tillus elongatus* im Fallenfangexperiment 2011a zum Sexowit® unspezifischer.

Tabelle 63: Reaktion der Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a im ersten Teil des Experimentes bis 24.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Fangzahlen bis zum 24.05.2011										
Variante		Sal. plan.	Sal. ruf.	Ne.el.	Til. el.	Rh. depr.	Rh. bip.	Rh. dis.	Staph.	Elater.
ALM (p-Wert)		< 0,001	0,409	0,450*	0,719	< 0,001	0,049	0,608	0,731	0,509
Null	Σ	0,0	3,0	0,0	1,0	1,0	5,0	0,0	32,0	2,0
	Anteil	0,0%	3,5%	0,0%	20,0%	20,0%	3,7%	0,0%	5,1%	6,5%
Pe	Σ	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	29,0	1,0
	Anteil	7,1%	1,2%	0,0%	0,0%	0,0%	5,8%	0,0%	4,6%	3,2%
Lo	Σ	0,0	8,0	0,0	1,0	0,0	2,0	0,0	26,0	3,0
	Anteil	0,0%	9,3%	0,0%	20,0%	0,0%	1,5%	0,0%	4,2%	9,7%
cN	Σ	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	13,0	0,0	36,0	7,0
	Anteil	0,0%	12,8%	0,0%	0,0%	0,0%	9,5%	0,0%	5,8%	22,6%
AlcMix	Σ	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	39,0	2,0
	Anteil	0,0%	3,5%	0,0%	0,0%	0,0%	7,3%	0,0%	6,2%	6,4%
tC	Σ	1,0	4,0	1,0	0,0	0,0	6,0	0,0	51,0	0,0
	Anteil	7,1%	4,7%	100,0%	0,0%	0,0%	4,4%	0,0%	8,2%	0,0%
Un	Σ	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	50,0	3,0
	Anteil	0,0%	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%	2,9%	0,0%	8,0%	9,7%
KetMix	Σ	1,0	6,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	29,0	1,0
	Anteil	7,1%	7,0%	0,0%	0,0%	0,0%	4,4%	0,0%	4,6%	3,2%
El	Σ	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	9,0	1,0	78,0	0,0
	Anteil	0,0%	8,1%	0,0%	0,0%	0,0%	6,6%	33,3%	12,5%	0,0%
An	Σ	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	9,0	1,0	64,0	0,0
	Anteil	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	0,0%	6,6%	33,3%	10,2%	0,0%
ArKW Mix	Σ	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	17,0	0,0	29,0	3,0
	Anteil	0,0%	4,7%	0,0%	0,0%	0,0%	12,4%	0,0%	4,6%	9,7%
EAG Mix	Σ	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	8,0	1,0	30,0	0,0
	Anteil	0,0%	9,3%	0,0%	0,0%	0,0%	5,8%	33,3%	4,8%	0,0%
De	Σ	1,0	4,0	0,0	1,0	0,0	5,0	0,0	62,0	6,0
	Anteil	7,1%	4,7%	0,0%	20,0%	0,0%	3,7%	0,0%	9,9%	19,4%
bC	Σ	0,0	2,0	0,0	1,0	0,0	6,0	0,0	35,0	0,0
	Anteil	0,0%	2,3%	0,0%	20,0%	0,0%	4,4%	0,0%	5,6%	0,0%
Sex	Σ	10,0	19,0	0,0	1,0	4,0	29,0	0,0	35,0	3,0
	Anteil	71,4%	22,1%	0,0%	20,0%	80,0%	21,2%	0,0%	5,6%	9,7%
	p-Wert	< 0,001	-	-	-	< 0,001	0,011	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Auf die erprobten Testsubstanzen hingegen wurde lediglich von *R. depressus* eine Reaktion zum aromatischen Kohlenwasserstoff-Mix (Elemicin + Anisol) erfasst (Tabelle 63). Darüber hinaus schien das cis-Nerolidol eine tendenzielle Attraktivität auf *R. bipustulatus* zu bewirken. Auf den Scheinrüssler *S. ruficollis* konnte zwar keine signifikante Lockwirkung einer Testsubstanz nachgewiesen werden, jedoch konnte dieser

in erhöhten Fangzahlen in den cis-Nerolidol- und den Sexowit®-Fallen erfasst werden. Die Staphilinidae zeigten diese Tendenz auf das Elemicin, Anisol und Decanal.

Tabelle 64: Reaktion der Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a im zweiten Teil des Experimentes beginnend am 30.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Fangzahlen ab dem 30.05.2011										
Variante	Sal. plan.	Sal. ruf.	Ne.el.	Til. el.	Rh. depr.	Rh. bip.	Rh. dis.	Tenebr.	Staph.	Elater.
ALM (p-Wert)	0,024	0,095	< 0,001	0,152	0,450*	< 0,001	0,007	0,497	0,002	0,165
Null	∑	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	11,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,5%	5,0%
Pe	∑	0,0	2,0	1,0	2,0	0,0	0,0	0,0	13,0	11,0
	Anteil	0,0%	40,0%	0,7%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,1%	5,0%
	p-Wert	1,000	-	0,313	-	-	1,000	1,000	0,451	-
Lo	∑	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	3,0	17,0
	Anteil	33,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	42,9%	4,1%
	p-Wert	0,062	-	0,684	-	-	0,525	1,000	-	0,692
cN	∑	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	1,0	19,0
	Anteil	0,0%	40,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,3%	14,3%	4,6%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	1,000	0,165	-	0,675
AlcMix	∑	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	23,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,7%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%	14,3%	5,5%
	p-Wert	1,000	-	0,880	-	-	1,000	1,000	-	0,887
tC	∑	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	65,0
	Anteil	0,0%	0,0%	3,4%	0,0%	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%	15,7%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	1,000	0,682	-	0,012
Un	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	14,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	0,0%	3,4%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	0,525	1,000	-	0,579
KetMix	∑	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	74,0
	Anteil	0,0%	0,0%	6,2%	0,0%	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%	17,8%
	p-Wert	1,000	-	0,001	-	-	1,000	0,403	-	0,085
El	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,2%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	1,000	1,000	-	0,229
An	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	24,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	0,0%	14,3%	5,8%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	0,587	1,000	-	0,657
ArKW Mix	∑	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	4,0	0,0	0,0	20,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	9,1%	0,0%	0,0%	4,8%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	0,007	1,000	-	0,763
EAG Mix	∑	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,0
	Anteil	0,0%	0,0%	2,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	13,0%
	p-Wert	1,000	-	0,167	-	-	1,000	1,000	-	0,021
De	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	18,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,3%	6,7%	0,0%	4,3%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	0,630	0,097	-	0,851
bC	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,6%
	p-Wert	1,000	-	0,684	-	-	1,000	1,000	-	0,515
Ch	∑	2,0	1,0	125,0	0,0	1,0	36,0	10,0	1,0	27,0
	Anteil	66,7%	20,0%	85,6%	0,0%	100,0%	81,8%	66,7%	14,3%	6,5%
	p-Wert	0,001	-	< 0,001	-	-	< 0,001	< 0,001	-	0,663

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Im zweiten Teil des Fallenfangexperimentes 2011a konnte für die Arten *N. elongatum*, *R. bipustulatus*, *R. dispar* und *S. planirostris* sowie für die Staphilinidae ein Einfluss der Testvarianten auf die Fangzahlen beschrieben werden (Tabelle 64). Die stärkste Aggregationswirkung auf den Jagdkäfer *N. elongatum* wurde mit einer durchschnittlichen Fangleistung von 85,6 % durch den Chalcogran-Dispenser erzielt. Zudem konnte eine durch den Ketonmix erzeugte Attraktivität auf den Jagdkäfer beobachtet werden (6,2 % Fangleistung), wobei die Fangzahlen deutlich hinter denen des Chalcogran zurückblieben

(Tabelle 64). Von den Einzelkomponenten des Ketonmixes konnte lediglich auf das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon ein Anflug des Jagdkäfers beobachtet werden. Das zusätzlich im Ketonmix enthaltene 2-Undecanon wurde bei alleiniger Verwendung nicht angefliegen. Als weitere Art, auf welche der Chalcogran-Dispenser eine starke Attraktivität ausübt kann *R. bipustulatus* beschrieben werden. Es wurden 81,8 % der erfassten *R. bipustulatus* mit dem Chalcogran gefangen. Auch von *R. dispar* und *S. planirostris* konnte eine signifikante Reaktion auf das Chalcogran beobachtet werden, die Ergebnisse basieren jedoch auf sehr geringen Fangzahlen und sollten daher vorsichtig interpretiert werden (Tabelle 64).

Der Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* konnte neben dem Chalcogran erneut auch durch den aromatischen Kohlenwasserstoff-Mix angelockt werden, wobei auch hier auf die sehr niedrigen Fangzahlen verwiesen werden muss (Tabelle 64). Von den im aromatischen Kohlenwasserstoff-Mix enthaltenen Einzelsubstanzen Elemicin und Anisol konnte lediglich auf Letztere ein schwacher Anflug beobachtet werden (Tabelle 64).

Die Staphilinidae zeigten hingegen einen signifikanten Anflug auf das Keton 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon und den EAG-Mix (Tabelle 64).

(3) *Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten*

Von den verwendeten Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2011a konnten im ersten Teil der Untersuchungen keine signifikanten Reaktionen weiterer bast- oder holzbesiedelnder Arten erfasst werden (Tabelle 65). Aufgrund der geringen Fangzahlen soll auf eine weitere Interpretation der Fangdaten an dieser Stelle verzichtet werden. Tendenziell zeigte sich eine Lockwirkung des Decanals auf *H. crenatus* (Tabelle 65). Ein statistischer Zusammenhang konnte jedoch nicht erfasst werden.

Tabelle 65: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011a im ersten Teil des Experimentes bis 24.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

bis zum 24.05.2011								
Variante		<i>Xyl. mon.</i>	<i>H. cren.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>T. lin</i>	<i>Xylo. ger.</i>	<i>I. typ.</i>	<i>P. ch.</i>
ALM (p-Wert)		0,553	0,827	0,448	0,450*	0,625	0,450*	0,450*
Null	∑	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	4,7%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Pe	∑	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	9,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Lo	∑	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
cN	∑	0,0	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0
	Anteil	0,0%	14,3%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
AlcMix	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%
tC	∑	0,0	1,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	4,8%	28,6%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Un	∑	0,0	2,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	9,5%	14,3%	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%
KetMix	∑	0,0	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	9,5%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
El	∑	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	50,0%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
An	∑	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	4,8%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
ArKW Mix	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%
EAG Mix	∑	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
De	∑	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	19,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
bC	∑	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Sex	∑	0,0	2,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0
	Anteil	0,0%	9,5%	0,0%	0,0%	25,0%	100,0%	0,0%

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Im zweiten Teil der Untersuchungen konnte zumindest für *X. monographus* ein schwach signifikanter Zusammenhang zwischen Testvariante und der Fangzahl beschrieben werden (Tabelle 66). Entsprechend konnte von den Substanzen Anisol und Decanal eine schwache Attraktivität auf *X. monographus* erfasst werden.

Tabelle 66: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a im zweiten Teil des Experimentes beginnend am 30.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test) bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Fangzahlen ab dem 30.05.2011					
Variante		<i>Xyl. mon.</i>	<i>H. cren.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>Xylo. ger.</i>
ALM (p-Wert)		0,031	0,553	0,517	0,728
Null	∑	0,0	0,0	1,0	1,0
	Anteil	0,0%	0,0%	10,0%	4,6%
Pe	∑	0,0	1,0	2,0	2,0
	Anteil	0,0%	50,0%	20,0%	9,1%
	p-Wert	1,000	-	-	-
Lo	∑	2,0	0,0	0,0	1,0
	Anteil	11,8%	0,0%	0,0%	4,6%
	p-Wert	0,055	-	-	-
cN	∑	1,0	0,0	0,0	2,0
	Anteil	5,9%	0,0%	0,0%	9,1%
	p-Wert	0,681	-	-	-
AlcMix	∑	0,0	0,0	0,0	0,00
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	1,000	-	-	-
tC	∑	2,0	0,0	0,0	4,0
	Anteil	11,8%	0,0%	0,0%	18,2%
	p-Wert	0,341	-	-	-
Un	∑	0,0	0,0	0,0	1,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	4,6%
	p-Wert	1,000	-	-	-
KetMix	∑	0,0	0,0	1,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	10,0%	0,0%
	p-Wert	1,000	-	-	-
El	∑	0,0	0,0	0,0	2,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	9,1%
	p-Wert	1,000	-	-	-
An	∑	3,0	0,0	3,0	1,0
	Anteil	17,7%	0,0%	30,0%	4,6%
	p-Wert	0,021	-	-	-
ArKW Mix	∑	2,0	0,0	1,0	2,0
	Anteil	11,8%	0,0%	10,0%	9,1%
	p-Wert	0,279	-	-	-
EAG Mix	∑	3,0	0,0	0,0	1,0
	Anteil	17,7%	0,0%	0,0%	4,6%
	p-Wert	0,209	-	-	-
De	∑	4,0	0,0	1,0	2,0
	Anteil	23,5%	0,0%	10,0%	9,1%
	p-Wert	0,005	-	-	-
bC	∑	0,0	0,0	0,0	1,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	4,6%
	p-Wert	1,000	-	-	-
Ch	∑	0,0	1,0	1,0	2,0
	Anteil	0,0%	50,0%	10,0%	9,1%
	p-Wert	1,000	-	-	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

8.2.2.3 FALLENFANGEXPERIMENT 2011B

(1) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Mit dem Fallenfangexperiment 2011b konnten die Zielarten *T. formicarius*, *L. varius*, *T. signatum* und *T. domesticum* erfasst werden. Eine signifikante Abhängigkeit der Fangzahlen von der Testvariante konnte jedoch nur für *L. varius* und *T. signatum* beschrieben werden (Tabelle 67). Für die übrigen Zielarten war dies nicht möglich.

Tabelle 67: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011b (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test)

Variante		Th. for.	L. var.	T. sign.	T. dom.
	ALM (p-Wert)	0,382	< 0,001	< 0,001	0,655
Null	∑	0,0	40,0	13,0	0,0
	Anteil	0,0%	3,0%	0,6%	0,0%
VOC	∑	1,0	114,0	72,0	1,0
	Anteil	7,7%	8,6%	3,2%	8,3%
	p-Wert	-	0,299	0,002	-
Non	∑	0,0	84,0	11,0	1,0
	Anteil	0,0%	6,3%	0,5%	8,3%
	p-Wert	-	0,253	0,816	-
Ver	∑	0,0	36,0	25,0	0,0
	Anteil	0,0%	2,7%	1,1%	0,0%
	p-Wert	-	0,950	0,217	-
Eth	∑	1,0	343,0	374,0	1,0
	Anteil	7,7%	25,7%	16,7%	8,3%
	p-Wert	-	< 0,001	< 0,001	-
Eth+Non	∑	3,0	229,0	321,0	1,0
	Anteil	23,1%	17,2%	14,3%	8,3%
	p-Wert	-	0,268	< 0,001	-
Eth+Non+VOC	∑	1,0	56,0	158,0	3,0
	Anteil	7,7%	4,2%	7,0%	25,0%
	p-Wert	-	0,588	< 0,001	-
Eth+Ver	∑	5,0	131,0	443,0	3,0
	Anteil	38,5%	9,8%	19,7%	25,0%
	p-Wert	-	0,795	< 0,001	-
Eth+2Ver	∑	2,0	300,0	828,0	2,0
	Anteil	15,4%	22,5%	36,9%	16,7%
	p-Wert	-	< 0,001	< 0,001	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum,
Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Für *T. signatum* konnte nachgewiesen werden, dass der Volatilmix aus dem Eschenhabitat (VOC) sowie das Ethanol eine aggregierende Wirkung besaßen (Tabelle 67). Die Attraktivität des Ethanols wurde durch Zugabe von Veratrol tendenziell erhöht. Demnach führte die Zugabe einer steigenden Veratrolkonzentration bei gleichbleibender Ethanolkonzentration zu einer steigenden Fangleistung von *T. signatum*. Durch Zugabe der doppelten Veratrolabgabemenge zum Ethanol konnte die Fangzahl an *T. signatum* im Vergleich zum Ethanol als Reinsubstanz höchst signifikant gesteigert werden (Anlage Tabelle 21). Hingegen wurde die aggregierende Wirkung des Ethanols durch Zugabe des Nonanon-2 negativ beeinflusst. Durch zusätzliche Beigabe des Volatilmixes (VOC) vom Ethanol-Nonanon-2-Gemisch wurden signifikant niedrigere Fangzahlen beobachtet, als mit Ethanol als Reinsubstanz. Die Fangzahlen von *T. domesticum* waren zu gering um ähnliche Effekte beschreiben zu können. Selbiges gilt für die Fangergebnisse von *T. formicarius*, wengleich die Mischung von Ethanol und Veratrol sowie von Ethanol und Nonanon-2 scheinbar den stärksten Anflug von Ameisenbunkäfern bewirkte. Unterschiede in der Reaktion der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen waren nicht zu beobachten (Tabelle 68).

Tabelle 68: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011b (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	VOC	Non	Ver	Eth	Eth+Non	Eth+Non+		
							VOC	Eth+Ver	Eth+2Ver
Männchen	0	1	0	0	1	1	0	2	0
p-Wert ♂	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibchen	0	0	0	0	0	2	1	3	2
p-Wert ♀	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p-Wert ♂-♀	1,000	0,356	1,000	1,000	0,356	0,604	0,356	0,356	0,231

Der Eschenbastkäfer *L. varius* wurde am stärksten von Ethanol als Einzelsubstanz aggregiert. Die Zugabe von Nonanon-2 sowie Nonanon-2 + Volatilmix (VOC) führte ähnlich wie bei *T. signatum* zu einer signifikanten Abnahme der Attraktivität des Ethanols (Anlage Tabelle 16). Auch die Zugabe von Veratrol zum Ethanol führte zu einem starken und signifikanten Rückgang des Anflugs an Eschenbastkäfern – jedoch wurde dieser reduzierte Anflug durch Verdopplung der Veratrolkonzentration nahezu kompensiert (Tabelle 67 und Anlage Tabelle 16).

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Mit dem Fallenfangexperiment 2011b konnten ausschließlich für *R. bipustulatus* und *R. dispar* Unterschiede in der Fangleistung der einzelnen Varianten auf die unterschiedlichen Testsubstanzen zurückgeführt werden (Tabelle 69). Es konnte beobachtet werden, dass die Einzelkomponenten Veratrol und Ethanol eine schwache Aggregation des Rindenglanzkäfers *R. bipustulatus* bewirkten. Zumindest der Anflug auf das Veratrol konnte als signifikant beschrieben werden. Die Attraktivität beider Einzelsubstanzen wurde durch deren Kombination gesteigert, wobei mit steigender Veratrol-Konzentration mehr *R. bipustulatus* gefangen wurden. Die Kombination von Ethanol mit einem (Eth+Ver) sowie mit zwei Veratrol-Dispensern (Eth+2Ver) erreichte sowohl zum Ethanol als auch zum Veratrol als Einzelsubstanz signifikant höhere Fangzahlen (Anlage Tabelle 58). Auch *R. dispar* zeigte den stärksten Anflug auf Ethanol in Kombination mit hoher Veratrol-Konzentration (Tabelle 69).

Die Einzelsubstanz Nonanon-2 besaß keine Attraktivität auf *R. bipustulatus*, hingegen schien diese die Fangleistung des Ethanols positiv zu beeinflussen (Tabelle 69). Für die Kombination aus Ethanol und Nonanon-2 konnte, im Vergleich zur Nullvariante, Attraktivität auf *R. bipustulatus* beschrieben werden. Die Zugabe des Volatilgemisches (VOC) zu der Kombination von Ethanol und Nonanon-2 führte jedoch zu einem signifikanten Rückgang der Fangzahlen ($p = 0,001$; vgl. Anlage Tabelle 58).

Alle weiteren in Tabelle 69 dargestellten Prädatoren wurden nur in sehr geringen Fangzahlen erfasst, so dass an dieser Stelle von einer Interpretation der Fangleistung der einzelnen Varianten für die meisten Arten abgesehen werden soll. Einzig von *S. ruficollis* konnte ein tendenzieller Anflug auf eine Kombination aus Ethanol und Nonanon-2 beobachtet werden. Für die Staphilinidae scheint hingegen die Kombination aus Ethanol und Veratrol mit steigender Konzentration des Veratrols attraktiver zu werden.

Tabelle 69: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011b (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Sal. plan.</i>	<i>Sal. ruf.</i>	<i>Til. el.</i>	<i>Rh. bip.</i>	<i>Rh. dis.</i>	<i>Tenebr.</i>	<i>Staph.</i>	<i>Elater.</i>
	ALM (p-Wert)	0,749	0,587	0,569	<0,001	0,001*	0,450*	0,203	0,697
Null	∑	0,0	1,0	1,0	3,0	0,0	0,0	26,0	0,0
	Anteil	0,0%	4,0%	50,0%	1,5%	0,0%	0,0%	8,0%	0,0%
VOC	∑	1,0	1,0	0,0	6,0	0,0	0,0	28,0	0,0
	Anteil	25,0%	4,0%	0,0%	2,9%	0,0%	0,0%	8,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,938	1,000	-	-	-
Non	∑	0,0	2,0	0,0	4,0	0,0	0,0	32,0	0,0
	Anteil	0,0%	8,0%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	9,9%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,937	1,000	-	-	-
Ver	∑	0,0	2,0	0,0	22,0	0,0	2,0	36,0	2,0
	Anteil	0,0%	8,0%	0,0%	10,8%	0,0%	100,0%	11,1%	50,0%
	p-Wert	-	-	-	0,027	1,000	-	-	-
Eth	∑	1,0	2,0	0,0	19,0	0,0	0,0	31,0	0,0
	Anteil	25,0%	8,0%	0,0%	9,3%	0,0%	0,0%	9,6%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,052	1,000	-	-	-
Eth+Non	∑	1,0	11,0	0,0	29,0	0,0	0,0	28,0	0,0
	Anteil	25,0%	44,0%	0,0%	14,2%	0,0%	0,0%	8,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	<0,001	1,000	-	-	-
Eth+Non+VOC	∑	0,0	1,0	1,0	6,0	0,0	0,0	20,0	1,0
	Anteil	0,0%	4,0%	50,0%	2,9%	0,0%	0,0%	6,2%	25,0%
	p-Wert	-	-	-	0,862	1,000	-	-	-
Eth+Ver	∑	1,0	2,0	0,0	47,0	0,0	0,0	49,0	1,0
	Anteil	25,0%	8,0%	0,0%	23,0%	0,0%	0,0%	15,2%	25,0%
	p-Wert	-	-	-	<0,001	1,000	-	-	-
Eth+2Ver	∑	1,0	3,0	0,0	68,0	5,0	0,0	73,0	0,0
	Anteil	25,0%	12,0%	0,0%	33,3%	100,0%	0,0%	22,6%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	<0,001	0,025	-	-	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

(3) Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten

Ein Einfluss der Testvariante auf die Fangzahl konnte im Fallenfangexperiment 2011b für die Arten *X. saxeseni* und *X. germanus* beschrieben werden (Tabelle 70). Beide Arten wurden vom Ethanol am stärksten aggregiert, zeigten aber einen Anflug auf den verwendeten Habitatmix (VOC), welcher zumindest für *X. saxeseni* als signifikant zur Nullvariante beschrieben werden konnte (Tabelle 70).

Die Zugabe weiterer Komponenten zum Ethanol schien die Wirkung des Ethanols als Reinsubstanz auf beide Arten negativ zu beeinflussen (Tabelle 70). Signifikant konnte dies bei *X. saxeseni* für den Mix aus Ethanol, Nonanon-2 und VOC sowie für den Mix aus

Ethanol und Veratrol mit doppelter Abgabemenge beschrieben werden (Anlage Tabelle 89). *X. germanus* hingegen zeigte auf alle Ethanol-Gemische einen signifikant geringeren Anflug, als auf reines Ethanol (Anlage Tabelle 93).

Tabelle 70: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011b (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Xyl. mon.</i>	<i>H. cren.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>T.lin</i>	<i>Xyl. disp.</i>	<i>Xylo. ger.</i>
	ALM (p-Wert)	0,450*	0,621	< 0,001	0,450*	0,450*	0,005
Null	Σ	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,9%
VOC	Σ	0,0	0,0	53,0	0,0	0,0	19,0
	Anteil	0,0%	0,0%	15,6%	0,0%	0,0%	17,8%
	p-Wert	-	-	< 0,001	-	-	0,115
Non	Σ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,9%
	p-Wert	-	-	0,921	-	-	0,646
Ver	Σ	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	10,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,921	-	-	0,781
Eth	Σ	0,0	0,0	73,0	0,0	0,0	26,0
	Anteil	0,0%	0,0%	21,5%	0,0%	0,0%	24,3%
	p-Wert	-	-	< 0,001	-	-	< 0,001
Eth+Non	Σ	0,0	4,0	48,0	0,0	0,0	21,0
	Anteil	0,0%	20,0%	14,2%	0,0%	0,0%	19,6%
	p-Wert	-	-	0,003	-	-	0,163
Eth+Non+VOC	Σ	0,0	1,0	47,0	0,0	0,0	14,0
	Anteil	0,0%	5,0%	13,9%	0,0%	0,0%	13,1%
	p-Wert	-	-	0,032	-	-	0,222
Eth+Ver	Σ	1,0	11,0	61,0	0,0	0,0	7,0
	Anteil	100,0%	55,0%	18,0%	0,0%	0,0%	6,5%
	p-Wert	-	-	< 0,001	-	-	0,235
Eth+2Ver	Σ	0,0	2,0	56,0	6,0	1,0	17,0
	Anteil	0,0%	10,0%	16,5%	100,0%	100,0%	15,9%
	p-Wert	-	-	< 0,001	-	-	0,249

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

8.2.2.4 FALLENFANGEXPERIMENT 2011C

(1) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Bei den Zielarten konnte ausschließlich für *T. formicarius* ein Zusammenhang zwischen Fangzahl und Testvariante nachgewiesen werden (Tabelle 71). Der Ameisenbunkkäfer *T. formicarius* wurde, vergleichbar mit den Ergebnissen aus Fallenfangexperiment 2011b, durch die Kombination von Ethanol und Nonanon-2 in höherer Individuenzahl erfasst als mit der Nullvariante. Die Zugabe von 4-Methylheptan-3-ol zum Ethanol-Nonanon-2-Gemisch steigerte die Fangzahlen weiter, so dass mit diesem Lockstoffmix im Mittel 54,5 % aller auf einer Falleninsel erfassten Ameisenbunkkäfer nachgewiesen wurden (Tabelle 71). Die Ameisenbunkkäferfangzahlen des Lockstoffmixes bestehend aus Ethanol, Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol waren im Vergleich zu den Fangzahlen aller anderen

Varianten signifikant höher (Anlage Tabelle 2). Die alleinige Zugabe von 4-Methylheptan-3-ol zum Ethanol bewirkte keine Aggregation von *T. formicarius*.

Tabelle 71: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011c (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Th. for.	L. var	T. sign.	S. intr.
	ALM (p-Wert)	0,005	0,697	0,613	0,450*
Null	∑	1,0	0,0	3,0	0,0
	Anteil	9,1%	0,0%	4,3%	0,0%
Lim	∑	1,0	0,0	8,0	0,0
	Anteil	9,1%	0,0%	11,6%	0,0%
	p-Wert	0,892	-	-	-
Lim+aP	∑	0,0	1,0	10,0	0,0
	Anteil	0,0%	33,3%	14,5%	0,0%
	p-Wert	0,632	-	-	-
VOC	∑	0,0	0,0	5,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	7,2%	0,0%
	p-Wert	0,632	-	-	-
Eth	∑	0,0	0,0	16,0	1,0
	Anteil	0,0%	0,0%	23,2%	100,0%
	p-Wert	0,632	-	-	-
Eth+Non	∑	2,0	0,0	5,0	0,0
	Anteil	18,2%	0,0%	7,2%	0,0%
	p-Wert	0,540	-	-	-
Eth+Mhept	∑	0,0	1,0	5,0	0,0
	Anteil	0,0%	33,3%	7,2%	0,0%
	p-Wert	0,632	-	-	-
Eth+Non/Mhept	∑	6,0	1,0	12,0	0,0
	Anteil	54,5%	33,3%	17,4%	0,0%
	p-Wert	0,001	-	-	-
Eth+Non/Mhept+VOC	∑	1,0	0,0	5,0	0,0
	Anteil	9,1%	0,0%	7,2%	0,0%
	p-Wert	0,454	-	-	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum,
Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Wie in Tabelle 72 ersichtlich, waren es vor allem die Weibchen von *T. formicarius*, die auf die Kombination von Ethanol, Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol reagierten. Signifikante Unterschiede in der Fangzahl von beiden Geschlechtern konnten dennoch für keine der Testsubstanzen erfasst werden.

Tabelle 72: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011c (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Lim	Lim+aP	VOC	Eth	Eth+Non	Eth+Mhept	Eth+Non/Mhept	Eth+Non/Mhept+VOC
Männchen	1	1	0	0	0	0	0	1	0
p-Wert ♂	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibchen	0	0	0	0	0	2	0	5	1
p-Wert ♀	-	1,000	1,000	1,000	1,000	0,109	1,000	0,004	0,245
p-Wert ♂-♀	0,363	0,363	1,000	1,000	1,000	0,222	0,431	0,642	0,363

Die Zielart *T. signatum* wurde mit dem Ethanol-Dispenser am häufigsten nachgewiesen. Die Zugabe weiterer Komponenten zum Ethanol führte zu geringeren Fangzahlen (Tabelle 71). Ein signifikanter Zusammenhang ließ sich dafür jedoch nicht nachweisen.

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Mit dem Fallenfangexperiment 2011c konnten für *R. bipustulatus*, *S. ruficollis* und die Staphilinidae Unterschiede in der Fangleistung der einzelnen Varianten erklärt werden (Tabelle 73).

Tabelle 73: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011c (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Sal. plan.	Sal. ruf.	Ne. el.	Til. el.	Rh. bip.	Rh. dis.	Tenebr.	Staph.	Elater.
	ALM (p-Wert)	0,227	0,028	0,346	0,450*	0,001	0,217	0,030*	0,044	0,465
Null	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	17,0	14,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,0%	7,8%	13,7%
Lim	∑	0,0	1,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	22,0	8,0
	Anteil	0,0%	6,7%	0,0%	0,0%	3,3%	0,0%	0,0%	10,1%	7,8%
	p-Wert	-	0,776	-	-	0,464	-	1,000	0,694	-
Lim+aP	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	2,0	0,0	22,0	8,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,8%	8,3%	0,0%	10,1%	7,8%
	p-Wert	-	1,000	-	-	0,492	-	1,000	0,935	-
VOC	∑	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	9,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	8,3%	8,8%
	p-Wert	-	1,000	-	-	0,889	-	1,000	0,502	-
Eth	∑	2,0	5,0	2,0	0,0	12,0	1,0	0,0	20,0	11,0
	Anteil	33,3%	33,3%	33,3%	0,0%	9,9%	4,2%	0,0%	9,2%	10,8%
	p-Wert	-	0,009	-	-	0,169	-	1,000	0,680	-
Eth+Non	∑	1,0	2,0	0,0	0,0	26,0	3,0	0,0	25,0	8,0
	Anteil	16,7%	13,3%	0,0%	0,0%	21,5%	12,5%	0,0%	11,5%	7,8%
	p-Wert	-	0,444	-	-	< 0,001	-	1,000	0,923	-
Eth+Mhept	∑	2,0	2,0	1,0	0,0	15,0	11,0	2,0	20,0	17,0
	Anteil	33,3%	13,3%	16,7%	0,0%	12,4%	45,8%	100,0%	9,2%	16,7%
	p-Wert	-	0,444	-	-	0,002	-	0,083	0,395	-
Eth+Non/Mhept	∑	1,0	4,0	1,0	0,0	49,0	6,0	0,0	44,0	14,0
	Anteil	16,7%	26,7%	16,7%	0,0%	40,5%	25,0%	0,0%	20,2%	13,7%
	p-Wert	-	0,009	-	-	0,002	-	1,000	0,011	-
Eth+Non/Mhept+VOC	∑	0,0	1,0	2,0	1,0	7,0	1,0	0,0	27,0	13,0
	Anteil	0,0%	6,7%	33,3%	100,0%	5,8%	4,2%	0,0%	12,4%	12,7%
	p-Wert	-	0,336	-	-	0,345	-	1,000	0,872	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Der Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* konnte, analog zum Fallenfangexperiment 2011b, erneut mit Ethanol nachgewiesen werden, wobei sich der Anflug durch die Kombination des Ethanols mit den Komponenten 4-Methylheptan-3-ol und Nonanon-2 tendenziell steigern ließ. Die Kombination von Ethanol mit 4-Methylheptan-3-ol und Nonanon-2 aggregierte mehr *R. bipustulatus* als das Ethanol per se. Mit dieser Kombination wurden 40,5 % aller auf einer Falleninsel aggregierten *R. bipustulatus* erfasst (Tabelle 73). Dennoch konnte die Steigerung der Fangzahl im Vergleich zur Fangzahl mit Ethanol als Reinsubstanz nicht als signifikant beschrieben werden (Anlage Tabelle 59). Die Kombination aus Limonen und alpha-Pinen zeigte die Tendenz einer schwachen Attraktivität auf *R. bipustulatus*. Hingegen konnte mit dem um beta-Caryophyllen erweiterten Volatilgemisch (VOC) kein *R. bipustulatus* erfasst werden. Auch die Zugabe des Volatilgemisches (VOC) zur für *R. bipustulatus* attraktiven Kombination bestehend aus Ethanol, Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol reduzierte den Anflug merklich (Tabelle

73). Vermutlich bewirkte das im VOC enthaltene Sesquiterpen beta-Caryophyllen diesen repellenten Effekt. Analog zu *R. bipustulatus* wurden auch die Staphilinidae vom Gemisch aus Ethanol, Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol aggregiert (Tabelle 73). Diese Substanzmischung aggregierte signifikant mehr Staphilinidae als alle anderen getesteten Varianten (Anlage Tabelle 82).

Der Scheinrüssler *S. ruficollis* wurde sowohl vom Ethanol, als auch von der Kombination aus Ethanol, Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol aggregiert (Tabelle 73 und Anlage Tabelle 73). Auf den Rindenglanzkäfer *R. dispar* schien die Kombination von Ethanol und 4-Methylheptan-3-ol eine Attraktivität zu bewirken. Von allen anderen Prädatoren konnten nur sehr geringe Fangzahlen erfasst werden, weshalb auf eine Interpretation dieser Fangergebnisse an dieser Stelle verzichtet werden soll.

(3) *Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten*

Auch im Fallenfangexperiment 2011c konnte ein Einfluss der Testvariante auf die Fangzahlen nur für die Arten *X. saxeseni* und *X. germanus* nachgewiesen werden. Beide Arten zeigten erneut einen signifikanten Anflug auf das Ethanol (Tabelle 74). Für *X. germanus* zeigte sich, wie schon beim Fallenfangexperiment 2011b, dass das Hinzufügen weiterer Komponenten zum Ethanol die Fangzahl des Ethanols negativ beeinflusst. Signifikant konnte dieser Effekt, außer für die Kombination von Ethanol mit Nonanon-2, erneut für alle Stoffkombinationen mit Ethanol beschrieben werden (Anlage Tabelle 94). Auf *X. saxeseni* konnte hingegen eine leichte Attraktivitätssteigerung durch die Kombination von Ethanol mit Nonanon-2 bzw. mit 4-Methylheptan-3-ol beobachtet werden. Wobei mit letzterer Kombination signifikant höhere Fangzahlen als mit Ethanol als Reinsubstanz beobachtet werden konnten (Anlage Tabelle 90). Eine Mischung aus Ethanol, Nonanon-2, 4-Methylheptan-3-ol und dem Habitatmix führte jedoch auch bei dieser Art zu tendenziell niedrigeren Fangzahlen als mit der Ethanol-Variante per se.

Tabelle 74: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011c (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Xyl. mon.</i>	<i>H. cren.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>Xylo. ger.</i>
	ALM (p-Wert)	0,848	0,450*	< 0,001	< 0,001
Null	∑	1,0	0,0	1,0	3,0
	Anteil	16,7%	0,0%	1,0%	0,4%
Lim	∑	0,0	0,0	1,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,747	0,457
Lim+aP	∑	0,0	0,0	2,0	2,0
	Anteil	0,0%	0,0%	2,1%	0,3%
	p-Wert	-	-	0,379	0,821
VOC	∑	1,0	0,0	1,0	2,0
	Anteil	16,7%	0,0%	1,0%	0,3%
	p-Wert	-	-	0,769	0,597
Eth	∑	1,0	0,0	18,0	237,0
	Anteil	16,7%	0,0%	18,8%	30,0%
	p-Wert	-	-	0,003	< 0,001
Eth+Non	∑	1,0	0,0	26,0	163,0
	Anteil	16,7%	0,0%	27,1%	20,7%
	p-Wert	-	-	< 0,001	< 0,001
Eth+Mhept	∑	1,0	0,0	24,0	155,0
	Anteil	16,7%	0,0%	25,0%	19,6%
	p-Wert	-	-	< 0,001	< 0,001
Eth+Non/Mhept	∑	0,0	1,0	18,0	132,0
	Anteil	0,0%	100,0%	18,8%	16,7%
	p-Wert	-	-	0,001	< 0,001
Eth+Non/Mhept+ VOC	∑	1,0	0,0	5,0	95,0
	Anteil	16,7%	0,0%	5,2%	12,0%
	p-Wert	-	-	0,142	< 0,001

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum,
Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

8.2.2.5 FALLENFANGEXPERIMENT 2012A

(I) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Fallenfangexperiment 2012a-1

Mit den im Fallenfangexperiment 2012a-1 verwendeten Semiochemikalien aus Laubwaldhabitaten konnten sowohl bei den Ameisenbuntkäfern als auch bei dessen potentiellen Beutetieren signifikante Reaktionen beobachtet werden (Tabelle 75). Die erfassten Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* und *T. femoralis* zeigten auf keine der Kombination von Ethanol und Laubholzsemiochemikalien eine Reaktion. Hingegen schien die Zugabe von Acetophenon zu Sexowit® die Attraktivität des Sexowit®-Dispensers zu beeinflussen. Entsprechend führte die Kombination von Sexowit® mit Acetophenon (einfach) zu signifikant erhöhten Fangzahlen von *T. formicarius*. Eine Steigerung der Acetophenon-Abgaberate (Acetophenon doppelt) führte hingegen zu einem höchst signifikanten Rückgang der Fangzahlen von *T. formicarius* (Anlage Tabelle 3). Eine Steigerung der Fangzahlen von *T. femoralis* in Abhängigkeit von der Acetophenon-

Abgaberate konnte nicht beobachtet werden. Im Gegenteil, schon die Kombination des Sexowit® mit Acetophenon (einfach) führte zu einem signifikanten Rückgang der Fangzahlen. Die Kombination des Sexowit® mit Acetophenon in doppelter Abgaberate bewirkte tendenziell zwar leicht ansteigende Fangzahlen – signifikant konnte dies jedoch nicht beschrieben werden (Anlage Tabelle 10).

Tabelle 75: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw.)

Variante		Th. for.	Th. fem.	T. dom.	T. lin.	T. pin	I. typ.	I. sex.
ALM (p-Wert)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,015	< 0,001	< 0,001
Null	Σ	8	0	0	14	32	0	0
	Anteil	0,7%	0,0%	0,0%	15,2%	8,2%	0,0%	0,0%
Eth	Σ	10	0	7	15	26	0	1
	Anteil	0,9%	0,0%	13,7%	16,3%	6,7%	0,0%	0,1%
Eth+aP	p-Wert	0,641	1,000	0,207	0,933	0,821	1,000	1,000
	Σ	8	0	0	0	31	0	0
Eth+cN	Anteil	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	8,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,779	1,000	1,000	0,022	0,979	1,000	1,000
Eth+De	Σ	5	1	0	0	57	0	3
	Anteil	0,4%	1,9%	0,0%	0,0%	14,7%	0,0%	0,3%
Eth+Mhept	p-Wert	0,625	0,733	1,000	0,022	0,040	1,000	0,866
	Σ	9	0	0	0	24	0	0
Eth+Non	Anteil	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	6,2%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,835	1,000	1,000	0,022	0,887	1,000	1,000
Eth+Pe	Σ	9	0	10	16	20	0	0
	Anteil	0,8%	0,0%	19,6%	17,4%	5,2%	0,0%	0,0%
Eth+Ver	p-Wert	0,730	1,000	0,003	0,185	0,472	1,000	1,000
	Σ	13	2	4	26	51	0	0
Sex	Anteil	1,2%	3,8%	7,8%	28,3%	13,1%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,874	0,577	0,156	0,119	0,003	1,000	1,000
Sex+Ace	Σ	8	1	0	0	26	0	0
	Anteil	0,7%	1,9%	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%	0,0%
Sex+2Ace	p-Wert	0,903	0,828	1,000	0,022	0,259	1,000	1,000
	Σ	10	1	27	12	33	0	0
Sex+Ace	Anteil	0,9%	1,9%	52,9%	13,0%	8,5%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,915	0,712	< 0,001	0,531	0,490	1,000	1,000
Sex+2Ace	Σ	381	26	3	9	29	3	495
	Anteil	33,8%	50,0%	5,9%	9,8%	7,5%	4,1%	45,2%
Sex+Ace	p-Wert	< 0,001	< 0,001	0,422	0,243	0,915	0,469	< 0,001
	Σ	410	5	0	0	27	42	345
Sex+2Ace	Anteil	36,4%	9,6%	0,0%	0,0%	7,0%	56,8%	31,5%
	p-Wert	< 0,001	0,016	1,000	0,022	0,639	< 0,001	< 0,001
Sex+2Ace	Σ	255	16	0	0	32	29	250
	Anteil	22,6%	30,8%	0,0%	0,0%	8,2%	39,2%	22,9%
Sex+2Ace	p-Wert	< 0,001	0,064	1,000	0,022	0,986	< 0,001	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Tabelle 76: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Eth	Eth+ aP	Eth+ cN	Eth+ De	Eth+M hept	Eth+ Non	Eth+ Pe	Eth+ Ver	Sex	Sex+ Ace	Sex+ 2Ace
Männchen	3	0	2	2	0	2	6	1	4	156	141	83
p-Wert ♂	-	0,290	0,614	0,654	0,290	0,575	0,921	0,578	0,823	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Weibchen	5	10	6	3	9	7	7	7	6	225	269	172
p-Wert ♀	-	0,566	0,693	1,000	0,253	0,600	0,753	0,531	0,670	< 0,001	< 0,001	< 0,001
p-Wert ♂-♀	0,517	0,085	0,402	0,980	0,020	0,233	0,732	0,356	0,719	0,170	0,017	0,490

Ein geschlechterspezifischer Anflug auf das Sexowit® bzw. dessen Varianten konnte nur für die Kombination von Sexowit® und Acetophenon nachgewiesen werden, welche einen signifikant stärkeren Anflug der weiblichen *T. formicarius* bewirkte (Tabelle 76). Auch mit der Kombination von Ethanol und Decanal wurden signifikant mehr Weibchen als Männchen von *T. formicarius* erfasst, wenngleich keine Aggregationswirkung der Testvariante zu erkennen war (Tabelle 76). Darüber hinaus wurden mit dem Ethanol ausschließlich weibliche Ameisenbuntkäfer erfasst.

Die potentiellen Beutearten der Ameisenbuntkäfer zeigten analog zu deren Prädatoren keine Reaktion auf Ethanol per se, reagierten jedoch auf Kombinationen von Ethanol mit einzelnen Laubholzsemiochemikalien. Entsprechend waren bei *T. lineatum* vor allem repellente Reaktionen auf aus Laubholzhabitaten stammende Substanzen zu beobachten. Im Vergleich zu den Fangzahlen von Ethanol als Einzelsubstanz führte die Kombination mit alpha-Pinen, cis-Nerolidol, Decanal und 3-Penten-2-ol zu einem signifikanten Rückgang der Fangzahlen (Anlage Tabelle 31). Auch die Kombination von Sexowit® mit Acetophenon erzeugte zumindest im Vergleich zur Nullvariante signifikant niedrigere Fangzahlen von *T. lineatum* (Tabelle 75). Vergleichbare Effekte waren bei *I. sexdentatus* zu beobachten, dessen Anflug auf das Sexowit® durch Kombination mit Acetophenon signifikant reduziert werden konnte. Tendenziell war darüber hinaus mit steigender Acetophenon Konzentration eine weitere Reduktion der Fangzahl zu beobachten (Anlage Tabelle 41). Vergleichbar zu *T. formicarius* zeigte *I. typographus* auf niedrige Acetophenonkonzentrationen in Verbindung mit Sexowit® einen signifikant höheren Anflug als auf Sexowit® per se, der sich mit verdoppelter Acetophenon-Abgaberate wieder reduzierte (Anlage Tabelle 35). Im Gegensatz zu den letztgenannten Arten konnte von *T. piniperda* von einzelnen Stoffkombinationen aggregierende Effekte beobachtet werden. Entsprechend führte die Kombination von Ethanol mit cis-Nerolidol sowie mit Nonanon-2 zu signifikant höheren Fangzahlen als Ethanol per se (Anlage Tabelle 49). Der Anflug von *T. domesticum* auf Ethanol konnte hingegen durch die Kombination des Ethanols mit Veratrol höchst signifikant gesteigert werden (Anlage Tabelle 25).

Fallenfangexperiment 2012a-2

Auf die im Kiefernhabitat im Fallenfangexperiment 2012a-2 verwendeten Testsubstanzen konnte ein gezielter Anflug des Ameisenbuntkäfers *T. formicarius* beobachtet werden. Darüber hinaus wurde mit den Standardsubstanzen des Experimentes ein Nachweis der

Abundanz von *T. femoralis*, *T. domesticum*, *I. typographus*, *I. sexdentatus* und *T. piniperda* erbracht (Tabelle 77).

Tabelle 77: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Th. for.	Th. fem.	T. dom.	T. lin	I. typ.	I. sex.	T. pin.
	ALM (p-Wert)	< 0,001	0,001	0,034	0,849	< 0,001	< 0,001*	< 0,001
Null	Σ	8	1	1	0	0	0	8
	Anteil	1,1%	16,7%	14,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,6%
endoB	Σ	35	0	1	3	0	0	3
	Anteil	5,0%	0,0%	14,3%	18,8%	0,0%	0,0%	1,0%
	p-Wert	0,024	0,145	0,398	-	1,000	1,000	0,234
endoB+Non	Σ	13	0	0	2	0	0	3
	Anteil	1,9%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	1,0%
	p-Wert	0,471	0,145	0,588	-	1,000	1,000	0,230
endoB+Non+Na	Σ	9	0	0	2	1	0	2
	Anteil	1,3%	0,0%	0,0%	12,5%	3,3%	0,0%	0,7%
	p-Wert	0,526	0,145	0,588	-	0,145	1,000	0,208
exoB	Σ	53	0	0	2	0	0	28
	Anteil	7,6%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	9,2%
	p-Wert	0,005	0,145	0,588	-	1,000	1,000	0,549
exoB+Non	Σ	36	0	0	1	0	0	4
	Anteil	5,2%	0,0%	0,0%	6,3%	0,0%	0,0%	1,3%
	p-Wert	0,028	0,145	0,588	-	1,000	1,000	0,410
exoB+Non+Na	Σ	35	0	1	1	0	0	9
	Anteil	5,0%	0,0%	14,3%	6,3%	0,0%	0,0%	3,0%
	p-Wert	0,034	0,145	1,000	-	1,000	1,000	0,356
Sex	Σ	492	5	4	2	29	245	11
	Anteil	70,4%	83,3%	57,1%	18,8%	96,7%	100,0%	3,6%
	p-Wert	< 0,001	0,006	0,009	-	< 0,001	< 0,001	0,699
Tom	Σ	18	0	0	2	0	0	233
	Anteil	2,6%	0,0%	0,0%	12,5%	0,0%	0,0%	76,9%
	p-Wert	0,211	0,145	0,588	-	1,000	1,000	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Die Ameisenbunkkäfer *T. formicarius* und *T. femoralis* zeigten, im Vergleich zu allen anderen Varianten, den signifikant stärksten Anflug auf die Sexowit®-Variante (Anlage Tabelle 4 und Anlage Tabelle 11). Für *T. femoralis* wurde darüber hinaus keine weitere Attraktivität einer Testsubstanz beobachtet. Hingegen wurde *T. formicarius* sowohl mit *exo*-Brevicommin als auch mit *endo*-Brevicommin signifikant aggregiert (Tabelle 77). Signifikante Unterschiede im Anflug auf beide Substanzen wurden nicht beobachtet. Die Fangleistung des *exo*-Brevicommins für Fänge von *T. formicarius* lag bei 10,8 % der Fangleistung der Sexowit®-Variante, die des *endo*-Brevicommins bei 7,1 %. Für *T. formicarius* erzeugte darüber hinaus auch die Kombination aus *exo*-Brevicommin mit Nonanon-2 sowie *exo*-Brevicommin, Nonanon-2 und Nonanal signifikant höhere Fangzahlen im Vergleich zur Nullvariante. Eine Steigerung der Fangzahlen im Vergleich zu *exo*-Brevicommin per se wurde nicht beobachtet (Anlage Tabelle 4). Die Kombination von Nonanal zur bestehenden Kombination aus *endo*-Brevicommin und Nonanon-2 führte zu reduzierten Fangzahlen an Ameisenbunkkäfern, was jedoch nicht signifikant erfasst werden konnte (Anlage Tabelle 4).

Tabelle 78: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-2 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	endoB+	endoB+ Non	endoB+ Non+Na	exoB+	exoB+ Non	exoB+ Non+Na	Sex	Tom
Männchen	2	10	5	2	14	7	8	148	6
p-Wert ♂	-	0,085	0,494	0,949	0,132	0,106	0,672	< 0,001	0,426
Weibchen	6	25	8	7	39	29	27	344	12
p-Wert ♀	-	0,026	0,581	0,446	0,005	0,032	0,013	< 0,001	0,528
p-Wert ♂-♀	0,774	0,760	0,764	0,175	0,280	0,778	0,032	0,537	0,872

Betrachtet man den Anflug von *T. formicarius* differenziert nach Geschlecht, dann lässt sich der Anflug auf *endo*-Brevicomin, *exo*-Brevicomin sowie die Kombinationen von *exo*-Brevicomin, Nonanon-2 und Nonanal signifikant nur für die Weibchen nachweisen. Die männlichen Ameisenbuntkäfer konnten, außer mit Sexowit®, mit keiner Testvariante signifikant erfasst werden (Tabelle 78). Ein geschlechterspezifischer Anflug konnte signifikant auf die Kombination von *exo*-Brevicomin, Nonanon-2 und Nonanal beobachtet (höherer Anflug an Weibchen).

Fallenfangexperiment 2012a-3

Mit dem Fallenfangexperiment 2012a-3 konnten zwar signifikante Reaktionen der Ameisenbuntkäfer und deren potentieller Beutetiere erfasst werden, diese beschränkten sich jedoch hauptsächlich auf Reaktionen auf die verwendeten Standarddispenser (Tabelle 79). Folglich wurde von *T. formicarius* und *T. femoralis* ein Anflug auf das Sexowit® erfasst. Darüber hinaus konnte *T. formicarius* auch mit Tomowit® und Ethanol per se aggregiert werden (Tabelle 79). Auf die Substanzen, für welche Attraktivität auf *T. formicarius* nachgewiesen wurde, konnten keine Unterschiede im Anflug von Männchen und Weibchen erfasst werden. Die Kombination von alpha-Cubeben, 4-Methylheptan-3-ol und d-Limonen wurde signifikant stärker von den Männchen angefliegen, wenngleich eine Attraktivität der Testvariante im Vergleich zur Nullvariante nicht nachgewiesen werden konnte (Tabelle 80).

Von den potentiellen Beutetieren des Ameisenbuntkäfers zeigten auch *T. lineatum* und *T. domesticum* einen signifikanten Anflug auf Ethanol als Einzelsubstanz und Tomowit® (Tabelle 79).

Auf die eigentlichen Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes konnte kein Anflug der Zielindividuen beobachtet werden.

Tabelle 79: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-3 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test)

Variante		Th. for.	Th. fem.	T. dom.	T. lin	I. typ.	I. sex.	T. pin.
ALM (p-Wert)		< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,004	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Null	Σ	6	0	0	1	0	0	7
	Anteil	1,3%	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%	0,0%	1,1%
Eth	Σ	24	0	13	8	0	0	12
	Anteil	5,2%	0,0%	56,5%	53,3%	0,0%	0,0%	1,9%
	p-Wert	0,012	1,000	< 0,001	0,025	1,000	1,000	0,526
aCub	Σ	3	0	0	2	0	0	7
	Anteil	0,6%	0,0%	0,0%	13,3%	0,0%	0,0%	1,1%
	p-Wert	0,830	1,000	1,000	0,861	1,000	1,000	0,293
aCub+Mhept	Σ	11	0	0	0	0	0	2
	Anteil	2,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
	p-Wert	0,533	1,000	1,000	0,585	1,000	1,000	0,523
aCub+Mhept+aCar	Σ	6	0	1	0	0	0	8
	Anteil	1,3%	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	1,3%
	p-Wert	0,941	1,000	0,616	0,585	1,000	1,000	0,758
aCub+Mhept+An	Σ	9	0	0	0	0	0	6
	Anteil	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%
	p-Wert	0,628	1,000	1,000	0,585	1,000	1,000	0,894
aCub+Mhept+dLim	Σ	13	0	1	0	0	0	2
	Anteil	2,8%	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
	p-Wert	0,140	1,000	0,366	0,585	1,000	1,000	0,899
Sex	Σ	367	6	3	0	22	230	12
	Anteil	79,1%	75,0%	13,0%	0,0%	100,0%		1,9%
	p-Wert	< 0,001	< 0,001	0,108	0,585	0,008	< 0,001	0,712
Tom	Σ	25	2	5	4	0	0	583
	Anteil	5,4%	25,0%	21,7%	26,7%	0,0%	0,0%	91,2%
	p-Wert	0,002	0,139	0,002	0,006	1,000	1,000	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Tabelle 80: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-3 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Eth	aCub	aCub+Mhept	aCub+Mhept+aCar	aCub+Mhept+An	aCub+Mhept+dLim	Sex	Tom
Männchen	1	10	1	4	1	7	4	106	6
p-Wert ♂	-	0,064	1,000	0,387	0,873	0,109	0,237	< 0,001	0,028
Weibchen	5	14	2	7	5	2	9	261	19
p-Wert ♀	-	0,307	0,762	0,725	0,762	0,675	0,396	< 0,001	0,004
p-Wert ♂-♀	0,142	0,809	0,649	0,989	0,928	0,024	0,888	0,189	0,565

Fallenfangexperiment 2012a-4

Im Fallenfangexperiment 2012a-4 konnte für die Arten *T. formicarius*, *T. femoralis* und *I. typographus* ein signifikanter Einfluss der Testvarianten auf das Anflugverhalten der genannten Arten nachgewiesen werden (Tabelle 81).

Von den erfassten Ameisenbuntkäfern *T. formicarius* und *T. femoralis* war ein, im Vergleich zur Nullvariante, signifikanter Anflug auf die Pheroprax®-Variante zu beobachten. Durch die Kombination des Pheroprax®-Dispensers mit den Semiochemikalien Acetophenon, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol, 2-Undecanon und Veratrol konnte jeweils eine signifikante Steigerung der Fangzahlen von *T. formicarius* im

Vergleich zu Pheroprax® per se nachgewiesen werden. Signifikante Unterschiede der einzelnen Kombinationen in der Fangzahl von *T. formicarius* konnten jedoch nicht erfasst werden (Anlage Tabelle 6).

Tabelle 81: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-4 (Signifikanztest zur Pheroprax®-Variante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test)

Variante		<i>Th. for.</i>	<i>Th. fem.</i>	<i>T. lin</i>	<i>I. typ.</i>	<i>I. sex.</i>	<i>T. pin.</i>
	ALM (p-Wert)	< 0,001	< 0,001	0,271	< 0,001	0,279	0,080
Null	Σ	2	2	3	0	0	5
	Anteil	0,2%	0,2%	20,0%	0,0%	0,0%	7,4%
	p-Wert	< 0,001	0,002	-	< 0,001	-	-
Ph	Σ	61	44	1	188	12	5
	Anteil	7,4%	4,1%	6,7%	8,6%	9,2%	7,4%
	p-Wert	0,023	< 0,001	-	0,011	-	-
Ph+Ace	Σ	108	154	2	303	11	14
	Anteil	13,0%	14,4%	13,3%	13,9%	8,4%	20,6%
	p-Wert	0,023	< 0,001	-	0,011	-	-
Ph+cN	Σ	95	135	2	298	14	5
	Anteil	11,5%	12,7%	13,3%	13,7%	10,7%	7,4%
	p-Wert	0,104	< 0,001	-	0,001	-	-
Ph+Mhept	Σ	76	122	1	284	29	9
	Anteil	9,2%	11,4%	6,7%	13,0%	22,1%	13,2%
	p-Wert	0,896	0,093	-	0,209	-	-
Ph+Non	Σ	121	138	1	260	20	14
	Anteil	14,6%	12,9%	6,7%	11,9%	15,3%	20,6%
	p-Wert	0,012	0,003	-	0,016	-	-
Ph+Pe	Σ	123	176	0	266	10	7
	Anteil	14,8%	16,5%	0,0%	12,2%	7,6%	10,3%
	p-Wert	0,002	< 0,001	-	0,089	-	-
Ph+Un	Σ	140	211	4	332	25	4
	Anteil	16,9%	19,8%	26,7%	15,2%	19,1%	5,9%
	p-Wert	< 0,001	< 0,001	-	0,012	-	-
Ph+Ver	Σ	103	84	1	247	10	5
	Anteil	12,4%	7,9%	6,7%	11,3%	7,6%	7,4%
	p-Wert	0,037	0,091	-	0,099	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Der tendenziell stärkste Anflug von *T. formicarius* wurde durch die Kombination von Pheroprax® mit 2-Undecanon erzeugt.

Auch auf *T. femoralis* konnte eine Attraktivitätssteigerung des Pheroprax®-Dispensers durch Kombination mit weiteren Semiochemikalien erzielt werden (Tabelle 81). Signifikant wurde dieser Zusammenhang für die Substanzen Acetophenon, cis-Nerolidol, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol sowie 2-Undecanon nachgewiesen. Auch an dieser Stelle konnten für die genannten Kombinationen keine signifikanten Unterschiede untereinander festgehalten werden (Anlage Tabelle 13). Jedoch war es analog zu *T. formicarius* die 2-Undecanon-Kombination, welche *T. femoralis* am häufigsten aggregierte (Tabelle 81).

Tabelle 82: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-4 (Signifikanz zur Pheroprax®-Variante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus</i>										
<i>formicarius</i>	Null	Ph	Ph+Ace	Ph+cN	Ph+Mhept	Ph+Non	Ph+Pe	Ph+Un	Ph+Ver	
Männchen	1	22	30	27	25	35	33	39	26	
p-Wert ♂	<0,001	-	0,174	0,035	0,517	0,698	0,932	0,398	0,215	
Weibchen	1	35	69	54	47	74	78	84	69	
p-Wert ♀	<0,001	-	0,010	0,033	0,877	0,540	0,488	0,868	0,127	
p-Wert ♂-♀	0,895	0,905	0,488	0,331	0,472	0,863	0,641	0,344	0,808	

Bei einer nach Geschlechtern differenzierten Betrachtung des Anfluges auf die Testsubstanzen konnte im Gegensatz zur Darstellung in Tabelle 81 für beide Geschlechter auch ein gesteigerter Anflug auf die Kombination von Pheroprax® und cis-Nerolidol nachgewiesen werden. Darüber hinaus steigerte die Kombination von Pheroprax® mit Acetophenon die Attraktivität lediglich für die Weibchen signifikant (Tabelle 82). Signifikante Unterschiede im Anflug der Geschlechter auf die Testsubstanzen konnten nicht beobachtet werden.

Das grundlegende Ziel des Experimentes, eine Reduktion des Anfluges von *I. typographus* auf die verwendeten Pheroprax®-Kombinationen, konnte nicht erreicht werden. Hingegen erzielten alle Pheroprax®-Kombinationen höhere *I. typographus* Fangraten, als Pheroprax® per se (Tabelle 81). Signifikant konnte dies für die Kombinationen von Pheroprax® mit Acetophenon, cis-Nerolidol, Nonanon-2 sowie mit Undecanon-2 nachgewiesen werden. Analog zu den Ameisenbuntkäferfängen wurden auch die meisten Buchdrucker von der Kombination aus Pheroprax® mit 2-Undecanon aggregiert. Ein signifikanter Unterschied der Fangzahl zu den Fangzahlen der anderen Stoffkombinationen war jedoch auch für den Buchdrucker nicht abzuleiten (Anlage Tabelle 38).

Fallenfangexperiment 2012a-5

Im Rahmen des Fallenfangexperimentes 2012a-5 konnte sowohl auf *T. formicarius* als auch auf *T. piniperda* ein Einfluss der Testsubstanzen beobachtet werden (Tabelle 83).

Neben der Reaktion von *T. formicarius* auf dessen Standard Sexowit® reagierte dieser signifikant auf die Kombination von Ethanol und (-)-alpha-Pinen mit 3-Penten-2-ol (Tabelle 83). Die Fangzahlen der letztgenannten Mischungen erreichten dabei 5,1 % des Fangwertes vom Sexowit®. *T. femoralis* zeigte hingegen ausschließlich auf das Sexowit® einen signifikanten Anflug.

Tabelle 83: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-5 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Th. for.	Th. fem.	T. lin	I. typ.	I. sex.	T. pin.
	ALM (p-Wert)	< 0,001	< 0,001	0,304	< 0,001*	< 0,001*	< 0,001
Null	Σ	1	3	2	0	0	2
	Anteil	0,4%	4,0%	25,0%	0,0%	0,0%	0,7%
Eth	Σ	3	1	0	0	0	6
	Anteil	1,1%	1,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,2%
	p-Wert	0,588	0,523	-	1,000	1,000	0,375
Eth+aP	Σ	10	1	3	0	0	67
	Anteil	3,8%	1,3%	37,5%	0,0%	0,0%	24,3%
	p-Wert	0,083	0,721	-	1,000	1,000	0,003
Eth+aP+Ipsdienol	Σ	5	3	2	0	0	19
	Anteil	1,9%	4,0%	25,0%	0,0%	0,0%	6,9%
	p-Wert	0,488	0,466	-	1,000	1,000	0,009
Eth+aP+Ipsenol	Σ	2	6	0	0	0	20
	Anteil	0,8%	8,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,2%
	p-Wert	0,717	0,594	-	1,000	1,000	0,097
Eth+aP+Non	Σ	5	0	0	0	0	59
	Anteil	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	21,4%
	p-Wert	0,455	0,523	-	1,000	1,000	0,004
Eth+aP+Pe	Σ	11	4	0	0	0	47
	Anteil	4,2%	5,3%	0,0%	0,0%	0,0%	17,0%
	p-Wert	0,041	0,547	-	1,000	1,000	0,011
Eth+aP+Mhept	Σ	10	3	1	0	0	48
	Anteil	3,8%	4,0%	12,5%	0,0%	0,0%	17,4%
	p-Wert	0,055	0,843	-	1,000	1,000	< 0,001
Sex	Σ	214	55	0	47	1.004	8
	Anteil	82,0%	73,3%	0,0%	100,0%	100,0%	2,9%
	p-Wert	< 0,001	< 0,001	-	0,001	< 0,001	0,271

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Tabelle 84: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-5 (Signifikanz zur Pheroprax®-Variante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Eth	Eth+aP	Eth+aP+Ipsdienol	Eth+aP+Ipsenol	Eth+aP+Non	Eth+aP+Pe	Eth+aP+Mhept	Sex
Männchen	0	0	2	0	0	1	2	3	74
p-Wert ♂	-	1,000	0,439	1,000	1,000	0,809	0,080	0,338	< 0,001
Weibchen	1	3	8	5	2	4	9	7	140
p-Wert ♀	-	0,550	0,118	0,440	0,701	0,511	0,096	0,134	< 0,001
p-Wert ♂-♀	0,339	0,089	0,588	0,085	0,171	0,447	0,686	0,766	0,620

Ein unterschiedlicher Anflug der Geschlechter von *T. formicarius* auf die verwendeten Testsubstanzen konnte nicht nachgewiesen werden (Tabelle 84).

Im Vergleich zum Fang der Nullvariante war die Fangzahl von *T. piniperda* mit der Kombination aus Ethanol und alpha-Pinen signifikant höher, wobei sich ein synergistischer Effekt des alpha-Pinen nachweisen ließ. Die Kombination von Ethanol und (-)-alpha-Pinen mit 4-Methylheptan-3-ol reduzierte die Fangzahlen im Vergleich zur Kombination von Ethanol und (-)-alpha-Pinen signifikant (Anlage Tabelle 52). Zwar stärker, aber dennoch nur in der Tendenz ließ sich der reduzierende Einfluss von Ipsdienol und Ipsenol auf die Fangzahlen von *T. piniperda* beobachten. Von *I. typographus* und *I. sexdentatus* konnte

ausschließlich ein signifikanter Anflug auf den Standarddispenser Sexowit®, jedoch nicht auf die Testvarianten beobachtet werden.

(2) *Reaktion weiterer Prädatoren*

Fallenfangexperiment 2012a-1

Tabelle 85: *Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)*

Variante	Sal. ruf.	Ne. el.	Gl. quad.	Phy. dep.	Rh. bip.	Rh. dep.	Staph.
ALM (p-Wert)	0,497	0,443*	0,448	< 0,001	0,443*	< 0,001	0,012
Null	Σ	1	0	5	3	1	6
	Anteil	11,1%	0,0%	4,9%	1,5%	50,0%	0,6%
	p-Wert	-	-	-	0,343	-	0,058
Eth	Σ	1	0	8	2	0	20
	Anteil	11,1%	0,0%	7,8%	1,0%	0,0%	2,0%
	p-Wert	-	-	-	0,343	-	0,058
Eth+aP	Σ	1	1	7	0	0	8
	Anteil	11,1%	50,0%	6,9%	0,0%	0,0%	0,8%
	p-Wert	-	-	-	0,206	-	0,447
Eth+cN	Σ	0	1	5	2	0	9
	Anteil	0,0%	50,0%	4,9%	1,0%	0,0%	0,9%
	p-Wert	-	-	-	0,362	-	0,792
Eth+De	Σ	3	0	3	5	1	9
	Anteil	33,3%	0,0%	2,9%	2,5%	50,0%	0,9%
	p-Wert	-	-	-	0,517	-	0,431
Eth+Mhept	Σ	1	0	16	1	0	17
	Anteil	11,1%	0,0%	15,7%	0,5%	0,0%	1,7%
	p-Wert	-	-	-	0,268	-	0,435
Eth+Non	Σ	0	0	20	2	0	21
	Anteil	0,0%	0,0%	19,6%	1,0%	0,0%	2,2%
	p-Wert	-	-	-	0,631	-	0,159
Eth+Pe	Σ	1	0	16	2	0	9
	Anteil	11,1%	0,0%	15,7%	1,0%	0,0%	0,9%
	p-Wert	-	-	-	0,311	-	0,778
Eth+Ver	Σ	1	0	12	3	0	21
	Anteil	11,1%	0,0%	11,8%	1,5%	0,0%	2,2%
	p-Wert	-	-	-	0,721	-	0,094
Sex	Σ	0	0	7	73	0	371
	Anteil	0,0%	0,0%	6,9%	36,3%	0,0%	38,0%
	p-Wert	-	-	-	< 0,001	-	< 0,001
Sex+Ace	Σ	0	0	1	63	0	257
	Anteil	0,0%	0,0%	1,0%	31,3%	0,0%	26,3%
	p-Wert	-	-	-	0,035	-	< 0,001
Sex+2Ace	Σ	0	0	2	45	0	228
	Anteil	0,0%	0,0%	2,0%	22,4%	0,0%	23,4%
	p-Wert	-	-	-	< 0,001	-	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Auf die übrigen Prädatoren konnte keine Attraktivität durch Kombination von Ethanol mit aus Laubwaldhabitaten stammenden Semiochemikalien induziert werden. Sowohl *Pytho depressus* (L.) als auch *R. depressus* wurden am stärksten durch Sexowit® per se aggregiert (Tabelle 85). Die Zugabe von Acetophenon zu Sexowit® führte zumindest bei *R. depressus* zu signifikant niedrigeren Fangzahlen (Anlage Tabelle 64). Auch bei *P. depressus* führte diese Kombination zu rückläufigen Fangzahlen, konnte jedoch nicht als signifikant beschrieben werden (Anlage Tabelle 69). Auf die Staphilinidae erzeugte die

Zugabe von Acetophenon zu Sexowit® ebenfalls eine repellente Reaktion, was bei doppelter Abgaberate des Acetophenon als signifikant beschrieben werden konnte (Anlage Tabelle 83). Darüber hinaus führte die Zugabe von cis-Nerolidol und Decanal zu Ethanol zu einem geringeren Anflug der Kurzflügler.

Fallenfangexperiment 2012a-2

Tabelle 86: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Sal. ruf.	Gl. quad.	Rh. dep.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,569	< 0,001	< 0,001	0,737
Null	∑	0	2	9	7
	Anteil	0,0%	7,4%	2,0%	6,8%
endoB	∑	0	1	1	12
	Anteil	0,0%	3,7%	0,2%	11,7%
	p-Wert	-	0,954	0,230	-
endoB+Non	∑	0	3	3	12
	Anteil	0,0%	11,1%	0,7%	11,7%
	p-Wert	-	0,954	0,284	-
endoB+Non+Na	∑	0	0	5	7
	Anteil	0,0%	0,0%	1,1%	6,8%
	p-Wert	-	0,590	0,594	-
exoB	∑	0	2	2	9
	Anteil	0,0%	7,4%	0,5%	8,7%
	p-Wert	-	0,269	0,284	-
exoB+Non	∑	0	2	8	16
	Anteil	0,0%	7,4%	1,8%	15,5%
	p-Wert	-	0,927	0,570	-
exoB+Non+Na	∑	1	0	6	10
	Anteil	50,0%	0,0%	1,4%	9,7%
	p-Wert	-	0,590	0,404	-
Sex	∑	0	5	361	18
	Anteil	0,0%	18,5%	81,7%	17,5%
	p-Wert	-	0,607	< 0,001	-
Tom	∑	1	12	47	12
	Anteil	50,0%	44,4%	10,6%	11,7%
	p-Wert	-	< 0,001	0,016	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Ein signifikanter Anflug weiterer potentieller Borkenkäferprädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-2 konnte nicht erfasst werden (Tabelle 86). Dennoch konnte für die Arten *R. depressus* und *G. quadripunctatus* ein signifikanter Anflug auf die Standardvarianten des Experimentes beobachtet werden. Analog zum Fallenfangexperiment 2010 wurde ein signifikanter Anflug von *R. depressus* auf den Sexowit®-Dispenser beobachtet. Zudem zeigten *R. depressus* und *G. quadripunctatus* einen gerichteten Anflug auf den Tomowit®-Dispenser.

Fallenfangexperiment 2012a-3

Von den weiteren potentiellen Prädatoren konnte auch auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-3 kein signifikanter Anflug beobachtet werden. *G. quadripunctatus* wurde zwar am häufigsten mit der Ethanol-Variante erfasst, ein

signifikanter Anflug konnte jedoch nur auf das Tomowit® beschrieben werden (Tabelle 87). Darüber hinaus wurden *R. depressus* und *P. depressus* signifikant vom Sexowit® aggregiert.

Tabelle 87: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-3 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Ne. el.	Gl. quad.	Phy. dep.	Rh. dep.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,433*	0,001	< 0,001	< 0,001	0,273
Null	∑	0	2	0	4	8
	Anteil	0,0%	5,0%	0,0%	1,0%	7,5%
Eth	∑	0	15	0	17	16
	Anteil	0,0%	37,5%	0,0%	4,4%	15,0%
	p-Wert	-	0,084	1,000	0,520	-
aCub	∑	0	3	0	6	20
	Anteil	0,0%	7,5%	0,0%	1,6%	18,7%
	p-Wert	-	0,302	1,000	0,816	-
aCub+Mhept	∑	0	1	2	4	12
	Anteil	0,0%	2,5%	5,4%	1,0%	11,2%
	p-Wert	-	0,802	0,679	0,869	-
aCub+Mhept+aCar	∑	0	1	1	0	13
	Anteil	0,0%	2,5%	2,7%	0,0%	12,1%
	p-Wert	-	0,664	0,851	0,369	-
aCub+Mhept+An	∑	0	3	2	4	7
	Anteil	0,0%	7,0%	5,4%	1,0%	6,5%
	p-Wert	-	0,692	0,796	0,735	-
aCub+Mhept+dLim	∑	0	2	1	1	7
	Anteil	0,0%	5,0%	2,7%	0,3%	6,5%
	p-Wert	-	0,960	0,272	0,539	-
Sex	∑	0	0	29	311	13
	Anteil	0,0%	0,0%	78,4%	81,2%	12,1%
	p-Wert	-	0,494	< 0,001	< 0,001	-
Tom	∑	1	13	2	36	11
	Anteil	100,0%	32,5%	5,4%	9,4%	10,3%
	p-Wert	-	< 0,001	0,200	0,190	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Fallenfangexperiment 2012a-4

Von weiteren potentiellen Borkenkäferprädatoren konnten keine signifikanten Unterschiede im Anflug auf die Testvarianten des Fallenfangexperimentes 2012a-4 beobachtet werden (Tabelle 88). Eine starke Tendenz einer Attraktivität ließ sich jedoch für *R. depressus* auf die Kombination von Pheroprax® und 4-Methylheptan-3-ol erkennen.

Tabelle 88: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-4 (Signifikanztest zur Pheroprax®-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Sal. ruf.	Ne. el.	Rh. bip.	Rh. dep.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,433*	0,649	0,433*	0,063	0,116
Null	Σ	0	0	0	0	19
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	9,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph	Σ	0	1	0	0	37
	Anteil	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	18,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+Ace	Σ	0	0	0	4	21
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	15,4%	10,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+cN	Σ	0	0	0	4	16
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	15,4%	8,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+Mhept	Σ	0	0	1	15	40
	Anteil	0,0%	0,0%	100,0%	57,7%	20,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+Non	Σ	0	1	0	0	21
	Anteil	0,0%	25,0%	0,0%	0,0%	10,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+Pe	Σ	0	0	0	1	12
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	3,9%	6,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+Un	Σ	0	0	0	0	11
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Ph+Ver	Σ	1	2	0	2	23
	Anteil	100,0%	50,0%	0,0%	7,7%	11,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Fallenfangexperiment 2012a-5

Tabelle 89: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-5 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Til. el.	Gl. quad.	Rh. dep.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,433*	0,433*	< 0,001	0,818
Null	Σ	0	0	0	14
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	10,9%
Eth	Σ	0	1	1	13
	Anteil	0,0%	100,0%	2,6%	10,2%
	p-Wert	-	-	0,527	-
Eth+aP	Σ	0	0	0	16
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	12,5%
	p-Wert	-	-	1,000	-
Eth+aP+Ipsdienol	Σ	0	0	1	16
	Anteil	0,0%	0,0%	2,6%	12,5%
	p-Wert	-	-	0,527	-
Eth+aP+Ipsenol	Σ	0	0	1	20
	Anteil	0,0%	0,0%	2,6%	15,6%
	p-Wert	-	-	0,527	-
Eth+aP+Non	Σ	0	0	1	14
	Anteil	0,0%	0,0%	2,6%	10,9%
	p-Wert	-	-	0,622	-
Eth+aP+Pe	Σ	0	0	2	15
	Anteil	0,0%	0,0%	5,3%	11,7%
	p-Wert	-	-	0,207	-
Eth+aP+Mhept	Σ	0	0	2	10
	Anteil	0,0%	0,0%	5,3%	7,8%
	p-Wert	-	-	0,325	-
Sex	Σ	1	0	30	10
	Anteil	100,0%	0,0%	78,9%	7,8%
	p-Wert	-	-	< 0,001	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Von den verwendeten Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-5 erzeugte keine eine signifikante Reaktion bei den weiteren Prädatoren, von denen zumindest *R. depressus* mit dem Standard Sexowit® nachgewiesen werden konnte.

(3) Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten

Fallenfangexperiment 2012a-1

Von den weiteren bast- und holzbesiedelnden Arten konnte einzig von *I. acuminatus* und *Hylastes attenuatus* (Er.) eine signifikante Reaktion auf einzelne Varianten des Fallenfangexperimentes 2012a-1 beobachtet werden. Entsprechend konnte, durch Zugabe von cis-Nerolidol zu Ethanol, der Anflug von *H. attenuatus* leicht, aber dennoch signifikant, gesteigert werden (Anlage Tabelle 100).

Tabelle 90: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Xyl. sax.</i>	<i>Xyl. disp.</i>	<i>Hyl. a.</i>	<i>Hyl. op.</i>	<i>Hyl. cun.</i>	<i>Hyl. att.</i>	<i>Hy. pall.</i>	<i>Hylur. lig.</i>	<i>I. ac.</i>
ALM (p-Wert)		0,195	0,443*	0,486	0,221	0,399	0,035	0,052	0,689	< 0,001
Null	Σ	0	0	45	36	0	0	198	1	0
	Anteil	0,0%	0,0%	10,0%	5,9%	0,0%	0,0%	6,4%	4,3%	0,0%
Eth	Σ	6	0	30	28	9	1	260	2	0
	Anteil	10,2%	0,0%	6,7%	4,6%	47,4%	1,2%	8,4%	8,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,706	-	-	1,000
Eth+aP	Σ	4	0	56	46	0	1	343	0	3
	Anteil	6,8%	0,0%	12,5%	7,6%	0,0%	1,2%	11,1%	0,0%	0,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,880	-	-	0,714
Eth+cN	Σ	10	0	54	30	5	3	353	0	3
	Anteil	16,9%	0,0%	12,1%	4,9%	26,3%	3,5%	11,5%	0,0%	0,5%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,015	-	-	0,714
Eth+De	Σ	3	0	44	74	1	4	235	2	0
	Anteil	5,1%	0,0%	9,8%	12,2%	5,3%	4,7%	7,6%	8,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,519	-	-	1,000
Eth+Mhept	Σ	6	0	33	44	0	0	341	1	0
	Anteil	10,2%	0,0%	7,4%	7,2%	0,0%	0,0%	11,1%	4,3%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	1,000	-	-	1,000
Eth+Non	Σ	9	0	39	55	1	0	242	1	0
	Anteil	15,3%	0,0%	8,7%	9,0%	5,3%	0,0%	7,9%	4,3%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	1,000	-	-	1,000
Eth+Pe	Σ	8	0	25	38	1	1	330	2	1
	Anteil	13,6%	0,0%	5,6%	6,3%	5,3%	1,2%	10,7%	8,7%	0,2%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,577	-	-	1,000
Eth+Ver	Σ	11	0	29	30	1	1	289	3	1
	Anteil	18,6%	0,0%	6,5%	4,9%	5,3%	1,2%	9,4%	13,0%	0,2%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,880	-	-	1,000
Sex	Σ	2	0	42	98	0	9	195	3	271
	Anteil	3,4%	0,0%	9,4%	16,1%	0,0%	10,5%	6,3%	13,0%	44,4%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,443	-	-	< 0,001
Sex+Ace	Σ	0	1	24	49	1	14	130	2	228
	Anteil	0,0%	100,0%	5,4%	8,1%	5,3%	16,3%	4,2%	8,7%	37,4%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,119	-	-	< 0,001
Sex+2Ace	Σ	0	0	27	80	0	52	164	6	103
	Anteil	0,0%	0,0%	6,0%	13,2%	0,0%	60,5%	5,3%	26,1%	16,9%
	p-Wert	-	-	-	-	-	0,004	-	-	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Auch die Zugabe von Acetophenon zu Sexowit® führte mit steigender Abgaberate des Acetophenon zu erhöhten Fangzahlen von *H. attenuatus*. Eine signifikante Erhöhung der

Fangzahlen konnte jedoch nur bei doppelter Acetophenon-Abgaberate beschrieben werden (Anlage Tabelle 100; Tabelle 90). Ein gegenläufiger Trend konnte bei *I. acuminatus* erfasst werden, dessen Anflug auf den Sexowit®-Dispenser mit steigender Acetophenon-Abgaberate signifikant reduziert werden konnte. Von den weiteren bast- und holzbesiedelnden Arten wurde *Hylurgops palliatus* (Gyll.) am häufigsten in den Fallen erfasst. Eine signifikante Reaktion konnte jedoch auf keine der Testvarianten beschrieben werden (Tabelle 90). Dennoch schien die Kombination von alpha-Pinen, cis-Nerolidol, 4-Methylheptan-3-ol sowie 3-Penten-2-ol mit Ethanol die Fangzahlen von *H. palliatus* zu erhöhen.

Fallenfangexperiment 2012a-2

Eine Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-2 wurde nicht erfasst (Tabelle 91). Für *I. acuminatus* ließ sich ein signifikanter Anflug auf den Standard Sexowit® erkennen hingegen wurde *H. palliatus* mit Tomowit® aggregiert.

Tabelle 91: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Hyl. a.</i>	<i>Hyl. op.</i>	<i>Hyl. att.</i>	<i>Hy. pall.</i>	<i>Hylu. lig.</i>	<i>I. ac.</i>
	ALM (p-Wert)	0,238	0,785	0,591	0,003	0,226	<0,001
Null	∑	7	14	1	75	2	0
	Anteil	9,0%	6,6%	4,5%	7,4%	6,5%	0,0%
endoB	∑	11	11	2	81	1	0
	Anteil	14,1%	5,2%	9,1%	8,0%	3,2%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,175	-	1,000
endoB+Non	∑	9	23	0	70	3	0
	Anteil	11,5%	10,8%	0,0%	6,9%	9,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,211	-	1,000
endoB+Non+Na	∑	9	29	1	39	2	0
	Anteil	11,5%	13,6%	4,5%	3,8%	6,5%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,080	-	1,000
exoB	∑	9	25	3	128	2	1
	Anteil	11,5%	11,7%	13,6%	12,6%	6,5%	0,4%
	p-Wert	-	-	-	0,351	-	0,142
exoB+Non	∑	5	19	5	76	3	0
	Anteil	6,4%	8,9%	22,7%	7,5%	9,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,536	-	1,000
exoB+Non+Na	∑	14	23	3	80	1	0
	Anteil	17,9%	10,8%	13,6%	7,9%	3,2%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,451	-	1,000
Sex	∑	9	47	6	116	14	230
	Anteil	11,5%	22,1%	27,3%	11,4%	45,2%	99,6%
	p-Wert	-	-	-	0,716	-	<0,001
Tom	∑	5	22	1	349	3	0
	Anteil	6,4%	10,3%	4,5%	34,4%	9,7%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,012	-	1,000

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Fallenfangexperiment 2012a-3

Auch die bast- und holzbesiedelnden Insekten zeigten keine signifikante Reaktion auf die im Fallenfangexperiment 2012a-3 zu erprobenden Testsubstanzen (Tabelle 92). Auf den Standard Sexowit® konnte ein signifikanter Anflug von *H. attenuatus*, *H. palliatus* und *I. acuminatus* beobachtet werden. Auch Tomowit® wurde von *H. palliatus* angefliegen, wobei der Anflug deutlich höher war als auf alle anderen Varianten. Darüber hinaus konnte *X. saxeseni* mit Ethanol aggregiert werden.

Tabelle 92: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-3 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Hyl. a.</i>	<i>Hyl. op.</i>	<i>Hyl. att.</i>	<i>Hy. pall.</i>	<i>Hylu. lig.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>S. scol</i>	<i>I. ac.</i>
ALM (p-Wert)		0,287	0,430	< 0,001	0,006	0,030*	< 0,001	0,624	< 0,001
Null	Σ	5	18	1	37	0	1	0	0
	Anteil	11,6%	10,2%	6,3%	4,2%	0,0%	4,5%	0,0%	0,0%
Eth	Σ	5	14	1	127	0	15	0	0
	p-Wert	-	-	1,000	0,757	1,000	< 0,001	-	1,000
aCub	Σ	5	12	1	39	0	0	1	0
	p-Wert	-	-	0,950	0,761	1,000	0,182	-	1,000
aCub+Mhept	Σ	2	14	0	44	0	0	0	0
	p-Wert	-	-	0,631	0,850	1,000	0,182	-	1,000
aCub+Mhept+aCar	Σ	3	14	1	43	2	0	0	0
	p-Wert	-	-	1,000	0,776	0,083	0,182	-	1,000
aCub+Mhept+An	Σ	3	17	2	43	0	0	1	0
	p-Wert	-	-	0,819	0,260	1,000	0,182	-	1,000
aCub+Mhept+dLim	Σ	2	21	0	33	0	0	1	0
	p-Wert	-	-	0,631	0,825	1,000	0,182	-	1,000
Sex	Σ	9	39	9	44	0	0	0	81
	p-Wert	-	-	< 0,001	0,036	1,000	0,182	-	0,001
Tom	Σ	9	28	1	468	0	6	0	0
	p-Wert	-	-	0,950	0,003	1,000	0,339	-	1,000

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Fallenfangexperiment 2012a-4

Die unterschiedlichen Testvarianten des Fallenfangexperimentes 2012a-4 erzeugten keine signifikanten Effekte bei den bast- und holzbesiedelnden Insekten, die neben den Zielarten in den Fallen erfasst werden konnten (Tabelle 93). Jedoch zeigte *H. attenuatus* eine deutliche Tendenz im Anflug auf die Kombination von Pheroprax® und 4-Methylheptan-3-ol. Auch *Hylastes ater* (Pay.) und *Hylastes opacus* (Er.) zeigten auf die Kombination von Pheroprax® mit 4-Methylheptan-3-ol leicht erhöhte Fangzahlen im Gegensatz zu Pheroprax® per se (Tabelle 93). Vergleichbare Tendenzen zeigten sich bei beiden letztgenannten Arten auch auf die Kombination von Pheroprax® mit 3-Penten-2-ol.

Tabelle 93: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-4 (Signifikanztest zur Pheroprax®-Variante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Hyl. a.	Hyl. op.	Hyl. att.	Hy. pall.	Pity. ch.	I. ac.
	ALM (p-Wert)	0,075	0,220	0,097	0,531	0,103	0,671
Null	Σ	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph	Σ	1,0	1,0	2,0	0,0	22,0	3,0
	Anteil	4,5%	6,7%	4,7%	0,0%	12,4%	23,1%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+Ace	Σ	2,0	1,0	3,0	1,0	19,0	1,0
	Anteil	9,1%	6,7%	7,0%	10,0%	10,7%	7,7%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+cN	Σ	4,0	0,0	1,0	0,0	21,0	0,0
	Anteil	18,2%	0,0%	2,3%	0,0%	11,8%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+Mhept	Σ	5,0	5,0	31,0	1,0	33,0	3,0
	Anteil	22,7%	33,3%	72,1%	10,0%	18,5%	23,1%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+Non	Σ	2,0	3,0	1,0	1,0	16,0	2,0
	Anteil	9,1%	20,0%	2,3%	10,0%	9,0%	15,4%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+Pe	Σ	6,0	4,0	4,0	1,0	17,0	2,0
	Anteil	27,3%	26,7%	9,3%	10,0%	9,6%	15,4%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+Un	Σ	1,0	1,0	0,0	1,0	32,0	1,0
	Anteil	4,5%	6,7%	0,0%	10,0%	18,0%	7,7%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Ph+Ver	Σ	1,0	0,0	1,0	3,0	18,0	1,0
	Anteil	4,5%	0,0%	2,3%	30,0%	10,1%	7,7%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

P. chalcographus war die neben den Zielarten am häufigsten nachgewiesene Borkenkäferart. Jedoch konnten auch für *P. chalcographus* keine signifikanten Unterschiede der Fangzahlen mit den einzelnen Testvarianten beobachtet werden (Tabelle 93).

Fallenfangexperiment 2012a-5

Auch die weiteren bast- und holzbesiedelnden Insekten zeigten einen sehr geringen Anflug auf die Testsubstanzen. Einzig von *I. acuminatus* konnte ein schwach signifikanter Anflug auf die Kombination von Ethanol, (-)-alpha-Pinen und Ipsdienol erfasst werden (Tabelle 94). Darüber hinaus zeigten *I. acuminatus* und *H. attenuatus* einen Anflug auf das Sexowit®.

Tabelle 94: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-5 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Hyl. a.	Hyl. op.	Hyl. att.	Hy. pall.	Hylu. lig.	I. ac.
	ALM (p-Wert)	0,578	0,624	0,028	0,891	0,624	< 0,001
Null	Σ	0	0	0	0	0	0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Eth	Σ	3	0	0	1	0	0
	Anteil	15,0%	0,0%	0,0%	5,3%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-	-	1,000
Eth+aP	Σ	2	1	2	3	0	0
	Anteil	10,0%	33,3%	3,3%	15,8%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,720	-	-	1,000
Eth+aP+Ipsdienol	Σ	4	0	5	3	0	2
	Anteil	20,0%	0,0%	8,3%	15,8%	0,0%	4,7%
	p-Wert	-	-	0,505	-	-	0,037
Eth+aP+Ipsenol	Σ	0	1	6	4	1	0
	Anteil	0,0%	33,3%	10,0%	21,1%	33,3%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,575	-	-	1,000
Eth+aP+Non	Σ	3	1	6	3	0	0
	Anteil	15,0%	33,3%	10,0%	15,8%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,522	-	-	1,000
Eth+aP+Pe	Σ	1	0	11	2	1	0
	Anteil	5,0%	0,0%	18,3%	10,5%	33,3%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,057	-	-	1,000
Eth+aP+Mhept	Σ	1	0	11	2	1	0
	Anteil	5,0%	0,0%	18,3%	10,5%	33,3%	0,0%
	p-Wert	-	-	0,083	-	-	1,000
Sex	Σ	6	0	19	1	0	41
	Anteil	30,0%	0,0%	31,7%	5,3%	0,0%	95,3%
	p-Wert	-	-	0,002	-	-	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

8.2.2.6 FALLENFANGEXPERIMENT 2012B

(I) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Fallenfangexperiment 2012b-1

Mit den im Fallenfangexperiment 2012b-1 verwendeten Substanzen wurden neben *T. formicarius* auch dessen potentielle Beutetiere *L. varius* und *T. signatum* erfasst. Die Fangergebnisse der Zielarten sind in Tabelle 95 zusammengefasst. Der Nachweis der Ameisenbunkkäfer war im Versuchsjahr 2012 im Vergleich zu den Vorjahren jedoch sehr gering, so dass ein signifikanter Nachweis einer Reaktion auf die Testsubstanzen nicht erfasst werden konnte (Tabelle 95). Eine nach Geschlechtern differenzierte Auswertung ergab, dass ausschließlich weibliche Ameisenbunkkäfer erfasst wurden, sich die Fangzahlen jedoch nicht signifikant unterschieden (Tabelle 96). Neben einem Nachweis mit dem Sexowit® wurde *T. formicarius* in Testvarianten nachgewiesen, welche einen *exo-Brevicom*in Dispenser enthielten (Tabelle 95).

Tabelle 95: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Th. for.	Lep. var	T. sign.
	ALM (p-Wert)	0,377	< 0,001	< 0,001
Null	Σ	1	42	7
	Anteil	20,0%	2,3%	1,8%
endoB	Σ	0	63	3
	Anteil	0,0%	3,4%	0,8%
	p-Wert	-	0,632	0,430
endoB+Non	Σ	0	78	5
	Anteil	0,0%	4,2%	1,3%
	p-Wert	-	0,365	0,906
endoB+Non+Na	Σ	0	36	3
	Anteil	0,0%	2,0%	0,8%
	p-Wert	-	0,780	0,498
exoB	Σ	1	435	14
	Anteil	20,0%	23,6%	3,5%
	p-Wert	-	< 0,001	0,025
exoB+Non	Σ	1	369	7
	Anteil	20,0%	20,0%	1,8%
	p-Wert	-	< 0,001	0,996
exoB+Non+Na	Σ	0	129	11
	Anteil	0,0%	7,0%	2,8%
	p-Wert	-	0,154	0,701
Sex	Σ	2	12	18
	Anteil	40,0%	0,7%	4,5%
	p-Wert	-	0,149	0,037
Eth	Σ	0	678	330
	Anteil	0,0%	36,8%	82,9%
	p-Wert	-	< 0,001	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Tabelle 96: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	endoB	endoB+ Non	endoB+ Non+Na	exoB	exoB+ Non	exoB+ Non+Na	Sex	Eth
Männchen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
p-Wert ♂	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Weibchen	1	0	0	0	1	1	0	2	0
p-Wert ♀	-	-	-	-	-	-	-	-	-
p-Wert ♂-♀	0,423	1,000	1,000	1,000	0,423	0,423	1,000	0,252	1,000

Die potentielle Beuteart *L. varius* zeigte neben der bereits bekannten Reaktion auf Ethanol (Fallenfangexperiment 2010 und Fallenfangexperiment 2011b) einen signifikanten Anflug auf die von Francke et al. (1979) beschriebene arteigene Pheromonkomponente *exo-Brevicomin*. Der *exo-Brevicomin*-Dispenser erreichte jedoch nur 64,2 % der Fangleistung des Ethanols. Die Zugabe des ebenso durch Francke et al. (1979) beschriebenen Pheromonbausteins Nonanon-2 zum *exo-Brevicomin* reduzierte den Anflug der Eschenbastkäfer tendenziell. Signifikant konnte dieser Zusammenhang nicht beschrieben werden (Anlage Tabelle 17). Jedoch führte die Zugabe von Nonanal zur Kombination aus Nonanon-2 und *exo-Brevicomin* zu einem signifikant geringeren Anflug von *L. varius* auf *exo-Brevicomin* als auch auf die Kombination von *exo-Brevicomin* und Nonanon-2

(Anlage Tabelle 17). Auf die Testsubstanzen, welche aus einer Kombination mit *endo*-Brevicommin bestanden konnte kein Anflug von *L. varius* beobachtet werden. Auf den Sexowit® Dispenser zeigte *L. varius* wie in vorangegangenen Experimenten einen im Vergleich zur Nullvariante geringeren Anflug ($p = 0,149$; Anlage Tabelle 17).

Ähnlich wie *L. varius* zeigte auch *T. signatum* auf das *exo*-Brevicommin einen signifikanten Anflug (Tabelle 95). Jedoch erreichte der *exo*-Brevicommin Dispenser im Vergleich zum Ethanol-Dispenser nur eine Fangleistung von 4,2 % auf *T. signatum*, der die höchste Attraktivität aller verwendeten Dispenser erzeugte (Tabelle 95). Die Zugabe von Nonanon-2 zum *exo*-Brevicommin reduzierte die Fangleistung signifikant (Anlage Tabelle 22), bei weiterer Zugabe des Nonanal zeigte sich dieser Effekt nur noch tendenziell ($p = 0,062$). Im Gegensatz zu *L. varius* erzeugte der Sexowit® Dispenser eine leichte Attraktivität auf den Eichennutzholzborkenkäfer (*T. signatum*), wobei sich die Fangleistung nicht signifikant von der Fangleistung des *exo*-Brevicommins unterschied ($p = 0,870$; Anlage Tabelle 22).

Fallenfangexperiment 2012b-2

Mit dem Fallenfangexperiment 2012b-2 konnte kein Nachweis des Ameisenbunkkäfers *T. formicarius* erbracht werden. Dessen potentielle Beutearten im Eschenhabitat, *L. varius* und *T. signatum*, wurden jedoch nachgewiesen. Die stärkste Reaktion zeigten beide Arten erneut auf den Ethanol Dispenser, mit dem beide Arten signifikant aggregiert werden konnten (Tabelle 97). Für alle anderen Testsubstanzen konnten keine signifikanten Unterschiede in der Fangzahl im Vergleich zur Nullvariante beobachtet werden. Bei *L. varius* zeigte sich jedoch die Tendenz, dass dieser auf die Kombination der Testsubstanzen Decanal und Nonanal mit Linalool ($p = 0,194$) sowie Decanal und Nonanal mit alpha-Pinen ($p = 0,154$) einen stärkeren Anflug im Vergleich zu der alleinigen Kombination von Decanal und Nonanal aufwies (Anlage Tabelle 18).

Tabelle 97: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Th. for.	Lep. var	T. sign.
ALM (p-Wert)		1,000	< 0,001	< 0,001
Null	Σ	0	15	11
	Anteil	0,0%	4,0%	2,5%
Eth	Σ	0	188	339
	Anteil	0,0%	50,4%	77,2%
	p-Wert	-	< 0,001	< 0,001
De/Na	Σ	0	15	12
	Anteil	0,0%	4,0%	2,7%
	p-Wert	-	0,390	0,654
De/Na+cN	Σ	0	16	8
	Anteil	0,0%	4,3%	1,8%
	p-Wert	-	0,954	0,321
De/Na+Lo	Σ	0	40	11
	Anteil	0,0%	10,7%	2,5%
	p-Wert	-	0,194	0,473
De/Na+El	Σ	0	12	15
	Anteil	0,0%	3,2%	3,4%
	p-Wert	-	0,901	0,524
De/Na+Un	Σ	0	6	8
	Anteil	0,0%	1,6%	1,8%
	p-Wert	-	0,408	0,294
De/Na+Cop	Σ	0	18	7
	Anteil	0,0%	4,8%	1,6%
	p-Wert	-	0,467	0,391
De/Na+Lim	Σ	0	14	7
	Anteil	0,0%	3,8%	1,6%
	p-Wert	-	0,938	0,430
De/Na+aP	Σ	0	43	9
	Anteil	0,0%	11,5%	2,1%
	p-Wert	-	0,154	0,643
De/Na+Hept+Hex	Σ	0	6	12
	Anteil	0,0%	1,6%	2,7%
	p-Wert	-	0,808	0,700

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Fallenfangexperiment 2012b-1

Neben *T. formicarius* konnten im Fallenexperiment 2012b-1 weitere Prädatoren erfasst werden, welche eine Reaktion auf die ausgebrachten Testvarianten zeigten (Tabelle 98). Am häufigsten wurde der Scheinrüssler *Vincenzellus ruficollis* (Panz.) erfasst. Dieser zeigte den stärksten Anflug auf die Fallen, welche mit Nonanal bestückt waren (Tabelle 98). Die Fänge mit der Kombination *endo*-Brevicomin, Nonanon-2 und Nonanal waren im Vergleich zu allen anderen Varianten signifikant höher (Anlage Tabelle 76). Aber auch die Kombination aus *exo*-Brevicomin, Nonanon-2 und Nonanal war im Vergleich zu allen anderen Varianten (mit Ausnahme der Kombination *endo*-Brevicomin, Nonanon-2 und Nonanal) signifikant attraktiver. Im Vergleich zur Nullvariante konnte darüber hinaus eine leichte Attraktivität des *exo*-Brevicomins nachgewiesen werden, dessen Attraktivität

jedoch deutlich geringer war, als die der Varianten, welche mit Nonanal kombiniert wurden.

Tabelle 98: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Sal. plan.	Sal. ruf.	Vinz. ruf.	Rh. bip.	Rh. dep.	Xan. glab.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,001	0,433*	< 0,001	< 0,001	0,569	< 0,001	0,515
Null	Σ	0	0	2	3	0	11	11
	Anteil	0,0%	0,0%	0,6%	3,8%	0,0%	4,1%	13,4%
endoB	Σ	0	0	10	2	0	131	8
	Anteil	0,0%	0,0%	3,1%	2,6%	0,0%	48,7%	9,8%
	p-Wert	1,000	-	0,121	0,875	-	< 0,001	-
endoB+Non	Σ	0	0	10	6	0	16	9
	Anteil	0,0%	0,0%	3,1%	7,7%	0,0%	5,9%	11,0%
	p-Wert	1,000	-	0,083	0,109	-	0,356	-
endoB+Non+Na	Σ	1	0	141	16	0	2	11
	Anteil	16,7%	0,0%	43,8%	20,5%	0,0%	0,7%	13,4%
	p-Wert	0,145	-	< 0,001	0,003	-	0,399	-
exoB	Σ	0	0	14	3	0	2	3
	Anteil	0,0%	0,0%	4,3%	3,8%	0,0%	0,7%	3,7%
	p-Wert	1,000	-	0,050	0,817	-	0,320	-
exoB+Non	Σ	0	0	7	4	0	7	13
	Anteil	0,0%	0,0%	2,2%	5,1%	0,0%	2,6%	15,9%
	p-Wert	1,000	-	0,173	0,830	-	0,984	-
exoB+Non+Na	Σ	0	0	130	15	0	6	11
	Anteil	0,0%	0,0%	40,4%	19,2%	0,0%	2,2%	13,4%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	0,023	-	0,716	-
Sex	Σ	5	1	7	9	1	38	9
	Anteil	83,3%	100,0%	2,2%	11,5%	50,0%	14,1%	11,0%
	p-Wert	< 0,001	-	0,311	0,263	-	0,871	-
Eth	Σ	0	0	1	20	1	56	7
	Anteil	0,0%	0,0%	0,3%	25,6%	50,0%	20,8%	8,5%
	p-Wert	1,000	-	0,796	< 0,001	-	0,078	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Neben *V. ruficollis* wurden auch die Scheinrüssler *S. planirostris* und *S. ruficollis* erfasst, wenngleich deren Fangzahlen deutlich geringer ausfielen. Dementsprechend konnten für beide Arten kaum Reaktionen auf die Testsubstanzen beobachtet werden. Einzig für *S. planirostris* wurde erneut ein signifikanter Anflug auf den Sexowit® Dispenser nachgewiesen (vgl. Fallenfangexperiment 2010 und Fallenfangexperiment 2011a).

Ähnlich wie *V. ruficollis* wurde auch der Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* von Stoffkombinationen aggregiert, welche Nonanal enthielten (Tabelle 98). Den stärksten Anflug zeigte dieser jedoch auf den Ethanol Dispenser. Bis auf die Kombination von *endo*-Brevicom, Nonanon-2 und Nonanal erzeugten alle anderen Varianten im Vergleich zur Ethanol Variante eine signifikant geringere Attraktivität auf *R. bipustulatus* (Anlage Tabelle 60).

Auf das *endo*-Brevicom konnte ein signifikanter Anflug des räuberisch lebenden Kurzflüglers *Xantholinus glabratus* (Grav.) beobachtet werden (Tabelle 98). Die Kombination des *endo*-Brevicoms mit den Substanzen Nonanon-2 und Nonanal führte zu einer signifikanten Minderung der Attraktivität (Anlage Tabelle 76). Auch die Varianten

Sexowit® und Ethanol zeigten im Vergleich zur Nullvariante erhöhte Fangzahlen, eine signifikante Attraktivität der Testsubstanzen konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Fallenfangexperiment 2012b-2

Mit den Substanzen im Fallenfangexperiment 2012b-2 wurden weitere Prädatoren erfasst (Tabelle 99). Am häufigsten wurde dabei der Scheinrüssler *V. ruficollis* nachgewiesen. Höchst signifikant wurde dieser durch die Kombination von Decanal und Nonanal aggregiert. Eine signifikante Steigerung der Attraktivität des Decanal / Nonanal-Mixes wurde durch zusätzliche Kombination mit Linalool erzeugt ($p < 0,001$, Anlage Tabelle 77). Hingegen führte die Kombination des Decanal / Nonanal-Mixes mit (+)-Limonen zu einer signifikanten Reduktion der Attraktivität ($p = 0,009$). Analog bewirkte die Zugabe der Kombination Heptanal und Hexanal zum Decanal / Nonanal-Mix einen signifikant vermindertem Anflug von *V. ruficollis* ($p = 0,003$). Alle weiteren Kombinationen mit dem Decanal / Nonanal-Mix erzeugten keine signifikanten Änderungen der Fangleistung (Anlage Tabelle 77).

Tabelle 99: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test)

Variante		Sal. plan.	Sal. ruf.	Vinz. ruf.	Rh. bip.	Xan. glab.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,025	0,562	< 0,001	0,220	< 0,001	0,157
Null	∑	0	0	2	4	41	6
	Anteil	0,0%	0,0%	0,3%	4,1%	26,8%	6,3%
Eth	∑	2	0	8	19	46	6
	Anteil	50,0%	0,0%	1,1%	19,6%	30,1%	6,3%
	p-Wert	0,001	-	0,385	-	0,375	-
De/Na	∑	0	0	100	4	3	4
	Anteil	0,0%	0,0%	13,2%	4,1%	2,0%	4,2%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	-	< 0,001	-
De/Na+cN	∑	1	0	52	5	1	9
	Anteil	25,0%	0,0%	6,9%	5,2%	0,7%	9,4%
	p-Wert	0,349	-	< 0,001	-	< 0,001	-
De/Na+Lo	∑	0	0	204	9	10	7
	Anteil	0,0%	0,0%	26,9%	9,3%	6,5%	7,3%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	-	0,001	-
De/Na+El	∑	0	1	93	15	3	13
	Anteil	0,0%	33,3%	12,3%	15,5%	2,0%	13,5%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	-	< 0,001	-
De/Na+Un	∑	1	0	99	10	15	9
	Anteil	25,0%	0,0%	13,0%	10,3%	9,8%	9,4%
	p-Wert	0,349	-	< 0,001	-	0,003	-
De/Na+Cop	∑	0	2	68	10	22	13
	Anteil	0,0%	66,7%	9,0%	10,3%	14,4%	13,5%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	-	0,001	-
De/Na+Lim	∑	0	0	37	3	0	4
	Anteil	0,0%	0,0%	4,9%	3,1%	0,0%	4,2%
	p-Wert	1,000	-	0,001	-	< 0,001	-
De/Na+aP	∑	0	0	67	11	10	10
	Anteil	0,0%	0,0%	8,8%	11,3%	6,5%	10,4%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	-	0,009	-
De/Na+Hept+Hex	∑	0	0	29	7	2	15
	Anteil	0,0%	0,0%	3,8%	7,2%	1,3%	15,6%
	p-Wert	1,000	-	0,003	-	< 0,001	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Der Scheinrüssler *S. planirostris* zeigte analog zum Fallenfangexperiment 2010 eine leichte Aggregation auf das Ethanol (Tabelle 99), wengleich das signifikante Ergebnis aufgrund der geringen Fangzahl vorsichtig betrachtet werden sollte. Auf den Decanal / Nonanal-Mix sowie auf Kombinationen mit weiteren Substanzen zeigte *S. planirostris* jedoch keine Reaktion.

Für den Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* konnte kein signifikanter Einfluss der verwendeten Semiochemikalien auf die Fangleistung registriert werden (Tabelle 99). Tendenziell schien dieser dennoch vor allem auf das Ethanol anzufliegen. Für den Kurzflügler *X. glabratus* konnte ein signifikanter Einfluss der Testsubstanzen auf die Fangleistung der einzelnen Varianten beobachtet werden (Tabelle 99). Die stärkste Fangleistung war mit der Ethanol-Variante zu verzeichnen, jedoch war diese nicht signifikant verschieden zur Nullvariante. Hingegen zeigen die Fangergebnisse, dass alle Kombinationen mit dem Decanal / Nonanal-Mix signifikant geringere Fangleistungen erbrachten als die Nullvariante und folglich repellente Reaktionen bei *X. glabratus* erzeugten (Anlage Tabelle 79).

(3) Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten

Fallenfangexperiment 2012b-1

Tabelle 100: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>T. lin.</i>	<i>Hyl. cren.</i>	<i>Xyl. sax.</i>	<i>Xyl. dis.</i>
ALM (p-Wert)		0,433*	0,672	0,030*	0,433*
Null	∑	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
endoB	∑	0,0	2,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	28,6%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
endoB+Non	∑	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
endoB+Non+Na	∑	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
exoB	∑	0,0	2,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	28,6%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
exoB+Non	∑	0,0	1,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	14,3%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
exoB+Non+Na	∑	0,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
Sex	∑	1,0	0,0	0,0	0,0
	Anteil	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	1,000	-
Eth	∑	0,0	2,0	3,0	1,0
	Anteil	0,0%	28,6%	100,0%	100,0%
	p-Wert	-	-	0,083	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Wie in Tabelle 100 ersichtlich, wurden mit den verwendeten Testsubstanzen im Versuchszeitraum keine nennenswerten Fänge von bast- und holzbesiedelnden Insekten neben den ausgewiesenen Zielinsekten verzeichnet. Für keine der in Tabelle 100 erfassten Arten konnte eine zur Nullvariante signifikant verschiedene Fangzahl nachgewiesen werden. Einzig auf *X. saxeseni* schien, wie schon in vorherigen Experimenten beobachtet (z.B. Fallenfangexperiment 2010), Ethanol eine Lockwirkung zu induzieren.

Fallenfangexperiment 2012b-2

Auch auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-2 konnte kein nennenswerter Anflug weiterer bast- und holzbesiedelnder Insekten beobachtet werden. Analog zu vorherigen Experimenten war jedoch ein signifikanter Anflug von *X. saxeseni* auf das Ethanol zu verzeichnen (Tabelle 101).

Tabelle 101: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante	Hyl. cren.		Xyl. sax.	
	ALM (p-Wert)	0,440*	0,009	
Null	Σ	1,0		1,0
	Anteil	100,0%		25,0%
Eth	Σ	0,0		3,0
	Anteil	0,0%		75,0%
	p-Wert	-		0,007
De/Na	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+cN	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+Lo	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+El	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+Un	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+Cop	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+Lim	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+aP	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125
De/Na+Hept+Hex	Σ	0,0		0,0
	Anteil	0,0%		0,0%
	p-Wert	-		0,125

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

8.2.2.7 FALLENFANGEXPERIMENT 2012C

(I) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren**Fallenfangexperiment 2012c-1**

Die Fangergebnisse der Zielarten des auf der Buchenversuchsfläche durchgeführten Fallenfangexperimentes 2012c-1 sind in Tabelle 102 abgetragen.

Tabelle 102: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Th. for.	Th. fem.	T. dom.	T. lin.	I. typ.	I. sex.
	ALM (p-Wert)	< 0,001	0,332	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,021*
Null	Σ	3	0	10	0	0	0
	Anteil	1,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Eth	Σ	0	0	48	0	0	0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,790	-	0,144	1,000	1,000	1,000
Eth+Ver(2)	Σ	0	0	83	0	1	0
	Anteil	0,0%	0,0%	1,0%	0,0%	0,1%	0,0%
	p-Wert	0,790	-	0,008	1,000	0,287	1,000
Lin	Σ	29	2	1.469	10	1	0
	Anteil	10,9%	22,2%	18,4%	2,6%	0,1%	0,0%
	p-Wert	0,173	-	< 0,001	0,185	0,287	1,000
Lin+Ace	Σ	18	2	1.227	14	3	0
	Anteil	6,8%	22,2%	15,4%	3,7%	0,4%	0,0%
	p-Wert	0,522	-	< 0,001	0,034	0,287	1,000
Lin+Non	Σ	11	0	829	15	1	0
	Anteil	4,1%	0,0%	10,4%	3,9%	0,1%	0,0%
	p-Wert	0,444	-	< 0,001	0,001	0,287	1,000
Lin+Mhept	Σ	19	0	1.451	7	0	0
	Anteil	7,1%	0,0%	18,2%	1,8%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,022	-	< 0,001	0,437	1,000	1,000
Lin+Ver	Σ	5	0	806	11	0	0
	Anteil	1,9%	0,0%	10,1%	2,9%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,966	-	< 0,001	0,043	1,000	1,000
Lin+Ver(2)	Σ	15	0	668	3	0	0
	Anteil	5,6%	0,0%	8,4%	0,8%	0,0%	0,0%
	p-Wert	0,790	-	< 0,001	0,273	1,000	1,000
Lin+Sex	Σ	118	2	1.267	32	15	3
	Anteil	44,4%	22,2%	15,9%	8,4%	2,0%	100,0%
	p-Wert	0,006	-	< 0,001	0,033	< 0,001	0,083
Lin+Typ	Σ	48	3	106	288	713	0
	Anteil	48,0%	33,3%	1,3%	75,8%	97,1%	0,0%
	p-Wert	< 0,001	-	0,003	< 0,001	< 0,001	1,000

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Mit den verwendeten Testsubstanzen konnte sowohl der Ameisenbunkkäfer *T. femoralis*, als auch *T. formicarius* nachgewiesen werden. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen Testsubstanz und Fangzahl konnte jedoch nur für Letzteren dargestellt werden. Analog zum Fallenfangexperiment 2010 zeigte *T. formicarius* einen Anflug auf die mit Lineatin beköderten Lockstofffallen. Die Attraktivität des Lineatin auf *T. formicarius* konnte durch Zugabe von Typosan® (p = 0,001) und Sexowit® (p = 0,151) gesteigert werden (Anlage Tabelle 8). Wie in Tabelle 102 ersichtlich erzeugten beide Kombinationen zur Nullvariante

signifikant höhere Fangzahlen. Auch die Kombination aus Lineatin und 4-Methylheptan-3-ol erzeugte im Vergleich zur Nullvariante signifikant höhere Fangzahlen, was auf einen kontinuierlichen wöchentlichen Fang zurückzuführen ist. Hingegen wurden durch Zugabe von Veratrol (geringe Abgaberate) zum Lineatin die geringsten Fangzahlen von *T. formicarius* erreicht. Ein signifikanter Unterschied der Fangzahlen zwischen Lineatin per se und Lineatin in Kombination mit Veratrol konnte jedoch nicht bestätigt werden ($p = 0,187$; Anlage Tabelle 8).

Hinsichtlich einer differenzierten Reaktion der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testvarianten konnte ausschließlich für die Kombination von Lineatin mit doppeltem Veratrol eine Präferenz von den Weibchen nachgewiesen werden. Bei allen anderen Testvarianten waren keine Unterschiede im Anflug von Männchen und Weibchen zu beobachten (Tabelle 103).

Tabelle 103: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Eth	Eth+ (Ver2)	Lin	Lin+Ace	Lin+Non	Lin+Mhept	Lin+Ver	Lin+Ver(2)	Lin+Sex	Lin+Ph
Männchen	1	0	0	5	4	4	2	0	4	23	11
p-Wert ♂	-	0,597	0,597	0,125	0,187	0,093	0,437	0,597	0,625	< 0,001	0,002
Weibchen	2	0	0	24	14	7	17	5	11	95	37
p-Wert ♀	-	0,867	0,867	0,139	0,463	0,536	0,016	0,829	0,637	0,005	< 0,001
p-Wert ♂-♀	0,853	1,000	1,000	0,079	0,491	0,086	0,142	0,264	0,041	0,685	0,453

Der im Rot-Buchen-Habitat autochthone *T. domesticum* zeigte den stärksten Anflug auf Lineatin per se (Tabelle 102). Im Vergleich zur Nullvariante, zu Ethanol und zur Kombination aus Ethanol in Verbindung mit Veratrol waren die Fangzahlen des Lineatin signifikant höher. Zudem erzeugten die Kombinationen aus Lineatin mit den Substanzen Acetophenon, Nonanon-2, 4-Methylheptan-3-ol und Veratrol signifikant geringere Fangraten von *T. domesticum* als Lineatin als per se (Anlage Tabelle 28). Die Kombination aus Lineatin mit Sexowit® erzeugte zwar auch geringere Fangzahlen des Laubnutzholzborkenkäfers im Vergleich zu Lineatin als Einzeldispenser, jedoch waren die Unterschiede in den Fangzahlen nicht signifikant ($p = 0,178$; Anlage Tabelle 28). Die stärkste Reduktion im Anflug von *T. domesticum* wurde durch die Kombination von Lineatin mit dem Typosan®-Dispenser erzeugt. Der Typosan®-Dispenser reduzierte den Anflug der Laubnutzholzborkenkäfer auf den Lineatin-Dispenser um 92,78 % höchst signifikant.

Mit den Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 wurden auch potentielle Beutearten des Ameisenbuntkäfers aus den umliegenden Nadelholzbeständen aggregiert. Dazu zählten *T. lineatum*, *I. sexdentatus* und *I. typographus*. Der Buchdrucker wurde dabei am häufigsten erfasst, wurde jedoch hauptsächlich in den Fallen mit der Kombination aus Lineatin und Typosan® nachgewiesen. Aber auch die Zugabe des Sexowit®-Dispensers zum Lineatin erhöhte die Fangzahlen von *I. typographus* höchst signifikant (Anlage Tabelle 40). Der Gestreifte Nutzholzborkenkäfer (*T. lineatum*) zeigte analog zum Buchdrucker den stärksten Anflug auf die Kombination von Lineatin und Typosan® (Tabelle 102). Lineatin per se erzeugte für *T. lineatum* keine signifikante Lockwirkung, jedoch konnte eine leichte Aggregation durch die Kombination mit den Substanzen Acetophenon, Veratrol bzw. Sexowit® erzeugt werden (Tabelle 102). Auf Ethanol bzw. die Kombination von Ethanol mit Veratrol war beim gestreiften Nutzholzborkenkäfer keine Reaktion zu beobachten.

Fallenfangexperiment 2012c-2

Der Ansatz des Fallenfangexperimentes 2012c-2 war nicht darauf ausgerichtet, die Attraktivität der Testsubstanzen auf die für diese Arbeit festgelegten Zielarten zu untersuchen, dennoch wurden die Zielarten in der Auswertung berücksichtigt.

Von den Zielarten der Arbeit wurden *T. formicarius*, *I. typographus* und *T. domesticum* mit den verwendeten Testsubstanzen erfasst, jedoch konnte lediglich für letztere Art ein Einfluss der Testsubstanzen auf die Fangzahlen beschrieben werden (Tabelle 104). Auf Ethanol per se wurde keine Reaktion des Laubnutzholzborkenkäfers beobachtet, hingegen erzeugte die Kombination von Ethanol mit Essigsäure die signifikant stärkste Lockwirkung aller verwendeten Testvarianten (Anlage Tabelle 29). Weitere Testsubstanzen, die einen signifikanten Anflug von *T. domesticum* erzeugten waren die Kombinationen von Ethanol mit Chalcogran sowie mit Acetophenon in geringer Abgabemenge (Tabelle 104). Letztere erzeugte zudem eine signifikant höhere Fangleistung als die Kombination von Ethanol mit Acetophenon in höherer Abgabemenge (Anlage Tabelle 29). Hingegen war die Kombination aus Ethanol mit Chalcogran signifikant attraktiver als die Kombination von Ethanol mit Acetophenon in geringer Abgabemenge (Anlage Tabelle 29).

Tabelle 104: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test)

Variante		Th. for.	T. dom.	I. typ.
	ALM (p-Wert)	0,440	< 0,001	0,440
Null	Σ	0	0	1
	Anteil	0,0%	0,0%	100,0%
Eth	Σ	0	5	0
	Anteil	0,0%	1,6%	0,0%
	p-Wert	-	0,283	-
Eth+Ace	Σ	0	1	0
	Anteil	0,0%	0,3%	0,0%
	p-Wert	-	0,915	-
Eth(klein)+Ace	Σ	1	5	0
	Anteil	50,0%	1,6%	0,0%
	p-Wert	-	0,080	-
Eth+Ace(klein)	Σ	0	29	0
	Anteil	0,0%	9,2%	0,0%
	p-Wert	-	0,004	-
Eth+Ace+Ced	Σ	0	3	0
	Anteil	0,0%	0,9%	0,0%
	p-Wert	-	0,880	-
Eth+Ace+bC	Σ	0	7	0
	Anteil	0,0%	2,2%	0,0%
	p-Wert	-	0,099	-
Eth+Ace+Tj	Σ	0	5	0
	Anteil	0,0%	1,6%	0,0%
	p-Wert	-	0,446	-
Eth+Ac	Σ	0	220	0
	Anteil	0,0%	69,6%	0,0%
	p-Wert	-	< 0,001	-
Eth+Ch	Σ	1	35	0
	Anteil	50,0%	11,1%	0,0%
	p-Wert	-	0,003	-
Ch	Σ	0	6	0
	Anteil	0,0%	1,9%	0,0%
	p-Wert	-	0,365	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Fallenfangexperiment 2012c-1

Weitere Prädatoren, von denen eine signifikante Reaktion auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 beobachtet werden konnten waren ausschließlich die Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* und *R. depressus* (Tabelle 105). Der Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* zeigte dabei seinen stärksten Anflug auf die Kombination von Lineatin und Sexowit®, der sich jedoch nicht signifikant vom seinem gerichteten Anflug auf die Kombinationen Lineatin mit Acetophenon bzw. Nonanon-2 unterschied (Anlage Tabelle 61).

Auch *R. depressus* wurde signifikant durch die Kombination aus Lineatin und Sexowit® aggregiert (Tabelle 105). Die Fangzahlen der Kombinationen von Lineatin mit 4-Methylheptan-3-ol und Typosan® waren zwar auch signifikant verschieden von der

Nullvariante, bewegten sich allerdings auf sehr niedrigem Niveau (Tabelle 105). Signifikante Unterschiede in der Attraktivität der drei für *R. depressus* attraktiven Stoffkombinationen ließen sich dennoch nicht erkennen (Anlage Tabelle 68).

Tabelle 105: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012c-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test)

Variante		<i>Sal. plan.</i>	<i>Sal. ruf.</i>	<i>Vinz. ruf.</i>	<i>Ne. el.</i>	<i>Rh. bip.</i>	<i>Rh. dep.</i>	<i>Rh. disp.</i>	<i>Staph.</i>
	ALM (p-Wert)	0,126	0,346	0,722	0,081	0,003	0,023	0,681	0,373
Null	Σ	0	0	0	0	1	0	0	5
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	0,0%	0,0%	6,3%
Eth	Σ	0	0	1	1	1	0	0	5
	Anteil	0,0%	0,0%	20,0%	3,2%	1,1%	0,0%	0,0%	6,3%
	p-Wert	-	-	-	-	0,952	1,000	-	-
Eth+Ver(2)	Σ	3	2	0	3	6	2	0	6
	Anteil	37,5%	40,0%	0,0%	9,7%	6,7%	6,5%	0,0%	7,6%
	p-Wert	-	-	-	-	0,544	0,617	-	-
Lin	Σ	2	0	1	3	6	0	0	11
	Anteil	25,0%	0,0%	20,0%	9,7%	6,7%	0,0%	0,0%	13,9%
	p-Wert	-	-	-	-	0,671	1,000	-	-
Lin+Ace	Σ	0	1	0	2	14	0	1	4
	Anteil	0,0%	20,0%	0,0%	6,5%	15,6%	0,0%	25,0%	5,1%
	p-Wert	-	-	-	-	0,043	1,000	-	-
Lin+Non	Σ	0	1	1	1	15	0	0	8
	Anteil	0,0%	20,0%	20,0%	3,2%	16,7%	0,0%	0,0%	10,1%
	p-Wert	-	-	-	-	0,001	1,000	-	-
Lin+Mhept	Σ	0	1	0	4	6	2	0	8
	Anteil	0,0%	20,0%	0,0%	12,9%	6,7%	6,5%	0,0%	10,1%
	p-Wert	-	-	-	-	0,598	0,038	-	-
Lin+Ver	Σ	0	0	1	0	5	6	1	12
	Anteil	0,0%	0,0%	20,0%	0,0%	5,6%	19,4%	25,0%	15,2%
	p-Wert	-	-	-	-	0,736	0,169	-	-
Lin+Ver(2)	Σ	1	0	1	2	10	3	0	9
	Anteil	12,5%	0,0%	20,0%	6,5%	11,1%	9,7%	0,0%	11,4%
	p-Wert	-	-	-	-	0,342	0,307	-	-
Lin+Sex	Σ	2	0	0	5	20	14	1	5
	Anteil	25,0%	0,0%	0,0%	16,1%	22,2%	45,2%	25,0%	6,3%
	p-Wert	-	-	-	-	0,006	0,008	-	-
Lin+Typ	Σ	0	0	0	10	6	4	1	6
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	32,3%	6,7%	12,9%	25,0%	7,6%
	p-Wert	-	-	-	-	0,422	0,024	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Fallenfangexperiment 2012c-2

Ein signifikanter Anflug auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-2 konnte von den Arten *S. ruficollis*, *N. elongatum* und *R. bipustulatus* beobachtet werden (Tabelle 106). Den stärksten gerichteten Anflug zeigte dabei *N. elongatum* auf die Standardvariante Chalcogran (Tabelle 106). Die Kombination des Chalcogran mit Ethanol führte zu einer höchst signifikanten Reduzierung der Fangzahlen (Anlage Tabelle 54). Ein signifikanter Nachweis mit den übrigen Testvarianten des Experimentes konnte nicht beobachtet werden. Auch der Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* zeigte einen signifikanten Anflug auf die Varianten Chalcogran und Chalcogran in Kombination mit Ethanol. Tendenziell regierte dieser jedoch stärker auf die Kombination aus Chalcogran und

Ethanol als auf Chalcogran per se ($p = 0,249$; Anlage Tabelle 62). Der Anflug des Scheinrüsslers *S. ruficollis* auf die Kombination von Ethanol und Chalcogran war hingegen signifikant höher als der Anflug auf alle anderen Testvarianten (Anlage Tabelle 75)

Tabelle 106: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012c-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher's-LSD-Test)

Variante		Sal. ruf.	Vinz. ruf.	Ne. el.	Rh. bip.	Rh. dep.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,001	0,440	< 0,001	< 0,001	0,440	0,536
Null	∑	0	0	0	1	0	12
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	2,6%	0,0%	8,2%
Eth	∑	1	0	3	0	1	5
	Anteil	7,1%	0,0%	0,9%	0,0%	100,0%	3,4%
	p-Wert	0,232	-	0,566	0,566	-	-
Eth+Ace	∑	1	0	3	2	0	14
	Anteil	7,1%	0,0%	0,9%	5,1%	0,0%	9,6%
	p-Wert	0,549	-	0,163	0,934	-	-
Eth(klein)+Ace	∑	0	0	4	1	0	10
	Anteil	0,0%	0,0%	1,3%	2,6%	0,0%	6,8%
	p-Wert	1,000	-	0,217	0,861	-	-
Eth+Ace(klein)	∑	4	0	2	1	0	10
	Anteil	28,6%	0,0%	0,6%	2,6%	0,0%	6,8%
	p-Wert	0,185	-	0,621	1,000	-	-
Eth+Ace+Ced	∑	0	0	6	1	0	19
	Anteil	0,0%	0,0%	1,9%	2,6%	0,0%	13,0%
	p-Wert	1,000	-	0,108	0,889	-	-
Eth+Ace+bC	∑	1	1	5	0	0	12
	Anteil	7,1%	50,0%	1,6%	0,0%	0,0%	8,2%
	p-Wert	1,000	-	0,108	0,566	-	-
Eth+Ace+Tj	∑	0	0	5	2	0	17
	Anteil	0,0%	0,0%	1,6%	5,1%	0,0%	11,6%
	p-Wert	1,000	-	0,355	1,000	-	-
Eth+Ac	∑	2	1	1	5	0	20
	Anteil	14,3%	50,0%	0,3%	12,8%	0,0%	13,7%
	p-Wert	0,351	-	0,824	0,085	-	-
Eth+Ch	∑	5	0	85	17	0	13
	Anteil	35,7%	0,0%	26,9%	43,6%	0,0%	8,9%
	p-Wert	< 0,001	-	< 0,001	< 0,001	-	-
Ch	∑	0	0	202	9	0	14
	Anteil	0,0%	0,0%	63,9%	23,1%	0,0%	9,6%
	p-Wert	1,000	-	< 0,001	0,007	-	-

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

(3) Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten

Fallenfangexperiment 2012c-1

Auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 konnte ein gerichteter Anflug der Arten *X. germanus* und *P. chalcographus* nachgewiesen werden (Tabelle 107). *X. germanus* zeigte den stärksten Anflug auf die Kombination von Lineatin mit Acetophenon (Tabelle 107). Darüber hinaus waren auch die Kombinationen von Lineatin mit Nonanon-2 und mit 4-Methylheptan-3-ol aggregierend. Auf Lineatin per se konnte keine Lockwirkung nachgewiesen werden. Signifikante Unterschiede in der Fangzahl zwischen Lineatin und

dessen aggregierenden Kombinationen ließen sich lediglich für die Kombination von Lineatin mit Nonanon-2 nachweisen (Anlage Tabelle 95).

Tabelle 107: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Xyl. sax.</i>	<i>Xyl. disp.</i>	<i>Xyl. mo.</i>	<i>Xylo. germ.</i>	<i>T. bicol.</i>	<i>Hyl. derm.</i>	<i>P. ch.</i>
	ALM (p-Wert)	0,080	0,053	0,440*	0,018	0,604	0,543	< 0,001
Null	∑	0	0	0	0	0	0	0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Eth	∑	10	0	0	2	0	3	0
	Anteil	5,6%	0,0%	0,0%	4,2%	0,0%	4,8%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,411	-	-	1,000
Eth+Ver(2)	∑	0	1	0	1	3	0	0
	Anteil	0,0%	3,2%	0,0%	2,1%	17,6%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,521	-	-	1,000
Lin	∑	16	14	0	3	1	4	0
	Anteil	9,0%	45,2%	0,0%	6,3%	5,9%	6,5%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,167	-	-	1,000
Lin+Ace	∑	29	3	0	13	2	2	0
	Anteil	16,4%	9,7%	0,0%	27,1%	11,8%	3,2%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,011	-	-	1,000
Lin+Non	∑	32	0	0	9	2	1	0
	Anteil	18,1%	0,0%	0,0%	18,8%	11,8%	1,6%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,001	-	-	1,000
Lin+Mhept	∑	27	3	0	6	6	5	0
	Anteil	15,3%	9,7%	0,0%	12,5%	35,3%	8,1%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,008	-	-	1,000
Lin+Ver	∑	28	2	0	3	0	1	0
	Anteil	15,8%	6,5%	0,0%	6,3%	0,0%	1,6%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,311	-	-	1,000
Lin+Ver(2)	∑	15	2	0	5	1	0	0
	Anteil	8,5%	6,5%	0,0%	10,4%	5,9%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	0,404	-	-	1,000
Lin+Sex	∑	9	6	0	5	1	43	2
	Anteil	5,1%	19,4%	0,0%	10,4%	5,9%	69,4%	3,4%
	p-Wert	-	-	-	0,241	-	-	0,107
Lin+Typ	∑	11	0	3	1	1	3	56
	Anteil	6,2%	0,0%	100,0%	2,1%	5,9%	4,8%	96,6%
	p-Wert	-	-	-	0,706	-	-	< 0,001

∑ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Die Nadelholz besiedelnde Art *P. chalcographus* wurde nahezu ausschließlich mit der Kombination aus Lineatin und Typosan® erfasst und nachgewiesen (Tabelle 107). Die Art *X. saxeseni* wurde insgesamt zwar am häufigsten erfasst, ein signifikanter Einfluss der Testvarianten auf die Fangzahlen konnte jedoch nicht bestätigt werden. Auch der verstärkte Nachweis des Werftkäfers (*H. dermestoides*) auf die Kombination von Lineatin und Sexowit® muss nach statistischer Prüfung als zufällig beschrieben werden.

Fallenfangexperiment 2012c-2

Mit dem Fallenfangexperiment 2012c-2 konnte ein signifikanter Anflug von *X. germanus*, *P. chalcographus*, *H. dermestoides* sowie *Cryphalus abietis* auf die Testsubstanzen erfasst werden (Tabelle 108). Am häufigsten wurde die Art *X. germanus* erfasst, welche, im

Gegensatz zum im Frühjahr durchgeführten Fallenfangexperiment 2012c-1, höchst signifikant auf Ethanol als Einzelsubstanz anflug (Tabelle 108).

Tabelle 108: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test)

Variante		<i>Xylo. germ.</i>	<i>Hyl. dermat.</i>	<i>Cry. abi.</i>	<i>P. ch.</i>
	ALM (p-Wert)	< 0,001	0,009	0,001	< 0,001
Null	Σ	3	0	0	1
	Anteil	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%
Eth	Σ	219	0	6	3
	Anteil	11,3%	0,0%	6,2%	0,2%
	p-Wert	< 0,001	1,000	0,368	0,871
Eth+Ace	Σ	161	0	8	3
	Anteil	8,3%	0,0%	8,2%	0,2%
	p-Wert	< 0,001	1,000	0,204	0,843
Eth(klein)+Ace	Σ	72	0	12	3
	Anteil	3,7%	0,0%	12,4%	0,2%
	p-Wert	< 0,001	1,000	0,043	0,075
Eth+Ace(klein)	Σ	200	1	4	3
	Anteil	10,3%	33,3%	4,1%	0,2%
	p-Wert	< 0,001	0,125	0,646	1,000
Eth+Ace+Ced	Σ	132	0	22	0
	Anteil	6,8%	0,0%	22,7%	0,0%
	p-Wert	< 0,001	1,000	0,133	1,000
Eth+Ace+bC	Σ	189	0	19	2
	Anteil	9,7%	0,0%	19,6%	0,2%
	p-Wert	< 0,001	1,000	0,006	0,909
Eth+Ace+Tj	Σ	144	0	19	2
	Anteil	7,4%	0,0%	19,6%	0,2%
	p-Wert	< 0,001	1,000	< 0,001	0,909
Eth+Ac	Σ	672	2	8	0
	Anteil	34,6%	66,7%	8,2%	0,0%
	p-Wert	< 0,001	< 0,001	0,204	1,000
Eth+Ch	Σ	148	0	2	222
	Anteil	7,6%	0,0%	2,1%	17,7%
	p-Wert	< 0,001	1,000	0,486	< 0,001
Ch	Σ	5	0	0	1.012
	Anteil	0,3%	0,0%	0,0%	80,9%
	p-Wert	1,000	1,000	1,000	< 0,001

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum,
Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Durch die Kombination des Ethanol mit Essigsäure konnte die Fangrate von *X. germanus* um 206,85 % gesteigert werden ($p < 0,001$; Anlage Tabelle 96). Alle anderen Kombinationen mit Ethanol führten zu einem reduzierten Anflug von *X. germanus*. Signifikant konnte der Rückgang der Fangzahlen für die Kombinationen Ethanol mit Acetophenon und beta-Cedren, mit Acetophenon und beta-Caryophyllen, mit Acetophenon und Thujopsen sowie durch Kombination des Ethanol mit Chalcogran beschrieben werden (Anlage Tabelle 96). Hingegen konnte für keine der Substanzen (beta-Cedren, beta-Caryophyllen, Thujopsen) ein signifikanter Effekt bei der Zugabe zur Kombination aus Ethanol und Acetophenon nachgewiesen werden. Das Chalcogran per se war für *X. germanus* die unattraktivste aller verwendeten Testvarianten und erzeugte keine Lockwirkung. Die Kombination von Ethanol mit Acetophenon führte zwar auch zu reduzierten Fangzahlen, jedoch konnte dieser Rückgang nicht als signifikant beschrieben

werden. Eine Reduktion der Abgabemenge des Ethanols bei gleichbleibender Abgabemenge des Acetophenons führte jedoch zu signifikant niedrigeren Fangzahlen von *X. germanus* ($p < 0,001$). Hingegen konnte keine signifikante Erhöhung der Fangzahlen durch Reduktion der Acetophenon-Abgabemenge bei konstanter Abgaberate des Ethanols beschrieben werden – tendenziell war dieser Effekt jedoch zu verzeichnen ($p = 0,578$; Anlage Tabelle 96).

Der Werftkäfer *H. dermestoides* wurde insgesamt mit nur sehr wenigen Individuen erfasst, dennoch konnte eine Attraktivität der Kombination von Ethanol mit Essigsäure nachgewiesen werden (Tabelle 108).

Die Art *C. abietis* zeigte einen signifikanten Anflug auf die Kombinationen von Ethanol und Acetophenon mit beta-Caryophyllen sowie mit Thujopsen. Wobei letztgenannte Kombination auch einen signifikanten Anstieg der Fangzahlen zur Kombination aus Ethanol und Acetophenon erkennen ließ (Anlage Tabelle 107). Eine Attraktivität der Kombination aus Ethanol und Acetophenon per se konnte nicht beobachtet werden. Ein etwas schwächerer, aber dennoch zur Nullvariante leicht signifikant erhöhter Anflug, konnte zudem auf die Kombination aus Ethanol (in kleiner Abgaberate) mit Acetophenon beobachtet werden (Tabelle 108).

Vom Kupferstecher *P. chalcographus* wurde, wie zu erwarten, der stärkste Anflug auf das Chalcogran als Einzelsubstanz beobachtet (Tabelle 108). Die Zugabe von Ethanol zu Chalcogran führte zu einem deutlichen Rückgang der Fangzahlen ($p < 0,001$; Anlage Tabelle 99). Auf die übrigen Ethanol-Testvarianten konnte kein zur Nullvariante signifikant verschiedener Anflug beobachtet werden.

8.2.2.8 FALLENFANGEXPERIMENT 2012D

(I) Reaktion von *Thanasimus spec.* und potentiellen Beutetieren

Mit dem Fallenfangexperiment 2012d auf der Eichenversuchsfläche konnte keine der Zielarten mit einem signifikanten Anflug auf die Testsubstanzen beobachtet werden (Tabelle 109). Der verhältnismäßig stärkste Anflug auf die Testsubstanzen wurde von *S. intricatus* beobachtet. Dieser wurde im Vergleich zur Nullvariante tendenziell häufiger mit der Ethanol-Variante sowie mit Kombinationen von Ethanol und 4-Methylheptan-3-ol erfasst (Tabelle 109).

Tabelle 109: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012d (Signifikanztest zur Ethanol-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		<i>Th. for.</i>	<i>S. intri.</i>	<i>T. dom.</i>	<i>T. pin.</i>
	ALM (p-Wert)	0,051	0,552	0,433*	0,433*
Null	Σ	0	1	0	0
	Anteil	0,0%	4,3%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-
Eth	Σ	0	4	0	1
	Anteil	0,0%	17,4%	0,0%	100,0%
	p-Wert	-	-	-	-
Eth+aCub	Σ	2	1	1	0
	Anteil	16,7%	4,3%	100,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-
Eth+aCub+Mhept	Σ	5	5	0	0
	Anteil	41,7%	21,7%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-
Eth+aCub+Mhept+An	Σ	4	8	0	0
	Anteil	33,3%	34,8%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-
Eth+aCub+Mhept+dLim	Σ	1	4	0	0
	Anteil	8,3%	17,4%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum,
Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Auch der Ameisenbunkkäfer *T. formicarius* wurde häufiger in Fallen erfasst, die mit einer Kombination von Ethanol, alpha-Cubeben und 4-Methylheptan-3-ol bestückt waren. Geschlechterspezifische Unterschiede im Anflug von *T. formicarius* auf die Testvarianten konnten nicht beobachtet (Tabelle 110).

Tabelle 110: Fangzahlen der Geschlechter von *T. formicarius* auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)

<i>Thanasimus formicarius</i>	Null	Eth	Eth+aCub	Eth+aCub+ +Mhept	Eth+aCub+ Mhept+An	Eth+aCub+ Mhept+dLim
Männchen	0	0	0	0	1	0
p-Wert ♂	-	-	-	-	-	-
Weibchen	0	0	2	5	3	1
p-Wert ♀	-	-	-	-	-	-
p-Wert ♂-♀	1,000	1,000	0,218	0,051	0,477	0,356

(2) Reaktion weiterer Prädatoren

Auf die Testvarianten des Fallenfangexperimentes 2012d konnte auch von den weiteren potentiellen Prädatoren kein signifikanter Anflug beobachtet werden (Tabelle 111). Neben den Staphilindae war *R. depressus* die am häufigsten in den Fallen erfasste Art.

Tabelle 111: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012d (Signifikanztest zur Ethanol-Variante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		Sal. ruf.	Sal. plan.	Ne. el.	Rh. bip.	Rh. dep.	Staph.
	ALM (p-Wert)	0,051*	0,433*	0,136	0,072	0,431	0,516
Null	Σ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	7,3%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Eth	Σ	2,0	1,0	0,0	0,0	2,0	6,0
	Anteil	100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	25,0%	10,9%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Eth+aCub	Σ	0,0	0,0	0,0	3,0	1,0	10,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	60,0%	12,5%	18,2%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Eth+aCub+Mhept	Σ	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0	9,0
	Anteil	0,0%	0,0%	33,3%	20,0%	25,0%	16,4%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Eth+aCub+Mhept+An	Σ	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	15,0
	Anteil	0,0%	0,0%	0,0%	20,0%	12,5%	27,3%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-
Eth+aCub+Mhept+dLim	Σ	0,0	0,0	2,0	0,0	2,0	11,0
	Anteil	0,0%	0,0%	66,7%	0,0%	25,0%	20,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

(3) Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten

Tabelle 112: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012d (Signifikanztest zur Ethanol-Variante: ALM mit post hoc Fisher's LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)

Variante		T. vill.	Xyl. disp.	Xyl. mon.	Xyl. sax.	Hyl. op.
	ALM (p-Wert)	0,051*	< 0,001	0,650	0,102	0,433*
Null	Σ	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0
	Anteil	0,0%	0,0%	2,9%	7,7%	100,0%
	p-Wert	-	0,244	-	-	-
Eth	Σ	0,0	1,0	8,0	4,0	0,0
	Anteil	0,0%	14,3%	22,9%	30,8%	0,0%
	p-Wert	-	-	-	-	-
Eth+aCub	Σ	2,0	6,0	12,0	4,0	0,0
	Anteil	100,0%	85,7%	34,3%	30,8%	0,0%
	p-Wert	-	< 0,001	-	-	-
Eth+aCub+Mhept	Σ	0,0	0,0	5,0	1,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	14,3%	7,7%	0,0%
	p-Wert	-	0,244	-	-	-
Eth+aCub+Mhept+An	Σ	0,0	0,0	5,0	3,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	14,3%	23,1%	0,0%
	p-Wert	-	0,244	-	-	-
Eth+aCub+Mhept+dLim	Σ	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0
	Anteil	0,0%	0,0%	11,4%	0,0%	0,0%
	p-Wert	-	0,244	-	-	-

Σ = absolute Fangzahl pro Fallenvariante über den gesamten Versuchszeitraum, Anteil = prozentuale Fangleistung der Variante

Von der holzbesiedelnden Borkenkäferart *X. dispar* konnte ein signifikanter Unterschied im Anflug auf die im Fallenfangexperiment 2012d getesteten Substanzen erfasst werden. Folglich konnte von der Kombination aus Ethanol und alpha-Cubeben, im Vergleich zu Ethanol als Einzelsubstanz, eine Attraktivität auf *X. dispar* nachgewiesen werden (Tabelle 112). Auch von *X. monographus* konnte der stärkste Anflug auf die Kombination von Ethanol und alpha-Cubeben beobachtet werden, wenngleich keine signifikanten Unterschiede im Anflug auf die einzelnen Testsubstanzen nachgewiesen werden konnten (Tabelle 112).

8.3 SAISONALES AUFTRETEN DER ARTEN IN DEN LAUBWALDHABITATEN

8.3.1 *THANASIMUS FORMICARIUS* UND POTENTIELLE BEUTETIERE

In den Abbildung 60 bis 62 ist das saisonale Auftreten von *T. formicarius* und dessen potentiellen Beutetieren auf den Versuchsflächen von 2010 (Eschenversuchsfläche, Eichenversuchsfläche und Rot-Buchenversuchsfläche) dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* im Eschenhabitat und im Buchenhabitat schon ab 30.03.2010 erfasst werden konnte. Im Eichenhabitat hingegen konnten die ersten *T. formicarius* erst ab dem 04.05.2010 und damit etwa einen Monat später als auf den anderen beiden Versuchsflächen nachgewiesen werden. Zum Leerungstermin am 04.05.2010 konnte jedoch auf allen Versuchsflächen das Frühjahrsmaximum im Schwärmverhalten von *T. formicarius* festgestellt werden. Nach dem ersten Maximum wurden auf allen Versuchsflächen nachlassende Fangzahlen verzeichnet. Ab Anfang Juni stiegen die Fangzahlen von *T. formicarius* erneut an.

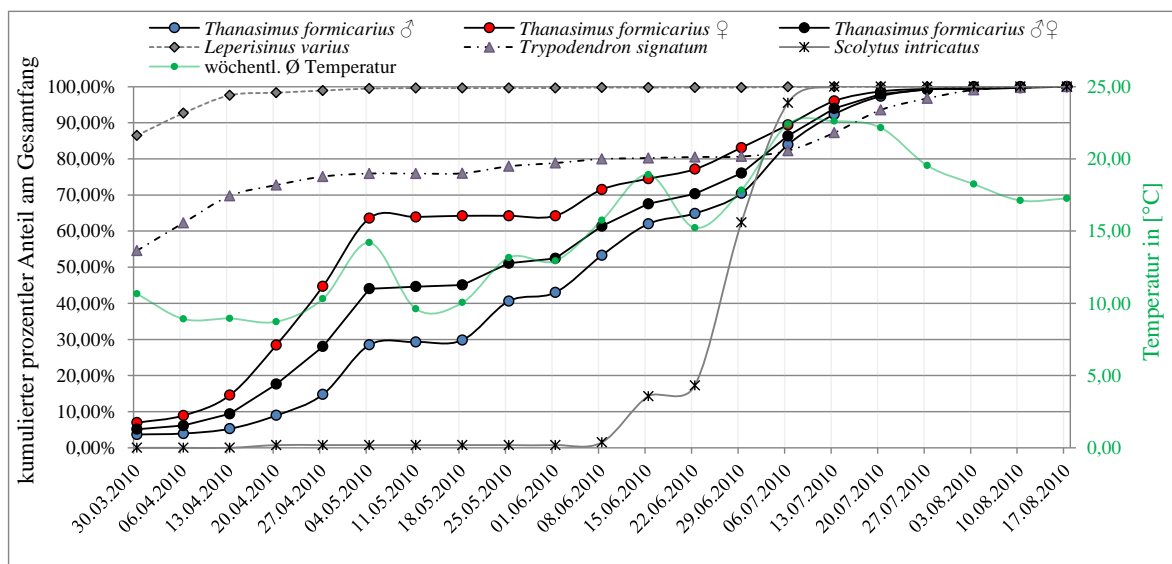


Abbildung 60: Saisonales Auftreten von *T. formicarius* und dessen potentiellen Beutetieren im Eschenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetische Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)

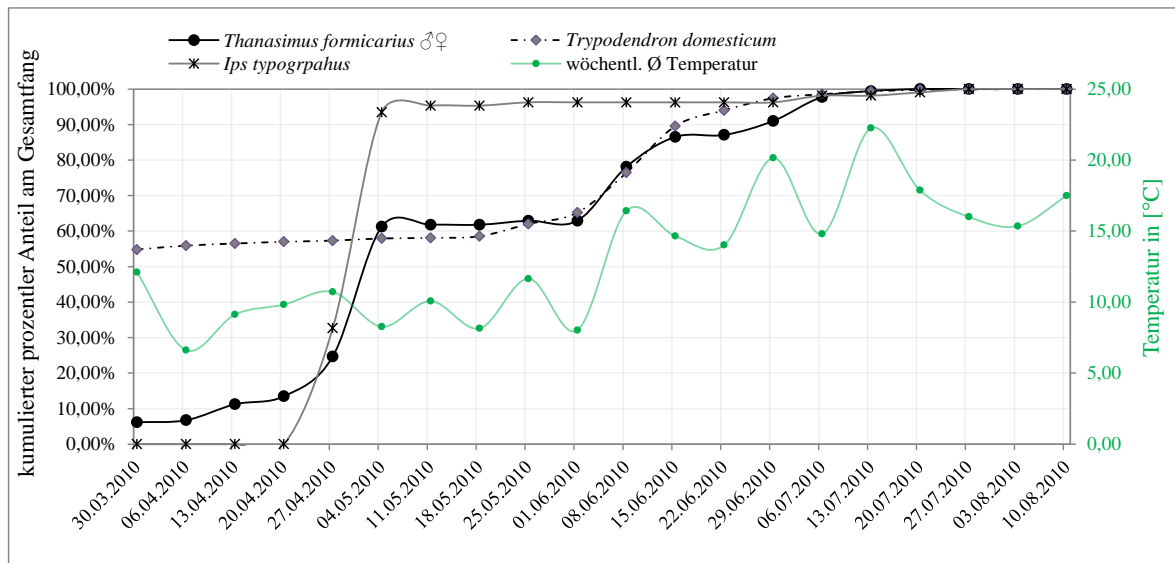


Abbildung 61: Saisonales Auftreten von *T. formicarius* und dessen potentiellen Beutetieren im Rot-Buchenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)

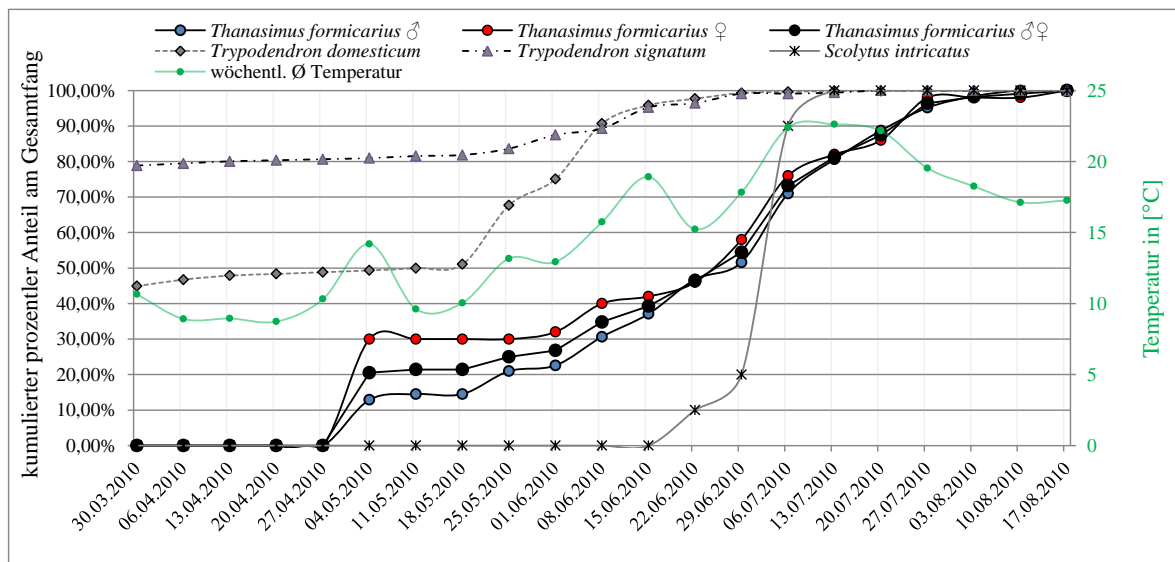


Abbildung 62: Saisonales Auftreten von *T. formicarius* und dessen potentiellen Beutetieren im Eichenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)

Auf der Eschenversuchsfläche und der Eichenversuchsfläche erfolgte eine nach Geschlechtern differenzierte Aufnahme der Fänge von *T. formicarius* (Abbildung 60 und Abbildung 62). Dabei wird deutlich, dass zum Frühjahrsmaximum (04.05.2010) der kumulierte prozentuale Anteil an weiblichen Käfern, deutlich über dem Anteil der männlichen Käfer liegt. Beispielsweise wurden auf der Eschenversuchsfläche zum 04.05.2010 bereits 63,6 % aller im Versuchszeitraum nachgewiesenen *T. formicarius* ♀♀ erfasst, bei den *T. formicarius* ♂♂ waren es zu diesem Zeitpunkt 28,5 %. Auf der Eichenversuchsfläche lag der kumulierte Anteil an *T. formicarius* ♀ zum 04.05.2010 bei 30,0 % und der der *T. formicarius* ♂ bei 12,9 %. In der Summe (♂♂+♀♀) betrachtet

wurden auf der Eschenversuchsfläche zum Zeitpunkt des ersten Schwarmmaximums (04.05.2012) 44,1 %, auf der Buchenversuchsfläche 61,2 % und auf der Eichenversuchsfläche 20,5 % aller *T. formicarius* erfasst. Entsprechend dem zu diesem Zeitpunkt geringen kumulierten Anteil von *T. formicarius* ♂♀ auf der Eichenversuchsfläche, war der prozentuale Anteil der während der Sommermonate Juni bis Juli aggregierten Ameisenbuntkäfer im Vergleich zu den anderen Versuchsflächen deutlich höher. An den Fangtagen vom 01.06.2010 bis 27.07.2010 wurden auf der Eichenversuchsfläche 69,6 %, auf der Buchenversuchsfläche 37,1 % und auf der Eschenversuchsfläche 46,9 % der *T. formicarius* Fänge registriert.

Die potentiellen Beutetiere von *T. formicarius* zeigte saisonal ein wesentlich begrenzteres Auftreten. Beispielsweise wurden vom Eschenbastkäfer *L. varius* während der ersten drei Leerungstermine, und damit vor dem Schwarmmaximum des Ameisenbuntkäfers, bereits 97,6 % der Individuen erfasst (Abbildung 60). Ein ähnliches Schwärmverhalten zeigte *T. signatum*, von dem nach den ersten drei Leerungsterminen auf der Eschenversuchsfläche bereits 69,8 % aller Individuen aggregiert wurden. Ein zweites kleineres Maximum im Schwärmverhalten wurde auf der Eschenversuchsfläche im Juli erfasst (Abbildung 60). Auch auf der Eichenversuchsfläche konnte an den ersten drei Leerungsterminen bereits ein großer Anteil an *T. signatum* nachgewiesen werden (80,1 %; Abbildung 62), im Juli wurden nur noch 0,9 % der *T. signatum* erfasst. Auch von *T. domesticum* wurde bereits Anfang April ein Großteil des jährlichen Gesamtfanges registriert. Auf der Buchenversuchsfläche wurden beispielsweise am 06.04.2012 bereits 55,9 % der Gesamtfangzahl erreicht, auf der Eichenversuchsfläche waren es zu diesem Zeitpunkt 46,7 % (Abbildung 61 und Abbildung 62). Auf beiden Versuchsflächen zeigte *T. domesticum* von Ende Mai bis Ende Juni ein zweites Schwarmmaximum, so dass Ende Juni nahezu 100 % der Gesamtfangzahl erreicht waren. Die auf der Buchenversuchsfläche erfassten *I. typographus* zeigten als einzige Borkenkäferart eine direkte Synchronisation mit dem Frühjahrsschwarmmaximum von *T. formicarius* (Abbildung 61).

Eine der potenziellen Beutearten von *T. formicarius*, welche hauptsächlich über die Sommermonate erfasst werden konnte war *S. intricatus*. Entsprechend wurde *S. intricatus* auf der Eichen- und Eschenversuchsfläche ab Ende Juni nachgewiesen und 100 % der Individuen bis Mitte Juli registriert (Abbildung 60 und Abbildung 62).

Ein zu den synthetischen Lockstoffen differenziertes Schwärmverhalten zeigten *T. formicarius* und *L. varius* auf von *L. varius* besiedelte Eschenhölzer (Abbildung 63).

Entgegen den beobachteten Fangzahlen von *L. varius* mit synthetischen Lockstoffen auf der Eschenversuchsfläche (Abbildung 60), konnte mit dem natürlichen Pheromonbouquet von *L. varius* auch bis Anfang Mai noch sehr starke Lockwirkung auf selbigen induziert werden (Abbildung 63). In den zwei Wochen nach Einhängen des besiedelten Eschenholzes wurden 90,5 % der angeflogenen *L. varius* erfasst. Der Anflug der Eschenbastkäfer auf die nPhero-Fallen war synchronisiert mit dem Frühjahrsmaximum der Ameisenbuntkäferfänge. Auch das sommerliche Maximum im Schwarm von *T. formicarius* konnte auf die besiedelten Eschenhölzer beobachtet werden und war synchronisiert mit einem geringen Anflug von *L. varius* (Abbildung 63). Sich im mit *L. varius* besiedelten Eschenholz entwickelte Larven des Ameisenbuntkäfers konnten ab Anfang Juli erfasst werden.

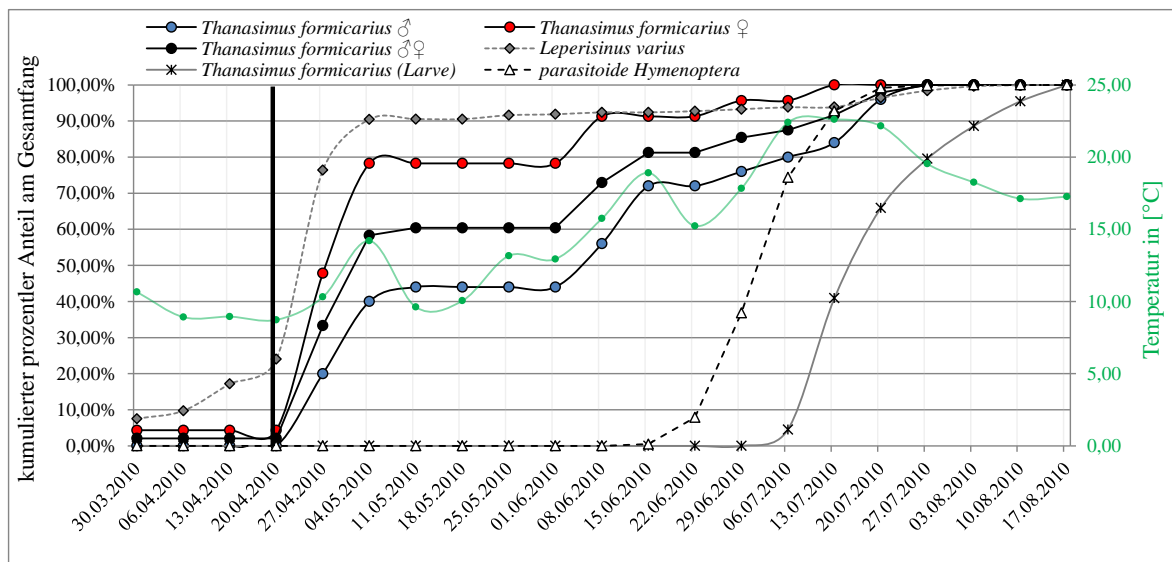


Abbildung 63: Anflug von *T. formicarius*, *L. varius* und parasitoiden Hymenoptera auf mit *L. varius* besiedelte Eschenhölzer im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen aus den nPhero-Fallen im Fallenfangexperiment 2010 auf der Eschenversuchsfläche; schwarze vertikale Linie symbolisiert den Zeitpunkt der Aktivierung der nPhero-Fallen mit den besiedelten Eschenhölzern)

Darüber hinaus konnte ab Ende Juli ein starker Anflug von parasitoiden Hymenopteren (vgl. Kapitel 8.2.1.1) auf das besiedelte Eschenholz erfasst werden – etwa zwei Wochen bevor die ersten *Thanasimus*-Larven das Eschenholzstück verließen (Abbildung 63). Der Schwärmverlauf der parasitoiden Hymenopteren verlief damit etwa synchron (mit zweiwöchigem Vorlauf) zum Anteil der *Thanasimus*-Larven, die das Eschenholz verlassen haben.

8.3.2 WEITERE PRÄDATOREN SOWIE BAST- UND HOLZBESIEDELNDE INSEKTEN

Um Dopplungen in den Darstellungen zu vermeiden, wurden die saisonalen Verläufe im Auftreten der Prädatoren und deren Beutearten nur für das Habitat erfasst, in welchem die höchste Individuenanzahl erfasst werden konnte. Die folgenden Darstellungen sind daher keine Darstellungen der Abundanz der Arten in den Untersuchungshabitaten.

Im Eschenhabitat wurden im Versuchsjahr 2010 die Scheinrüssler *S. ruficollis* und *S. planirostris* als weitere potentielle Borkenkäferprädatoren erfasst. Von beiden Arten schien im Frühjahr eher *S. ruficollis* zu dominieren. Bis Anfang Juni wurden beide Arten dann kontinuierlich erfasst. Nach einem Rückgang der Fangzahlen im Juni konnte für beide Arten ab Mitte Juli der stärkste Flug beobachtet werden (Abbildung 64). Ein ähnlicher Flugverlauf wurde auch für *X. saxeseni* beobachtet. Hingegen zeigten *X. monographus* und *H. crenatus* zwei ausgeprägte Schwärmphasen, die erste Ende April, in der nahezu die Hälfte aller erfassten Individuen nachgewiesen wurde, und die zweite im Juni (Abbildung 64).

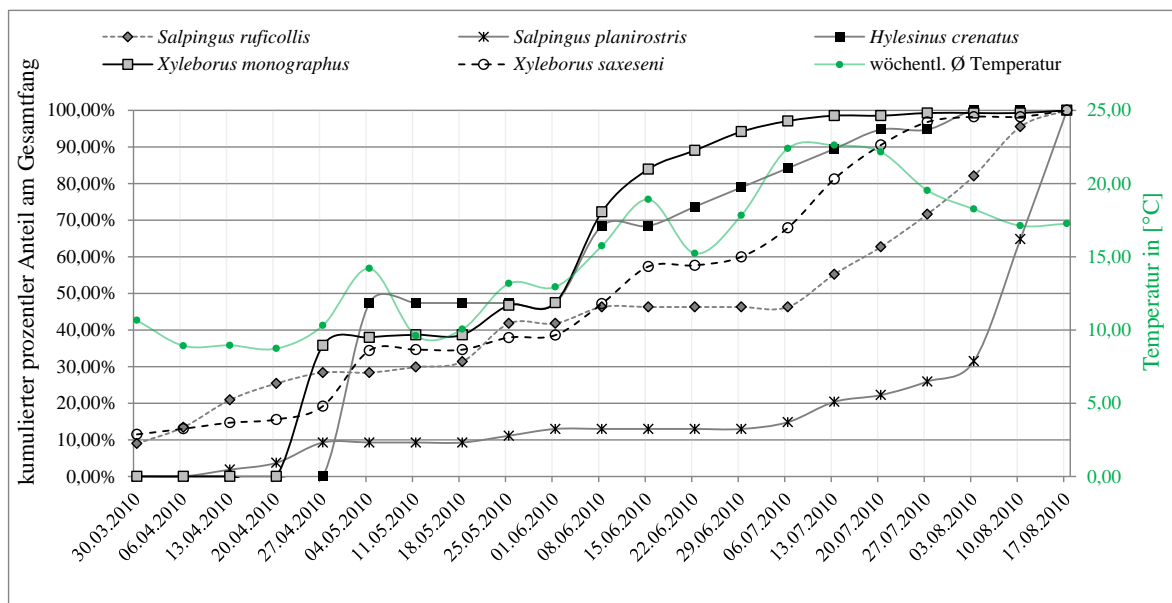


Abbildung 64: Saisonales Auftreten von weiteren Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnden Insekten im Eschenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)

Im Rot-Buchenhabitat konnte eine gute Synchronisation im Schwärmverlauf von *R. dispar* und *X. germanus* beobachtet werden (Abbildung 65). Beide zeigten eine ausgeprägte Schwärmphase ab Anfang Juni bis Mitte Juli. Ende April erreichte im Rot-Buchenhabitat eine Vielzahl von bast- und holzbesiedelnden Insekten ihr erstes Schwarmmaximum mit einem Nachweis von 70-80 % der über den Jahresverlauf erfassten Individuenanzahl. Dies

waren *H. dermestoides*, *P. chalcographus* und *T. bicolor*. Aber auch *R. bipustulatus* erreicht zu diesem Zeitpunkt ein erstes Schwarmmaximum. Zudem konnte dieser bereits ab Ende März in erhöhter Individuendichte erfasst werden (Abbildung 65). Ein zweites weniger intensiveres Schwärmverhalten der letztgenannten Arten, mit Ausnahme von *H. dermestoides*, wurde im Juni erfasst. Die Flugzeit von *H. dermestoides* war hingegen schon Ende Mai abgeschlossen.

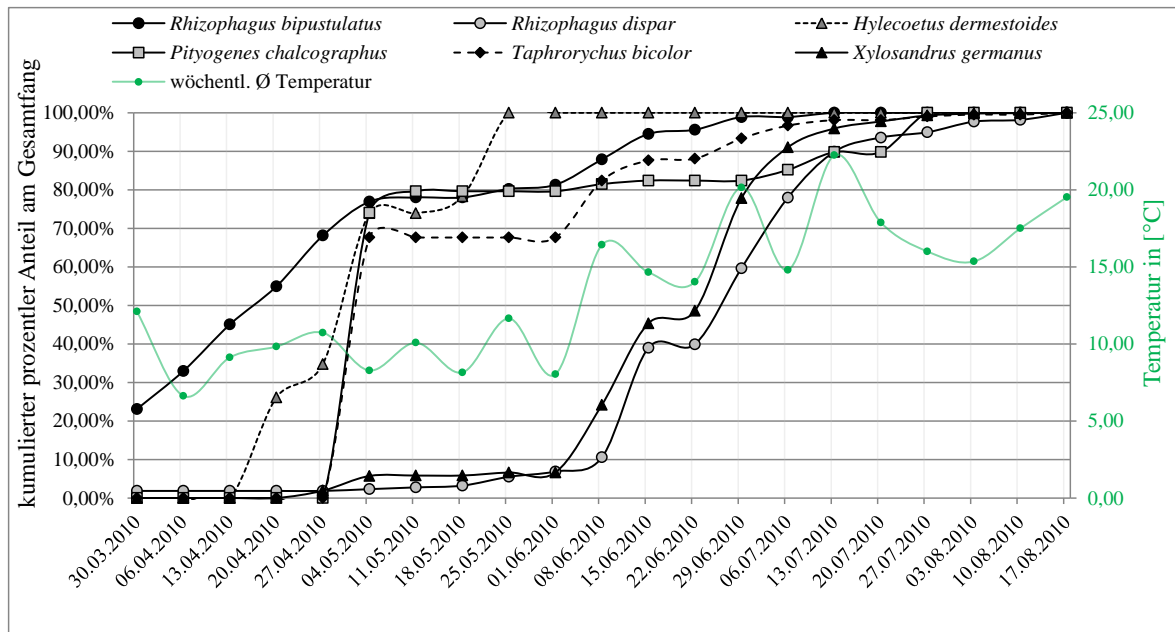


Abbildung 65: Saisonales Auftreten von weiteren Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnden Insekten im Rot-Buchenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)

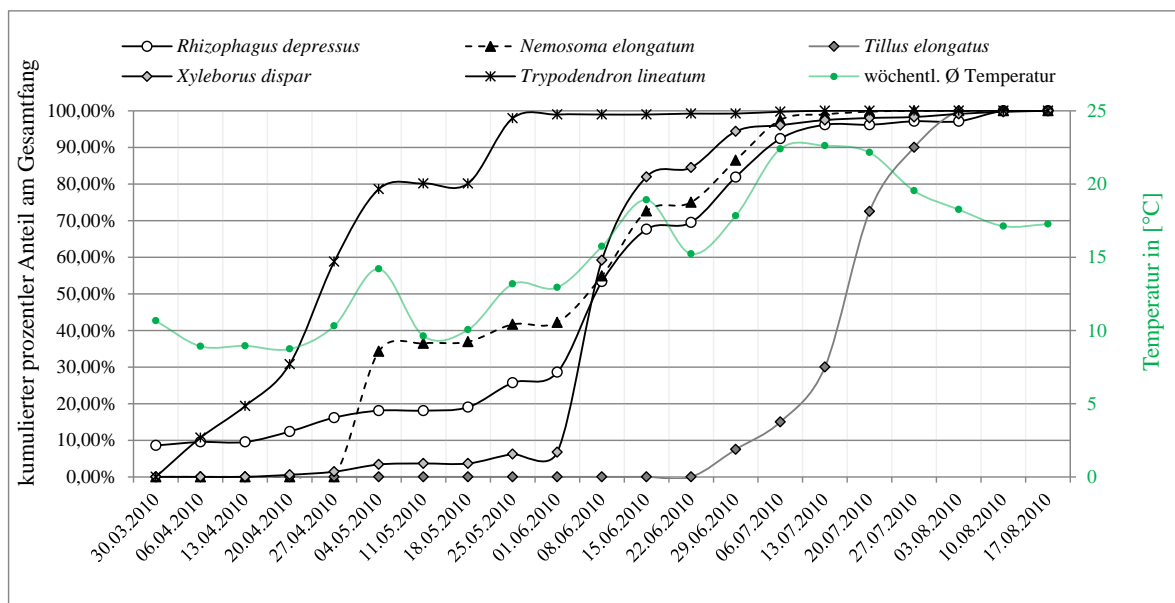


Abbildung 66: Saisonales Auftreten von weiteren Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnden Insekten im Eichenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)

Eine der Prädatorarten, welche im Eichenhabitat bereits zu Beginn der Aufnahmen erfasst wurde, war *R. depressus* (Abbildung 66). Der intensivste Flug von *R. depressus* wurde jedoch im Juni erfasst und war während dieser Zeit mit dem Flug von *X. dispar* synchronisiert. Zwei Arten, welche Anfang Mai bereits ihr erstes Schwarmmaximum erreichten waren *N. elongatum* und *T. lineatum*. Wobei die Hauptschwärmphase von *N. elongatum* im Juni beobachtet werden konnte. Eine potentielle Prädatorart, welche erst sehr spät im Jahresverlauf beobachtet wurde war *T. elongatus*, dessen Auftreten sich hauptsächlich auf den Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte Juli konzentrierte (Abbildung 66).

8.4 DISKUSSION

8.4.1 WIRKUNG DER GETESTETEN SEMIOCHEMIKALIEN AUF BAST- UND HOLZBESIEDELNDE INSEKTEN

8.4.1.1 OLFAKTORISCHE REAKTIONEN DER ZIELINSEKTEN

Trypodendron domesticum L.

In der Literatur wurde *T. domesticum* bislang überwiegend als Sekundärschädling beschrieben, jedoch deuten Erkenntnisse von Grégoire et al. (2001) darauf hin, dass dieser auch als Primärschädling auftreten kann. Wie in Petercord (2006) beschrieben, induzieren Ethanolemissionen und eine genau definierte Holzfeuchte den Befall der Buchen mit *T. domesticum* – Bedingungen welche an vitalen Buchen nicht vorhanden sind. Petercord (2006) stellt daher die These auf, dass Nekrosen und Gewebeverletzungen die durch Befall der Buchen mit der Buchenwollschildlaus *Cryptococcus fagisuga* LIND entstanden sind zu Ethanolemissionen an Buchen führen können, welche wiederum eine Aggregation von *T. domesticum* induzieren. Wie Klimetzek et al. (1980) beschreiben, werden eine Vielzahl von Ambrosiakäfern durch Ethanol Ausdünstungen angelockt, welche in Fermentationsprozessen des Holzes entstehen und den bruttauglichen Charakter des Holzes charakterisieren. Auch in den eigenen Untersuchungen konnte eine aggregierende Wirkung des Ethanol auf *T. domesticum* nachgewiesen werden. Dies bestätigt die bisherigen Ergebnisse der Aggregationswirkung des Ethanols von Kerck (1972), Klimetzek et al. (1980), Ramisch (1986) und Bouget et al. (2009). Ergänzend dazu konnten auch Klimetzek et al. (1986) und Byers (1992) mit ansteigenden Abgaberraten des Ethanols eine zunehmende Attraktivität auf *T. domesticum* nachweisen. In den eigenen Untersuchungen

erhöhte die Zugabe von Essigsäure zum Ethanol die Fangrate von *T. domesticum* im Vergleich zu reinem Ethanol um ein Vielfaches. Dies war der erste Nachweis einer Attraktivität der Essigsäure auf *T. domesticum*. In den chemischen Analysen konnte die Essigsäure im Bohrmehl von *T. domesticum* nachgewiesen werden und könnte vermutlich aus Fermentationsprozessen des Buchenholzes stammen.

Der jedoch absolut betrachtet stärkste Aggregationseffekt in den eigenen Untersuchungen wurde durch das Lineatin, dem Aggregationspheromon der *Trypodendron*-Arten (Mcconnell et al. 1977, Vité und Bakke 1979, Klimetzek et al. 1980), induziert. Den Eigenschaften eines Aggregationspheromons entsprechend wird das Lineatin bereits in sehr geringen Konzentrationen von *T. domesticum* wahrgenommen und wirkt aggregierend (Klimetzek et al. 1980), was dessen Funktion als Fernlockstoff entsprechen könnte. Dennoch deutet ein Vergleich des Verhältnisses der im Frühjahr erfassten *T. domesticum*-Fangzahlen von Lineatin zu Ethanol (21:1) mit den im Sommer erfassten Fangzahlen von Essigsäure + Ethanol zu Ethanol (44:1) auf eine stärkere Attraktivität der Ethanol-Essigsäure-Kombination hin.

Der Anflug von *T. domesticum* auf sein Aggregationspheromon Lineatin konnte durch habitatfremde Semiochemikalien bzw. Semiochemikalien anderer Borkenkäferarten reduziert werden. Einen deutlichen und signifikanten Rückgang der Fangzahlen erzeugten die Substanzen Nonanon-2 und Veratrol. Wobei mit steigender Abgaberate des Veratrols tendenziell auch weniger *T. domesticum* aggregiert wurden. Die repellente Reaktion auf das Veratrol scheint etwas verwunderlich, konnten Holighaus und Schütz (2006) die Emission von Veratrol doch in den für *T. domesticum* attraktiven Zersetzungsstadien an Buchenholz nachweisen. Jedoch scheint Veratrol nur die Attraktivität des Lineatins zu mindern. Die Kombination von Ethanol mit Veratrol führte, im Vergleich zu Ethanol per se, zu steigenden Fangzahlen von *T. domesticum*. Entsprechend scheint das Veratrol tatsächlich Bedeutung bei der Lokalisierung von geeignetem Brutraum für *T. domesticum* zu besitzen. Der geminderte Anflug von *T. domesticum* auf das Lineatin nach Zugabe von Nonanon-2 könnte auf eine Habitatdifferenzierung zurückzuführen sein, denn bislang ist Nonanon-2 als Teil des Pheromonbouquets von *L. varius* bekannt (Francke et al. 1979). Da beide Arten jedoch nicht um Brutraum am selben Wirtsbaum konkurrieren wäre diese Differenzierung nicht zwingend erforderlich. Vielmehr wäre zu vermuten, dass das Nonanon-2 auch an anderen, für *T. domesticum* ungeeigneten Wirtsbäumen als VOC emittiert wird, und daher eine chemoökologische Bedeutung in der Habitatdifferenzierung

besitzt. Auch die Substanzen Acetophenon und 4-Methylheptan-3-ol führten zu einem reduzierten Anflug von *T. domesticum* auf das Lineatin, der jedoch deutlich schwächer ausfiel. Der Rückgang der Fangzahlen bei der Anwesenheit von Acetophenon könnte auf eine Meidung des ebenfalls an Rot-Buche vorkommenden *T. bicolor* zurückzuführen sein. Kohnle et al. (1987) wiesen das Acetophenon als Pheromonkomponente von *T. bicolor* nach. Dennoch dürfte auch die Differenzierung des holzbesiedelnden *T. domesticum* zum bastbesiedelnden *T. bicolor* aus konkurrenzspezifischer Sicht nicht zwingend erforderlich sein. Darüber hinaus schien die Zugabe von Acetophenon in geringen Abgabemengen zum Ethanol auch eine steigenden Attraktivität für *T. domesticum* zu induzieren, was den nachgewiesenen repellenten Effekt bei Zugabe zum Lineatin fraglich erscheinen lässt. Entsprechend sind an dieser Stelle weiterführende Untersuchungen notwendig, um die Bedeutung des Acetophenon für *T. domesticum* abschließend bewerten zu können. Der Rückgang der Fangzahlen nach Zugabe des 4-Methylheptan-3-ol zum Lineatin war mit am geringsten und sollte trotz signifikantem Nachweis als unsicher bewertet werden, da beispielsweise eine Zugabe von 4-Methylheptan-3-ol zum Ethanol die Fangzahlen von *T. domesticum* erhöhte.

Den deutlichsten Rückgang des Anfluges von *T. domesticum* auf das Lineatin verursachte der für *I. typographus* konzipierte Dispenser Typowit®. Hingegen konnte ein derartiger Rückgang der Fangzahlen von *T. domesticum* nach Zugabe von Sexowit® zum Lineatin nicht beobachtet werden. Beide Dispenser (Typowit® und Sexowit®) sind handelsüblich für Borkenkäferarten aus Nadelwaldhabitaten konzipiert. Entsprechend wäre für beide Dispenser eine Meidung durch *T. domesticum* entsprechend der Nicht-Wirtsbaum-Volatil-Theorie (Borden et al. 1998) bzw. aufgrund habitatfremder Borkenkäferpheromone zu erwarten. Die repellente Wirkung von Nicht-Wirtsbaum-Volatilen ist bislang ausschließlich für Borkenkäfer an Nadelholz beschrieben worden (Borden et al. 1998, Schlyter et al. 2000, Jactel et al. 2001, Zhang und Schlyter 2003) und dient den Käfern vermutlich einer schnelleren Wirtsfindung und der Vermeidung eines Anfluges zu Nichtwirtsbäumen. Hinweise einer Wahrnehmung und Meidung der Pheromonkomponenten habitatfremder Borkenkäfer sind bislang kaum untersucht. Die interspezifischen Pheromonreaktionen sind bislang vielmehr an Arten untersucht, welche um denselben Wirtsbaum konkurrieren (z. B. Byers und Wood 1980). In den eigenen Untersuchungen ließ sich die repellente Reaktion von *T. domesticum* nur für den für das Habitat der Gemeinen Fichte (*Picea abies* L.) konzipierten Lockstoff Typowit®

nachweisen, was die Bedeutung einer evolutiv entstandenen chemoökologischen Habitatdifferenzierung von *T. domesticum* herausstellen könnte. Bei Betrachtung der naturnahen Waldgesellschaften würde ein Buchenmischwald in der montanen Stufe mit einer Durchmischung mit Fichten charakterisiert sein (Rubner et al. 1968). Eine naturnahe Mischung der Rot-Buche mit Gemeiner Kiefer ist jedoch weitaus seltener anzutreffen (Huss 1987). Entsprechend könnte der evolutionäre Druck auf *T. domesticum* in einer Wirtsbaumdifferenzierung zwischen Buche und Fichte weitaus größer gewesen sein und zur Ausbildung von Sensillen geführt haben, die *T. domesticum* eine Meidung von ungeeignetem Brutraum (in diesem Fall der Gemeinen Fichte) ermöglichen. Welche Substanzen in dem Lockstoffgemisch Typowit® den deutlichen Rückgang der Fangzahlen von *T. domesticum* bewirkten, konnte aus den durchgeführten Experimenten nicht abgeleitet werden und müsste in weiterführenden Untersuchungen analysiert werden. Aus dieser Theorie heraus nicht ganz zu erklären ist jedoch die Tendenz einer schwachen Aggregation von *T. domesticum* auf die Zugabe von Chalcogran zum Ethanol. Denn das für *P. chalcographus* als Aggregationspheromon beschriebene Chalcogran (Francke et al. 1977) hat seinen Ursprung ebenso im Fichtenhabitat. Nach Erkenntnissen von Heuer und Vité (1984) wird Chalcogran jedoch im Wirtsfindungsverhalten von vielen sekundären Borkenkäfern an Laub- und Nadelholz verwendet, was mögliche Ursache dieser Reaktion sein könnte.

Ein Anflug von *T. domesticum* auf die arteigene Pheromonkomponente 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on, welche von Francke und Heemann (1974) als lockwirksam an frischem Holz beschrieben wurde, konnte nicht erfasst werden. Unter Umständen ist dies auf die Verwendung des Ketons als Einzelsubstanz zurückzuführen, so dass synergistische Effekte der Buchen-Volatile fehlten. Dennoch, Francke (1973) konnte eine aggregierende Wirkung des 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on auf *T. domesticum* in Laborversuchen nachweisen. Jedoch bleibt zu berücksichtigen, dass die eigenen Versuche im Freiland durchgeführt wurden, und folglich mit attraktiveren Verbindungen in der Umgebung der Testsubstanz gerechnet werden muss. Zudem wurden bei den Freilandexperimenten von Francke (1973) deutlich höhere Mengen an 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on ausgebracht, als in den eigenen Untersuchungen. Entsprechend sprühte Francke (1973) die Versuchsstämme mit 250 ml 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on in wässriger Lösung ein. In den eigenen Untersuchungen wurde mit einer Abgaberate von 1,15 µl/Tag gearbeitet, die zudem von einer deutlich kleineren Fläche (der Kapillaröffnung) emittiert wurde.

***Trypodendron signatum* L.**

Auch für *T. signatum* konnte Francke (1973) das 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on als lockwirksam nachweisen. Eine Attraktivität in den durchgeführten Fallenfangexperimenten konnte, bei Verwendung des Ketons als Einzelsubstanz, auch für *T. signatum* nicht erfasst werden.

Francke (1973) stellte zudem fest, dass die Käferextrakte beider *Trypodendron*-Arten (*T. domesticum* und *T. signatum*) interspezifische Wechselwirkungen zwischen beiden Arten verursachen können. Derartige Differenzierungen sind, aufgrund der teilweisen Überschneidung ihrer Wirtsbäume, zur interspezifischen Abgrenzung essentiell.

Auch für *T. signatum* konnte eine Attraktivität des Ethanol nachgewiesen werden, welche sich durch Kombination mit Veratrol, analog zu den Ergebnissen von *T. domesticum*, signifikant steigern ließ. Die Zugabe von Nonanon-2 führte bei *T. signatum* zu einem reduzierten Anflug. Analog zu *T. domesticum* ließe sich diesbezüglich vermuten, dass das Nonanon-2 überwiegend an frisch eingeschlagenen Wirtsbäumen, welche bevorzugt von *L. varius* befallen werden, produziert wird, und damit auf ein für *T. signatum* noch ungeeignetes Brutssubstrat hinweist. Auch die Zugabe eines Volatilgemisches von Volatilen der Gemeinen Esche (beta-Caryophyllen, Linalool, Fraxidin und Nerolidol) beeinflusste die Fangleistung des Ethanols negativ. Folglich muss zumindest eine der vier Volatilkomponenten wahrgenommen worden sein und auf ein möglicherweise ungeeignetes Habitat für *T. signatum* hindeuten. Möglich wäre eine Meidung des beta-Caryophyllens oder des Linalool aufgrund einer beschriebenen Attraktivität für Antagonisten (Dicke et al. 1990, Alhmedi et al. 2010). An dieser Stelle wären weiterführende Untersuchungen notwendig, um exaktere Schlussfolgerungen treffen zu können. Eine Attraktivität eines anderen getesteten Volatils konnte nicht nachgewiesen werden. In fortführenden Untersuchungen scheint die Kombination von bisher als Einzelsubstanzen getesteten Volatilen in Kombination mit Ethanol am vielversprechendsten, um etwaige olfaktorische Bedeutungen in der Wahl des Brutssubstrates bei *T. signatum* herauszustellen. Potentielle Testsubstanzen wären in Kapitel 5.3.2 und 5.3.3 beschriebene und von den Wirtsbäumen Eiche und Esche emittierte Terpene, welche häufig auf Rindenverletzungen hindeuten und in ihrer Abgabemenge bei Borkenkäferbefall ansteigen (Steinbrecher et al. 1997, Owen und Peñuelas 2005).

Entsprechend der Erkenntnisse von Schurig et al. (1982) und Paiva und Kiesel (1985) wurde die stärkste Aggregationswirkung auf *T. signatum* durch das Aggregationspheromon Lineatin induziert. Die Bildung des Lineatin muss durch de-novo-Synthese im Käfer erfolgen, da eine Produktion unabhängig von den Wirtsinhaltsstoffen erfolgt (Anonymus 1980, S. 16). Nach Schurig et al. (1982) nutzen die *Trypodendron*-Arten jedoch nicht nur dasselbe Pheromon (Lineatin) sondern auch alle das (+)-Enantiomer, was die Bedeutung von Wirtsbaumvolatilen und deren Konzentrationen bzw. Mischungen für die zwischenartliche Abgrenzung hervorhebt. Entsprechend beschreiben Klimetzek et al. (1980) eine Trennwirkung zwischen den beiden das Laubholz besiedelnden *Trypodendron*-Arten und *T. lineatum*, welche durch das alpha-Pinen erzeugt wird. Die Zugabe von alpha-Pinen zum Lineatin führt demnach zu einem verstärkten Anflug von *T. lineatum*, reduziert jedoch den Anflug von *T. domesticum* und *T. signatum*, obwohl alpha-Pinen in den eigenen Untersuchungen als Volatil sowohl im Rot-Buchen- als auch im Eschenhabitat vermutet werden konnte. Möglicherweise sind jedoch die Emissionsraten für die Differenzierung entscheidend. Neben der Bedeutung von sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, werden aber auch arttypische akustische Stridulationssignale in der artspezifischen Aggregationswirkung vermutet (Anonymus 1980).

Erstaunlicherweise konnte auch von den Dispensern exo-Brevicom und Sexowit® eine sehr leichte Attraktivität beobachtet werden, welche jedoch sehr deutlich hinter der Aggregationswirkung des Ethanol zurückblieb. Eine Reaktion auf die beschriebenen Dispenser erscheint unschlussig, da *exo*-Brevicom als Pheromonbestandteil des Eschenbastkäfers bekannt ist (Francke et al. 1979) und folglich zu einem Zeitpunkt von *L. varius* an Esche produziert werden würde, an dem die Esche für eine Besiedlung mit *T. signatum* noch ungeeignet ist. Ebenso unschlussig erscheint die leichte Attraktivität des Sexowit®, welches industriell für das Kiefernhabitat und die Aggregation von *I. sexdentatus* konzipiert wurde. Die beobachtete Lockwirkung beider Dispenser scheint daher vielmehr auf neben den Hauptkomponenten beigemengte Bestandteile in den Dispensern (z.B. Terpene) zurückzuführen zu sein.

***Scolytus intricatus* Ratz.**

Der Eichensplintkäfer (*S. intricatus*) zeigte einen signifikant gerichteten Anflug auf Eichenhölzer, welche mit *S. intricatus* besiedelt waren, was auf durch den Fraß induzierte Volatile bzw. Pheromonkomponenten mit Attraktivität hindeutet. Nach Vrkočová et al. (2003) könnten die Substanzen 4-Methylheptan-3-ol und 4-Methylheptan-3-on zum

Pheromonsystem von *S. intricatus* gehören. Zumindest erstbenannte Substanz wurde in den durchgeführten Fallenfangexperimenten verwendet, konnte jedoch als Einzelsubstanz keine Lockwirkung bei *S. intricatus* induzieren. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch Hovorka et al. (2005), die aufgrund des Fehlens eines geschlechterspezifischen Pheromons bei *S. intricatus* zudem vermuten, dass die Aggregation überwiegend über Wirtsbaumvolatile gesteuert wird. Darüber hinaus kommt das 4-Methylheptan-3-ol in der Natur nicht als *S. intricatus* spezifische Substanz vor, sondern wird auch von *S. multistriatus*, *S. scolytus*, *S. quadripinosus* und *S. amygdali* als Pheromonkomponente genutzt (Hovorka et al. 2005).

Durch Mischungen mit Ethanol, Nonanon-2 und einem Volatilmix aus dem Eichenhabitat konnten keine synergistischen Effekte auf 4-Methylheptan-3-ol nachgewiesen werden. Eine Wiederholung letztgenannter Kombinationen wäre für abschließende Aussagen dennoch notwendig, da die Ergebnisse auf sehr geringen Fangzahlen von *S. intricatus* basieren.

Die Kombination aus Ethanol, alpha-Cubeben und 4-Methylheptan-3-ol bzw. zusätzlich beigemengtem Anisol führte zumindest tendenziell zu einer schwachen Aggregation von *S. intricatus*. Auf das in der Mischung enthaltene Ethanol konnte auch bei Verwendung als Einzelsubstanz zumindest im Versuchsjahr 2010 ein signifikanter Anflug in den durchgeführten Freilandexperimenten verzeichnet werden. Im Versuchsjahr 2012 konnte diese Aggregationswirkung des Ethanols nicht erbracht werden, obwohl im Versuchszeitraum eine starke Besiedlung von Kronenmaterial durch *S. intricatus* in der Nähe der Versuchsflächen beobachtet werden konnte. Auch Markalas und Kalapanida (1997) beschreiben die Lockwirkung des Ethanols auf *S. intricatus* als gering. Möglicherweise induzierten aber auch die in der Volatilmischung enthaltenen Substanzen alpha-Cubeben und Anisol die leichte Attraktivität. Von *S. multistriatus* ist zumindest bekannt, dass dessen Reaktion auf das Multistriatin und 4-Methylheptan-3-ol durch alpha-Cubeben synergistisch erhöht wird (Blight et al. 1983b). Hingegen vermuten Vrkočová et al. (2000) die Bildung des Anisol an Eiche als durch Käferfraß induziert, was durchaus Attraktivität auf weiter anfliegende Eichensplintkäfer erzeugen könnte.

Weitere Substanzen, von denen bei Verwendung als Einzelsubstanz eine leichte Attraktivität verzeichnet werden konnte waren das Nonanon-2 und das Veratrol. Das Veratrol wurde bislang von Holighaus und Schütz (2006) als Volatil der Rot-Buche beschrieben. Möglicherweise lässt sich diesbezüglich die Funktion des Veratrol als

Kairomon zur Wirtsfindung von *S. intricatus* beschreiben, der nach Kamp (1951) auch an Rot-Buche erfolgreich brüten kann. Vergleichbare Bedeutung könnte die leichte Attraktivität des Nonanon-2 besitzen. Das Keton ist bislang von Fracke et al. (1979) als Pheromonbestandteil von *L. varius* beschrieben worden, aber auch ein Vorkommen in der Natur als Baumvolatil wäre anzunehmen. Die Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*) gehört zwar nicht zum bekannten Wirtsspektrum von *S. intricatus*, jedoch sind *Quercus*-Arten als Wirtsbäume für *L. varius* bekannt (Lozano und Campos 1993), so dass eine interspezifische Bedeutung des Nonanon-2 erklärbar wäre. Die genaue Bedeutung beider Semiochemikalien für *S. intricatus* kann aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden.

***Leperisinus varius* Panz.**

Der Eschenbastkäfer *L. varius* zeigte eine sehr deutliche Reaktion auf Eschenhölzer, welche mit *L. varius* besiedelt waren. Folglich wären auch von *L. varius* Pheromonkomponenten oder durch Fraß induzierte Baumvolatile mit Lockwirkung zu erwarten. Auch Rudinsky und Vallo (1978) konnten eine Attraktivität von mit *L. varius* besiedelten Eschenstämmen beobachten und wiesen darüber hinaus nach, dass die Attraktivität von den weiblichen Käfern induziert wird. Hingegen berichtet Schönherr (1970) von einem stärkeren Anflug auf mit männlichen *L. varius* besiedeltes Eschenholz und vermutet die Produktion des Aggregationspheromons durch die männlichen Eschenbastkäfer.

Die einzigen Untersuchungen zur Aufklärung des Pheromonsystems von *L. varius* beschreiben Francke et al. (1979), welche die Substanzen *exo*-Brevicommin, Nonanon-2 und E-Conophthorin als männchenspezifische Pheromonbestandteile bei *L. varius* identifizieren konnten. Mit einer synthetischen Mischung aller drei Komponenten in Freilandexperimenten konnten Francke et al. (1979) eine antiaggregative Wirkung auf *L. varius* beobachten. Entsprechend den Ausführungen von Kohnle (1985) dürfte diese antiaggregative Wirkung vor allem auf das E-Conophthorin zurückzuführen sein. In den eigenen Untersuchungen konnte vom *exo*-Brevicommin eine aggregierende Wirkung auf *L. varius* nachgewiesen werden, hingegen wurde auf das *endo*-Brevicommin keine Reaktion beobachtet. Neben *L. varius* ist das *exo*-Brevicommin bislang vor allem bei rindenbrütenden Borkenkäfern am Nadelholz als olfaktorisch aktiv beschrieben worden. Entsprechend besitzt das *exo*-Brevicommin eine Funktion in der olfaktorischen Orientierung bei *D. brevicomis*, *D. frontalis* und *D. ponderosae* (Vité und Rennwick 1971, Coke et al. 1977, Byers und Wood 1980, Conn et al. 1983).

Die Attraktivität des *exo*-Brevicommin war jedoch tendenziell geringer als die des Ethanols. Auch für Ethanol konnte bei Verwendung als Einzelsubstanz analog zu Kohnle (1985) eine Aggregation von *L. varius* nachgewiesen werden. Klimetzek et al. (1986) konnten darüber hinaus einen synergistischen Effekt von niedrigen Ethanolabgaberraten in Kombination mit dem *exo*-Brevicommin nachweisen, wohingegen hohe Ethanolemissionen den Anflug auf das *exo*-Brevicommin reduzierten. Die Kombination von *exo*-Brevicommin mit Nonanon-2, als auch die Kombination von Ethanol mit Nonanon-2, führten zu reduzierten Fangzahlen von *L. varius*. Entsprechend dürfte von den durch Francke et al. (1979) beschriebenen Komponenten das Nonanon-2 an der antiaggregativen Wirkung auf *L. varius* beteiligt gewesen sein.

Ein weiterer signifikanter Rückgang der Fangzahlen war zu beobachten, wenn neben Nonanon-2 auch das Nonanal zum *exo*-Brevicommin hinzugefügt wurde. Ein vergleichbarer Rückgang der Fangzahlen konnte bei Zugabe des Volatilmixes aus Esche (beta-Caryophyllen, Linalool, Fraxidin und Nerolidol) zu der Kombination aus Ethanol und Nonanon-2 erfasst werden. Wie in Francke-Grosman (1963) beschrieben, sollen die Substanzen Fraxin und Fraxidin aus der Eschenrinde attraktiv auf *L. varius* wirken. Entsprechend dürfte der Rückgang der Fangzahlen auf eine oder mehrere der Substanzen beta-Caryophyllen, Linalool oder Nerolidol zurückzuführen sein. Eine alleinige Verwendung des Volatilmixes erzeugte jedoch in der Tendenz höhere Fangzahlen als die Nullvariante, so dass sich vermutlich die Kombination des Volatilmixes mit den Substanzen Ethanol und Nonanon-2 als unpassend für *L. varius* darstellte.

Von den verwendeten Dispensern war neben Ethanol und *exo*-Brevicommin einzig der Lineatin-Dispenser in der Lage, eine Aggregation von *L. varius* zu erzeugen. Die Attraktivität des Dispensers dürfte jedoch weniger auf das darin enthaltene Lineatin, als vielmehr auf das vermutlich darin enthaltene Ethanol zurückzuführen sein. Der Stressmarker Decanal (Ebel et al. 1995), als auch das vermeintliche Abwehrvolatil der Esche, das cis-Nerolidol (Li und Zhang 2006, Li et al. 2007), erzeugten in der Tendenz höhere Fangzahlen von *L. varius*. Um deren Bedeutung weiter zu differenzieren wären weitere Untersuchungen (z. B. Kombination beider Substanzen mit Ethanol) notwendig.

Die olfaktorische Abgrenzung von *L. varius* zu Nadelwaldhabitaten konnte mit den Dispensern Sexowit® und Chalcogran erfasst werden. Mit beiden Dispensern wurden signifikant niedrigere Fangzahlen als mit der Nullvariante erfasst. Welche der in den Dispensern enthaltenen Substanzen diese repellente Reaktion induzierte ist nicht bekannt.

Darüber hinaus erzeugte aber auch das Veratrol einen im Vergleich zur Nullvariante signifikant niedrigeren Anflug von *L. varius*. In geringen Abgaberraten reduzierte es auch den Anflug von *L. varius* auf das Ethanol signifikant. Mit hohen Veratrol-Abgabemengen egalisierte sich dieser Effekt. Da das Veratrol von Holighaus und Schütz (2006) als Volatil der Rot-Buche beschrieben wurde, könnte dessen Meidung auf eine Habitatdifferenzierung innerhalb der Laubwälder für *L. varius* hindeuten.

***Taphrorychus bicolor* Hrbst.**

Auch *T. bicolor* konnte scheinbar von Rot-Buchenstücken, welche mit *T. bicolor* befallen waren, signifikant aggregiert werden. Der scheinbare Anflug von *T. bicolor* auf die besiedelten Holzstücke war jedoch sehr schwach, so dass die Vermutung, die erfassten Käfer könnten aus den bereits besiedelten Holzstücken stammen, in weiterführenden Untersuchungen abschließend geklärt werden müsste. Ein Nachweis von *T. bicolor* im Rot-Buchenhabitat konnte im Versuchsjahr 2010 mit den Substanzen Ethanol und Lineatin erbracht werden, wobei die Lockwirkung des Lineatin signifikant stärker war, als die des Ethanols. Die Aggregation mit Lineatin wird jedoch vermutlich auf im Lineatin-Dispenser enthaltene Volatile zurückzuführen sein und nicht auf Lineatin per se. Im Versuchsjahr 2012 konnte die Aggregation auf Ethanol und Lineatin nicht bestätigt werden. Eine von Kohnle et al. (1987) identifizierte Komponente des Pheromonsystems von *T. bicolor*, das Acetophenon, wurde in Freilandexperimenten als Einzelsubstanz und in Kombination mit Ethanol, als auch in Kombination mit Lineatin verwendet – ohne einen *T. bicolor* zu erfassen. Auch die Zugabe von beta-Caryophyllen, welches in höheren relativen Anteilen an mit *T. bicolor* besiedelten Buchenstammstücken nachgewiesen werden konnte, brachte in Kombination mit Ethanol und Acetophenon keinen Nachweis von *T. bicolor*. Das für *T. bicolor* beschriebene Aggregationspheromon Bicolorin (2-Ethyl-1,5-dimethyl-6,8-dioxabicyclo[3.2.1]octan) (Francke et al. 1995, Francke et al. 1996) konnte für die Experimente leider nicht beschafft werden – vermutlich wäre damit ein stärkerer Nachweis von *T. bicolor* mit Fallenfängen im untersuchten Rot-Buchenhabitat gelungen. An auf der Versuchsfläche eingeschlagenen Rot-Buchenhölzern konnte die Abundanz von *T. bicolor* im Untersuchungshabitat zumindest erfasst werden (vgl. Kapitel 8).

8.4.1.2 OLFAKTORISCHE REAKTIONEN WEITERER BAST- UND HOLZBESIEDELNDER ARTEN

Auf den **Versuchsflächen mit stockendem Laubholz** wurden Reaktionen auf die getesteten Semiochemikalien von *X. monographus*, *X. saxeseni*, *X. dispar* und *X. germanus*

nachgewiesen. Die Arten *X. saxeseni* und *X. germanus* zeigten dabei eine gerichtete Reaktion auf das Ethanol. Auch Klimetzek et al. (1986) konnte für die Ambrosiakäfer *X. saxeseni*, *X. dispar* und *X. germanus* gerichtete Reaktionen auf Ethanol nachweisen. Vergleichbare Ergebnisse einer Ethanolattraktivität für letztgenannte drei Ambrosiakäfer finden sich in Untersuchungen von Roling und Kearby (1975), Markalaas und Kalapanida (1997), Rauleder (2003) und Ranger et al. (2010). In den eigenen Untersuchungen war die Reaktion von *X. dispar* auf Ethanol nur in Kombination mit alpha-Cubeben zu beobachten.

Die Arten *X. monographus*, *X. saxeseni* und *X. dispar* zeigten alle einen im Vergleich zum Ethanol signifikant stärkeren Anflug auf den Lineatin-Dispenser. Hingegen zeigte *X. germanus* einen signifikant stärkeren Anflug auf das Ethanol, was die von Klimetzek et al. (1986) aufgestellte These, einer Ethanol Affinität bei *X. germanus*, weiter bekräftigt. Der Lineatin-Dispenser ist ursprünglich für *Trypodendron* spec. konzipiert, die wie *X. monographus*, *X. saxeseni* und *X. dispar* auch zu den Ambrosiazüchtern gehören (Francke und Heemann 1974, Kühnholz et al. 2001, Gaubicher et al. 2002). Entsprechend müssen eine oder mehrere Komponenten in dem Dispenser enthalten gewesen sein, die scheinbar nicht nur auf *Trypodendron* spec. lockwirksam sind, sondern auch auf weitere Ambrosiazüchter. Denkbar wären hier beispielsweise pilzbürtige Substanzen, welche in Natura eine Bruttauglichkeit des Wirtsbaumes anzeigen könnten, oder Ethanol. Möglich wäre jedoch auch die kairomonale Orientierung am Aggregationslockstoff Lineatin der *Trypodendron*-Arten, welcher im Laubholzhabitat als auch im Nadelwaldhabitat autochthon ist und bruttaugliche Habitate für weitere Ambrosiakäfer anzeigen könnte, da Lineatin bei der Besiedlung als Aggregationspheromon abgegeben wird. Vergleichbare Ergebnisse konnte auch Martikainen (2001) erfassen, der neben *X. dispar* eine Vielzahl weiterer Borkenkäfer in den Lineatin-Fallen beobachtete. Martikainen (2001) vermutet neben einer kairomonalen Wirkung des Lineatins die Aggregationsleistung des Ethanols, da in seinen Versuchen das Lineatin in Ethanol verdünnt wurde. Ähnlich waren auch die Dispenser der eigenen Untersuchungen konzipiert, jedoch induzierte Ethanol als Einzelsubstanz eine schwächere Aggregationswirkung, wenngleich die Abgaberraten von Ethanol in Kapillaren und Ethanol im Lineatin-Dispenser verschieden hoch gewesen sein dürften.

Klimetzek et al. (1986) beschreiben, dass die Abhängigkeit zum Ethanol mit generalistischer Lebensweise ansteigt und benennt diesbezüglich *X. germanus* sehr Ethanol affin. Auch Ranger et al. (2010), die den Anflug von *X. germanus* auf verschiedene

Stressmarker untersuchten, konnten den stärksten Aggregationseffekt ausgehend vom Ethanol nachweisen. Von Ranger et al. (2012) wird das Ethanol überdies als attraktivstes der für *X. germanus* bekannten Semiochemikalien beschrieben. Entsprechend der Ethanol Affinität von *X. germanus*, wurde ein Rückgang der Fangzahlen auf das Ethanol beobachtet, wenn Ethanol mit den Semiochemikalien Nonanon-2, einem Volatilmix aus dem Eschenhabitat (beta-Caryophyllen, Linalool, Fraxidin, Nerolidol), Veratrol, 4-Methylheptan-3-ol oder einem Volatilmix aus dem Eichenhabitat (beta-Caryophyllen, (+)-alpha-Pinen, (-)-alpha-Pinen, Limonen) kombiniert wurde. Auch Miller und Rabaglia (2009) beschreiben einen Rückgang der Attraktivität des Ethanols auf verschiedene Ambrosiakäfer, wenn dieses mit (-)-alpha-Pinen kombiniert wird. In den Ergebnissen von Gandhi et al. (2010) scheint die Kombination von alpha-Pinen und Ethanol jedoch tendenziell attraktiver als Ethanol per se. Die mit Ethanol kombinierten Semiochemikalien müssen jedoch per se keinen repellenten Charakter für *X. germanus* besitzen. Entsprechend erzeugten die Substanzen Nonanon-2 und 4-Methylheptan-3-ol in Kombination mit einem Lineatin-Dispenser eine leichte Attraktivität, welche vom Lineatin-Dispenser per se nicht nachgewiesen werden konnte. Ähnliche Effekte auf *X. germanus* werden von Dodds und Miller (2010) beschrieben, die eine gesteigerte Attraktivität von Conophthorin, welches an Fangbäumen ausgebracht war, beobachteten. Hingegen erfassten Kohnle et al. (1992) einen geminderten Anflug von *X. germanus* auf eine Kombination von Ethanol mit Conophthorin. Auch die Kombination des Lineatin-Dispensers mit Acetophenon hatte eine attraktive Wirkung auf *X. germanus*. Hingegen erzeugte die Kombination von Ethanol mit Acetophenon einen Rückgang der Fangzahlen, welcher umso stärker wurde, je höher die Abgaberate des Acetophenons bei gleichzeitiger Reduzierung der Abgaberate des Ethanols war. Als nadelwaldbürtiger Dispenser reduzierte das Chalcogran in Kombination mit Ethanol den Anflug von *X. germanus*. Auch Chalcogran per se induzierte keine Lockwirkung. Der Sexowit®-Dispenser führte hingegen zu einer leichten Aggregationsreaktion. Auch in den Untersuchungen von Gandhi et al. (2010) wurde *X. germanus* mit einem *Ips*-Lockstoff, bestehend aus Ipsdienol, Methylbutenol und cis-Verbenol erfasst, wenngleich eine Nullvariante als Referenz fehlte. Da *X. germanus* sowohl Nadelholz als auch Laubholz erfolgreich besiedelt (Henin und Versteirt 2004), scheint eine kairomonale Reaktion auf das Sexowit® auch nicht ungewöhnlich. Entsprechend könnten die darin enthaltenen Pheromonkomponenten eine erfolgreiche Überwindung der Abwehrkräfte eines Wirtsbaumes anzeigen. Darüber hinaus wäre jedoch auch eine Aggregationsreaktion auf im Sexowit® enthaltene baumbürtige Substanzen

möglich. Eine ähnlich leichte Attraktivität auf *X. germanus* erzeugten Eschenhölzer, welche mit *L. varius* besiedelt waren und Eichenhölzer welche mit *S. intricatus* besiedelt waren. Dies zeigt die Breite an Semiochemikalien, die *X. germanus* zur Lokalisierung von potentiell Brutraum wahrnimmt. Entsprechend den Aussagen von Klimetzek et al. (1986), Mustarparta (2002) und Holighaus (2012) nutzen Generalisten wie *X. germanus* ein breiteres Spektrum an Semiochemikalien zur Wirtsfindung als Spezialisten, welche meist nur auf einen Wirtsbaum spezialisiert sind. Daraus ließe sich auch die Reaktion auf den Sexowit®-Dispenser und die besiedelten Holzstücke erklären, wenngleich nicht bekannt ist, ob die Reaktion auf baumbürtige Volatile oder Pheromone erfolgte. Eine sehr starke Aggregationswirkung auf *X. germanus* wurde von der Essigsäure erfasst. Diese führte in Kombination mit Ethanol zu deutlich erhöhten Fangzahlen, die signifikant höher waren als die Fangzahlen von Ethanol per se. Essigsäure wurde in den GC-MS/EAD Untersuchungen in deutlich erhöhten Anteilen an Buchenhölzern gefunden, welche mit *X. germanus* besiedelt waren. Die genaue Entstehung der Substanz ist bislang nicht bekannt und müsste in weiteren Untersuchungen konkretisiert werden, jedoch wären analog zur Funktion als Stressmarker (Ranger et al. 2012) weitere Entstehungsursprünge möglich. Beispielsweise eine Bildung von den durch *X. germanus* kultivierten Ambrosiapilzen, eine Entstehung analog zum Ethanol in Fermentationsprozessen des Holzes oder ein durch den Fraß der Käfer im Holz produziertes und damit herbivor induziertes Volatil.

Auch *H. dermestoides* zeigte eine sehr geringe, aber dennoch signifikante Aggregation auf die Kombination von Ethanol mit Essigsäure. Eine wie von Klimetzek et al. (1986) beschriebene Attraktivität des Ethanol per se, welche als Hauptkomponenten in der olfaktorischen Wirtsfindung von *H. dermestoides* beschrieben wird, konnte jedoch nicht erfasst werden. Darüber hinaus wurde *H. dermestoides* von Lineatin aggregiert, was auf das vermeintliche Fehlen eines arteigenen Pheromons (Klimetzek et al. 1986) und die beobachtete zeitgleiche Besiedlung von Wirtsbäumen mit *Trypodendron*-Arten (Bletchly und White 1962, Podlaski 1996, Petercord 2006b) zurückgeführt werden könnte.

Für *X. saxeseni* konnte ein signifikanter Rückgang der Fangzahlen beobachtet werden, als Ethanol mit den Substanzen Nonanon-2 und einem Volatilmix aus dem Eschenhabitat (beta-Caryophyllen, Linalool, Fraxidin, Nerolidol) kombiniert wurde. Auf den Volatilmix per se zeigte *X. saxeseni* jedoch eine aggregierende Reaktion. Auf die aus dem Volatilmix stammenden Einzelsubstanzen beta-Caryophyllen, Linalool und cis-Nerolidol konnte im Fallenfangexperiment 2011a keine Reaktion beobachtet werden, was aber vermutlich auf

den Versuchszeitraum, der vor der eigentliche Schwärmperiode von *X. saxeseni* lag, zurückzuführen sein dürfte. Auch die Kombination von Veratrol mit Ethanol führte zu einem signifikant niedrigeren Anflug als Ethanol per se. Da das Veratrol nach Holighaus und Schütz (2006) an Buchenstämmen emittiert wird, die für *T. domesticum* attraktiv sind, wäre eigentlich auch eine kairomonale Wirkung auf *X. saxeseni* zu erwarten gewesen. Jedoch besitzt *X. saxeseni*, im Gegensatz zu *T. domesticum*, eine Präferenz für relativ frisch eingeschlagenes Holz (Hosking 1979, Flechtmann et al. 1999), was eine Meidung des Veratrols erklären könnte. Eine Steigerung der Fangzahlen von *X. saxeseni*, im Vergleich zu Ethanol per se, wurde durch die Kombination mit 4-Methylheptan-3-ol erfasst. Auch *X. saxeseni* kommt an vielen Wirtsbäumen sowohl an Nadelbäumen, als auch Laubbäumen vor (Eichhorn und Graf 1974, Brockerhoff et al. 2003), was, ähnlich wie bei *X. germanus*, auf eine breite Wahrnehmung verschiedener Semiochemikalien in der Wirtsbaumlokalisierung hindeuten könnte.

X. monographus zeigte eine leichte Aggregationswirkung auf das 4-Methylheptan-3-ol und das Anisol – beides Komponenten, welche aus dem Eichenhabitat in Verbindung mit *S. intricatus* bekannt sind. Aber auch der Stressmarker Decanal führte zu einer schwachen Aggregation. Die Reaktion auf die Volatile aus dem Eichenhabitat könnte auf die Präferenz von *X. monographus* für Eichenhölzer zurückzuführen sein (Schedl 1963). Da zudem vor allem frisches Holz befallen wird (Schredl 1963), wäre auch die Reaktion auf den Stressmarker Decanal zu erklären.

Auf den **Versuchsflächen mit stockendem Nadelholz (Gemeine Kiefer)** wurden signifikante Reaktionen der Arten *H. attenuatus*, *H. palliatus*, *T. lineatum*, *I. typographus*, *I. sexdentatus*, *I. acuminatus* und *T. piniperda* auf die getesteten Semiochemikalien erfasst.

Auf den als Standard in den Experimenten verwendeten Sexowit®-Dispenser reagierten neben *I. sexdentatus* die Arten *I. acuminatus*, *I. typographus*, *H. attenuatus*, *Hylurgops ligniperda* (F.) und *H. palliatus* mit einem Anflug. Den Ergebnissen von Vité et al. (1974) entsprechend müsste der Sexowit®-Dispenser das Ipsdienol als Pheromonkomponente enthalten. Das Ipsdienol wird jedoch neben *I. sexdentatus* auch von anderen Borkenkäferarten, wie *I. typographus* und *I. acuminatus* als Pheromonkomponente verwendet (Bakke et al. 1977, Bakke 1978), was die Aggregation erklären könnte. Darüber hinaus wären Aggregationswirkungen von im Dispenser enthaltenen Terpenmixturen denkbar. Zwar ist vom Ipsdienol bzw. seinem (-)-Enantiomer eine intraspezifische Abgrenzung zwischen *I. sexdentatus* und *I. acuminatus* bekannt (Kohnle et al. 1986) – ein

diesbezüglicher Nachweis konnte mit dem durchgeführten Design des Fallenfangexperimentes jedoch nicht angestrebt werden und war auch nicht Ziel der Arbeit.

Der Anflug von *I. sexdentatus* auf sein arteigenes künstlich hergestelltes Pheromonbouquet (Sexowit®) konnte durch das Acetophenon signifikant reduziert werden. Ein Rückgang mit steigender Abgaberate des Acetophenon ließ sich dabei nur in der Tendenz beobachten. Auch der Anflug von *I. acuminatus* auf den Sexowit®-Dispenser wurde mit steigender Abgaberate des Acetophenon signifikant reduziert. Darüber hinaus zeigte *T. lineatum* einen Rückgang der Fangzahlen durch Kombination von Sexowit® mit Acetophenon, der sich jedoch nicht als signifikant bestätigen ließ. Vergleichbare Ergebnisse erzielten Erbilgin et al. (2007), welche eine repellente Wirkung des Acetophenon auf den nordamerikanischen *D. brevicornis* nachweisen konnten. Konträr zeigte sich die Wirkung des Acetophenon auf *I. typographus* und den an Gemeiner Kiefer vorkommenden *H. attenuatus*, die von der Kombination aus Sexowit® und Acetophenon stärker angelockt wurden als vom Sexowit® per se. Auch die Kombination von Pheroprax® und Acetophenon induzierte signifikant höhere Fangzahlen von *I. typographus*, als Pheroprax® per se. Möglicherweise dient das Acetophenon wie in Pureswaran und Borden (2004) für nordamerikanische Borkenkäfer beschrieben, auch europäischen Borkenkäferarten zur Wirtsbaumdifferenzierung. Aufgrund der gegensätzlichen Reaktion von *I. typographus* und *I. sexdentatus* / *I. acuminatus* wäre eine Differenzierung zwischen dem Wirtsbaumtyp Kiefer und dem Wirtsbaumtyp Fichte denkbar. Alle drei Arten können nach Grüne (1979) an beiden potentiellen Wirtsbaumtypen vorkommen, dennoch könnte eine hohe Acetophenonkonzentration beispielsweise ein geeigneteres Bruthabitat für Borkenkäfer symbolisieren, welche primär die Fichte als Wirtsbaum nutzen und umgekehrt. Ein Nachweis der Abundanz von Acetophenon im Pheromonbouquet der drei letztgenannten Borkenkäfer ist jedoch bislang nicht erfolgt. Entsprechend sind die Annahmen hypothetisch, wenngleich mit den Experimenten gezeigt werden konnte, dass sowohl die Borkenkäfer als auch deren Prädatoren das Acetophenon wahrnehmen können und signifikantes Verhalten auf dieses zeigen. Jedoch scheint die Aggregation des ebenfalls an Gemeiner Kiefer heimischen *H. attenuatus* durch Acetophenon nicht mit den hergeleiteten Annahmen übereinzustimmen sondern auf eine zusätzliche Differenzierungsstrategie am Wirtsbaum Kiefer hinzudeuten. Analog zu Erbilgin et al. (1998), die Acetophenon als Teil des Antiaggregationssystems

bei *D. brevicomis* vermuten, kann diese Annahme möglicherweise auch auf *I. sexdentatus* und *I. acuminatus* übertragen werden. Aufgrund der konträren Reaktion von *I. sexdentatus* / *I. acuminatus* und *H. attenuatus* dient das Sexowit® möglicherweise zur intraspezifischen Abgrenzung der Arten am Wirtsbaum. Darüber hinaus konnte Francke-Grosmann (1963) eine Attraktivität von Acetophenon auf den an Eiche lebenden *Cerambyx cerdo* nachweisen, was eine habitatdifferenzierende Wirkung analog zur Nicht-Wirtsbaum-Theorie von Borden et al. (1998) anzeigen könnte. Insgesamt bestehen hinsichtlich der ökologischen Funktion des Acetophenon in der olfaktorischen Kommunikation europäischer Borkenkäferarten noch zu große Unsicherheiten, die weiterer Untersuchungen bedürfen. Jedoch konnte gezeigt werden, dass Acetophenon bei europäischen Borkenkäferarten ähnliche Effekte bewirken kann, wie bei deren nordamerikanischen Vertretern. Die genaue Herkunft des Acetophenons im Nadelwaldhabitat ist bislang nicht bekannt – aufgrund unterschiedlicher Verhaltensreaktionen von an einem Wirtsbaum vorkommenden Arten erscheint jedoch ein pheromonaler Ursprung nicht abwegig.

Neben Acetophenon wurden weitere potentielle Nicht-Wirtsbaum-Volatile auf einen inhibitorischen Effekt bei *I. typographus* untersucht. Ein Rückgang im Anflug auf den für *I. typographus* konzipierten Pheroprax®-Dispenser konnte jedoch keine dieser Substanzen induzieren. Hingegen führte die Kombination von cis-Nerolidol, Nonanon-2 und Undecanon-2 zu einem signifikant erhöhten Anflug auf den Pheroprax®-Dispenser. Die Substanzen sind aus dem Rot-Buchenhabitat sowie aus Eschenhabitat bekannt (vgl. Kapitel 5.3.1 und 5.3.3 sowie Francke et al. 1979). Möglicherweise hat sich im Verlauf der Evolution für *I. typographus* jedoch kein Grund ergeben, zwischen Kiefernhabitat und Eschenhabitat bzw. Kiefernhabitat und Rot-Buchenhabitat differenzieren zu müssen. Darüber hinaus wäre aufgrund der scheinbaren Attraktivität auf *I. typographus* auch ein autochthones Vorkommen der Substanzen im Fichtenhabitat möglich.

Im Gegensatz zu den im oberen Teil des Kapitels beschriebenen Reaktionen bast- und holzbesiedelnder Insekten auf den Versuchsflächen im Laubholz, konnte kaum eine Reaktion bast- und holzbesiedelnder Insekten auf das Ethanol auf der Versuchsfläche der Gemeinen Kiefer beobachtet werden. Einzig *T. lineatum* zeigte eine schwache Reaktion zum Ethanol, was den Ergebnissen von Moeck (1970) und Klimetzek et al. (1989) entspricht. Nach Schroeder und Linelöw (1988), Klimetzek et al. (1989) und Byers (1992) müssten jedoch zumindest die sekundären Borkenkäfer *T. piniperda* und *H. palliatus* eine

Reaktion auf Ethanol zeigen, die jedoch mit den eigenen Versuchen nicht nachgewiesen werden konnte. In den Versuchen von Byers (1992) wurde eine Ethanol-Abgaberate von 8,00-800,00 mg / Tag respektive einer Abgaberate in den eigenen Versuchen von 3,88 mg / Tag verwendet, was den Verdacht einer für das Kiefernhabitat zu geringen Ethanolemission verhärtet. Ausschließlich auf *T. piniperda* und *H. attenuatus* induzierte die Kombination der eigentlich für das Kiefernhabitat als allochthon vermuteten Substanz cis-Nerolidol in Kombination mit Ethanol Attraktivität. Selbiges konnte für *T. piniperda* auch von einer Kombination aus Nonanon-2 und Ethanol beschrieben werden. Beide Substanzen (cis-Nerolidol und Nonanon-2) sind aus dem Habitat der Gemeinen Esche in Zusammenhang mit dem Bastkäfer *L. varius* bekannt (vgl. Kapitel 5.3.3 und Francke et al. 1979). Die Ergebnisse deuten jedoch auf einen unspezifischen Habitatcharakter beider Semiochemikalien hin. Der Gestreifte Nutzholzborkenkäfer (*T. lineatum*) zeigte auf die Ethanol-Kombinationen mit alpha-Pinen, cis-Nerolidol, Decanal und 3-Penten-2-ol repellentes Verhalten im Vergleich zum Anflug auf die Nullvariante. Der Rückgang der *Trypodendron*-Fänge auf Ethanol-Kombinationen mit 3-Penten-2-ol könnte auf eine Nicht-Wirtsbaum-Differenzierung analog zu Borden et al. (1998) hindeuten, jedoch sind aufgrund der niedrigen Individuenzahlen weitere Experimente diesbezüglich notwendig um diese Vermutung zu bekräftigen. Den Ergebnissen von Schroeder und Lindelöw (1988) folgend wäre ein Synergismus zwischen Ethanol und alpha-Pinen zu erwarten gewesen, der zu höheren Fangzahlen von *T. lineatum*, *H. palliatus* und *T. piniperda* hätte führen müssen. Auch hier könnten die geringen Abgaberraten der eigenen Versuche dazu geführt haben, dass diese Effekte teilweise nicht sichtbar wurden. Im Vergleich nutzen Schroeder und Lindelöw (1988) Abgaberraten von Ethanol zwischen 2,4 und 3.072,0 mg / Tag sowie von (-)-alpha-Pinen zwischen 2,4 und 252,0 mg / Tag. Jedoch konnte eine leichte Reaktion von *T. lineatum* auf den Tomowit® Dispenser nachgewiesen werden, der aufgrund seiner vermuteten Komposition (Czokajlo et al. 2002) auf eine Reaktion auf alpha-Pinen hindeuten könnte. Eine sehr starke Attraktivität besaß Tomowit® jedoch, wie zu erwarten, auf *T. piniperda*. Dieser wurde zudem als einzige Borkenkäferart von den in den eigenen Experimenten verwendeten Abgaberraten von Ethanol in Kombination mit alpha-Pinen signifikant angelockt, wobei der synergistische Effekt des alpha-Pinen bestätigt werden konnte. Hingegen führte die zusätzliche Kombination von Ipsdienol, Ipsenol, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol und 4-Methylheptan-3-ol zu einer Reduktion der Fangzahlen von *T. piniperda*. Für das 4-Methylheptan-3-ol ließ sich dieser Effekt als signifikant beschreiben.

Neben *T. piniperda* wurde auch *H. palliatus* durch den Tomowit®-Dispenser aggregiert. Nach Byers (1992) wird auf *H. palliatus* mit steigenden Ethanolabgaberraten und einer synergistischen Kombination von Terpenen die höchste Attraktivität erzeugt.

Abschließend betrachtet könnten, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, die zu geringen Abgaberraten des Ethanol dazu geführt haben, dass der Nachweis der Nicht-Wirtsbaum-Theorie (induzierte Repellenz auf abundante Borkenkäferarten), welche mit Fallenfangexperiment 2012a-1 unter anderem erprobt werden sollte, nicht gelungen ist. Der mögliche Grund ist die per se zu geringe Lockwirkung des Ethanols als Grundsubstanz des Experimentes auf die im Kiefernhabitat autochthonen Borkenkäferarten.

8.4.2 WIRKUNG DER GETESTETEN SEMIOCHEMIKALIEN AUF POTENTIELLE ANTAGONISTEN DER BAST- UND HOLZBESIEDELNDEN INSEKTEN

8.4.2.1 OLFAKTORISCHE REAKTION VON *THANASIMUS* SPEC.

Von den Ameisenbuntkäfern *T. formicarius* und *T. femoralis* wurden signifikante Verhaltensreaktionen auf die getesteten Varianten nachgewiesen.

Holzstücke der Gemeinen Esche, welche mit *L. varius* besiedelt waren, erzeugten Attraktivität auf *T. formicarius*, wobei bei nach Geschlechtern differenzierter Betrachtung ein signifikanter Anflug auf die Hölzer im Vergleich zur Nullvariante nur von den Weibchen von *T. formicarius* nachgewiesen werden konnte. Auch Nakládal und Turčáni (2007) konnten *T. formicarius* als Prädator von *L. varius* identifizieren, interpretierten dessen Einfluss jedoch als sehr gering. Die eigenen Ergebnisse deuten auf einen wesentlich größeren Einfluss von *T. formicarius* hin, als bisher angenommen. Möglicherweise war das späte Einholen der Eschenhölzer bei Nakládal und Turčáni (2007) Grund für den geringen Nachweis von *T. formicarius*, der Mitte Juli möglicherweise die Brutsysteme von *L. varius* schon weitestgehend verlassen hatte. Darüber hinaus finden sich auch in den Ergebnissen von Rudinsky und Vallo (1978) Hinweise auf einen Anflug von *T. formicarius* auf Eschenholzpolter, Angaben zur Besiedlung der Eschenhölzer mit *L. varius* sowie eine Unterscheidung nach Geschlechtern bei *T. formicarius* wurde jedoch nicht erfasst. Der Nachweis der *Thanasimus*-Larven im weiteren Jahresverlauf an den Eschenholzstücken verdeutlicht zudem, dass die im Frühjahr angeflogenen Ameisenbuntkäfer das mit *L. varius* besetzte Eschenholz als attraktiv für ihr eigenes Brutgeschäft befanden. Auch in Gauss (1954) sind Beschreibungen der Abundanz von *Thanasimus*-Larven unter

Eschenrinde aufgezeichnet. Das Verlassen der Eschenholzstücke ab Anfang Juni ist möglicherweise auf die Austrocknung der Hölzer und damit ungünstigere Verpuppungsbedingungen für *T. formicarius* zurückzuführen. Zumindest kann analog zu Hui und Bakke (1997) sowie Warzeé (2005) zum Ende des nachgewiesenen Larvenstadium L3 von einer Verpuppung ausgegangen werden. Das Suchen von geeigneten Verpuppungsstellen und das damit verbundene Verlassen der Borkenkäferbrutsysteme wurde beispielsweise auch von Warzeé (2005) beobachtet. Dies ist der erste Nachweis einer tatsächlich vorhandenen Räuber-Beute-Interaktion zwischen *T. formicarius* und *L. varius*, welche neue Möglichkeiten in der Optimierung bestehender Verfahren im naturnahen Waldschutz einräumt.

Rot-Buchenhölzer, besiedelt mit *T. domesticum*, als auch Eichenhölzer besiedelt mit *S. intricatus* induzierten unter gegebenen Versuchsbedingungen scheinbar keine Attraktivität auf eine der beiden *Thanasimus*-Arten. Möglicherweise waren die verwendeten Hölzer im Vergleich zu umgebenen potentiellen Beutehabitaten zu wenig attraktiv bzw. es wurden Semiochemikalien von den Hölzern emittiert (z. B. durch vorangeschrittene Trocknung der Hölzer), welche ein unattraktives Beutehabitat für die Ameisenbunkkäfer charakterisierten.

Die deutlichste Aggregationswirkung auf *T. formicarius* konnte vom Sexowit®-Dispenser induziert werden. Dem Aggregationspheromon von *I. sexdentatus* entsprechend müssten die Komponenten Ipsdienol und kieferntypische Terpene, wie alpha-Pinen, im Dispenser enthalten sein (Vité et al. 1974, Schönherr et al. 1983). Die Reaktion von *T. formicarius* auf das Sexowit® ist auch in den Untersuchungen von Müller et al. (2008) sowie Wehnert und Müller (2012) beschrieben worden. Als Aggregationspheromon von *I. sexdentatus* dürfte das Ipsdienol bei den Ameisenbunkkäfern als Kairomon bei der Lokalisierung von Beute im Kiefernhabitat fungieren. Für *T. formicarius* konnte die Wahrnehmung des Ipsdienol durch Hansen (1983) beschrieben und durch Bakke und Kvamme (1981) in Freilandexperimenten nachgewiesen werden. Wie in den Ergebnissen von Müller et al. (2008) konnte auch eine Aggregation von *T. femoralis* auf das Sexowit® erfasst werden. Den Ergebnissen von Bakke und Kvamme (1981), Müller et al. (2008) sowie Wehnert und Müller (2012) entsprechend, sind jedoch vermutlich andere Pheromonkomponenten von größerer Bedeutung in der Beutelokalisierung für *T. femoralis* - beispielweise schienen die Dispenser Pheroprax® und Accuwit® eine höhere Lockwirkung als Sexowit® auf *T. femoralis* zu induzieren. Auf das cis-Verbenol, eine Komponente welche auch im Pheroprax® enthalten ist, zeigte *T. femoralis* in den Untersuchungen von Bakke und

Kvamme (1981) beispielsweise auch eine höhere Affinität als auf Stoffkombinationen mit Ipsdienol. Auch in den eigenen Untersuchungen wurde der stärkste Anflug von *T. femoralis* auf das Pheroprax® beobachtet. Da jedoch keine zeitgleiche Aufstellung eines Sexowit®-Dispensers erfolgte, kann kein direkter Vergleich zum Anflug auf das Sexowit® gezogen werden. In wie weit sich die beiden *Thanasimus*-Arten hinsichtlich ihrer bevorzugten Beutetiere unterscheiden ist bislang weitestgehend unbekannt. Dennoch deuten differenzierte Reaktionen auf Pheromonkomponenten ihrer Beutetiere auch auf eine differenzierte Beutewahl beider Arten hin. Möglicherweise spielen hier Substanzen wie Ipsdienol, Ipsenol oder Verbenol eine Rolle, welche von den Beutetieren auch zur intraspezifischen Kommunikation am Wirtsbaum genutzt werden.

Die Kombination von Acetophenon mit Sexowit® induzierte schwach signifikant höhere Fangzahlen von *T. formicarius*, hingegen führte eine Verdopplung der Acetophenon-Abgabemenge zu einem signifikant niedrigeren Anflug von *T. formicarius* als auf Sexowit® per se. Bei einer geschlechtsspezifischen Betrachtung fällt auf, dass der Anstieg der Fangzahlen bei der geringen Acetophenon-Konzentration auf die weiblichen *T. formicarius* zurückgeführt werden kann, die männlichen Individuen hingegen schon bei geringen Acetophenon-Konzentrationen tendenziell repellentes Verhalten zeigen. Auch *T. femoralis* reagierte schon in der geringen Acetophenon Konzentration mit repellentem Verhalten. Die genaue Bedeutung des Acetophenon im Kiefernhabitat ist bislang nicht bekannt. Dennoch deuten die Ergebnisse von Pureswaran und Borden (2004), welche Acetophenon als Volatilbestandteil nordamerikanischer *Dendroctonus*-Arten identifizierten, darauf hin, dass das Acetophenon käferbürtiger Natur sein kann und möglicherweise einer interspezifischen Kommunikation von Borkenkäferarten, welche an verschiedenen Wirtsbäumen vorkommen, dient. Aber auch von *T. bicolor* und *I. pini* ist Acetophenon als Pheromonkomponente bekannt (Kohnle et al. 1987, Pureswan et al. 2000). Auch Sullivan (2005) stellte vergleichbare Reaktionen von Cleridaen fest, wie sie in den vorliegenden Untersuchungen mit *T. formicarius* beobachtet wurden. Eine niedrige Zugabe des Acetophenon zum bekannten Kairomon führt zunächst zu einem leichten Anstieg der Fangzahlen, eine weitere Erhöhung der Abgaberate von Acetophenon hingegen zu einem Rückgang der Fangzahlen. Eine ökologische Bedeutung des Acetophenon für *T. formicarius* lässt sich daraus schwer ableiten und bedarf weiterer Untersuchungen. Beispielsweise ist ebenfalls unklar, warum *T. femoralis* deutlich

repellentes Verhalten auf das Acetophenon zeigt, sein potentiell Beutetier *I. typographus* hingegen durch das Acetophenon aggregiert wird.

Daneben konnte von den Dispensern exo-Brevicomin und endo-Brevicomin Attraktivität auf *T. formicarius* erfasst werden. Das *exo*-Brevicomin ist von Francke et al. (1979) als Teil des Pheromonsystems von *L. varius* beschrieben worden und könnte damit als Kairomon für *T. formicarius* fungieren um seine Beute zu lokalisieren. Zudem wird *exo*-Brevicomin aber auch im Nadelwaldhabitat als Pheromonkomponente vom in Europa abundanten *Dendroctonus micans* (Kugel.) beschrieben (Dickens 1978 in Anonymus 1980, Tømmerås et al. 1983). Darüber hinaus beschreiben Kohnle und Vité (1984b) *endo*-Brevicomin als Pheromonkomponente von *Dryocoetus autographus* (Ratz.) an Gemeiner Fichte. Kohnle und Vité (1984b) konnten auch eine Aggregation von *D. autographus* auf *exo*-Brevicomin nachweisen, eine Kombination beider Enantiomere reduzierte jedoch den Anflug. Neben *exo*-Brevicomin konnten auch das E-Conophorin und das Nonanon-2 als Männchen spezifische Pheromonkomponenten von *L. varius* nachgewiesen werden (Francke et al. 1979). In der Tendenz schien das Nonanon-2 jedoch zu einem reduzierten Anflug von *T. formicarius* auf *exo*- und *endo*-Brevicomin zu führen. Den Ergebnissen von Francke et al. (1979) entsprechend induzierten Kombinationen aller drei identifizierten Substanzen auch repellentes Verhalten von *L. varius*. Welche der drei Substanzen diese Effekte bei *L. varius* induzierte ist unbekannt, aus den eigenen Ergebnissen scheint jedoch Nonanon-2 Teil des Antiaggregationssystems von *L. varius* zu sein, da neben einer geminderten Attraktivität auf *T. formicarius* auch der Anflug von *L. varius* reduziert wurde. Neben *exo*-Brevicomin dürfte *T. formicarius* noch weitere Semiochemikalien zur Lokalisation von *L. varius* nutzen, welche vor allem bei weiblichen Eschenbastkäfer zu finden sein dürften. Da in der Besiedlungsdynamik von *L. varius* die Weibchen als erste am Wirtsbaum eintreffen und sich in diesen zur Anlage des Brutsystems einbohren (Løyning und Kirkendall 1999), ist das Aggregationspheromon bei den Weibchen zu vermuten. Dies bestätigen auch die Ergebnisse von Rundinsky und Vallo (1978). Entsprechende Semiochemikalien könnten möglicherweise auch eine stärkere Reaktion auf *T. formicarius* induzieren als das *exo*-Brevicomin. Eine Reaktion von *T. femoralis* konnte weder auf das *endo*- noch auf das *exo*-Brevicomin erfasst werden. Da auch kein Anflug auf Eschenhölzer, welche mit *L. varius* besiedelt waren, beobachtet werden konnte, wird *L. varius* vermutlich nicht dem Beutespektrum von *T. femoralis* zuzuordnen sein.

Darüber hinaus konnte *T. formicarius* auch mit den Dispensern Tomowit® und Lineatin aggregiert werden. Wobei die jeweiligen Fangleistungen deutlich hinter den Fangleistungen des Sexowit® zurückblieben. Auch Müller et al. (2008) konnten eine Aggregation von *T. formicarius* mit Tomowit®-Dispensern nachweisen, welche vermutlich auf darin enthaltenen Komponenten wie Ethanol, alpha-Pinen und weitere kieferntypische Monoterpene zurückgeführt werden kann (Byers et al. 1985, Klimetzek et al. 1986, Schroeder und Weslien 1994, Czokajlo und Teale 1999). Darüber hinaus beschreiben Kangas et al. (1970), Lanne et al. (1987) und Poland et al. (2003) das trans-Verbenol als Pheromonkomponente von *T. piniperda*, was ein Vorhandensein der Substanz in den Tomowit®-Dispensern wahrscheinlich macht. Die Reaktion von *T. formicarius* auf Lineatin ist ebenfalls nicht unbekannt und konnte bereits durch Zumr (1983) und Tømmerås (1988) nachgewiesen werden. Auch der Pheroprax®-Dispenser führte analog zu den Ergebnissen von Schroeder (2003) und Wehnert und Müller (2012) zu einer Aggregation von *T. formicarius*. Eine gesteigerte Attraktivität von Pheroprax® wurde durch Kombination mit Acetophenon, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol, Undecanon-2 oder Veratrol erreicht. Die Kombination von Pheroprax® mit Acetophenon führte, analog zu den Ergebnissen mit Sexowit®, vor allem bei den weiblichen *T. formicarius* zu einem erhöhtem Anflug. Ob mit doppelter Acetophenon-Abgaberate auch in Kombination mit Pheroprax® eine repellente Wirkung auf *T. formicarius* induziert werden kann blieb aufgrund des Versuchsdesigns offen und sollte in künftigen Experimenten untersucht werden. Möglicherweise lassen sich daraus Rückschlüsse ableiten, ob Acetophenon in hohen Konzentrationen per se, oder nur in Kombination mit Pheromonen von Borkenkäfern aus dem Kiefernhabitat repellentes Verhalten bewirkt. Da von den Semiochemikalien Nonanon-2, 3-Penten-2-ol und Veratrol in Kombination mit Ethanol keine erhöhte Attraktivität auf *T. formicarius* nachgewiesen werden konnten, scheinen entsprechend der Ergebnisse in Kombination mit Pheroprax®, andere im Pheroprax®-Dispenser enthaltene Substanzen synergistische Effekte mit den Semiochemikalien zu erzeugen.

Darüber hinaus wurde auch *T. femoralis* von Pheroprax® aggregiert, was die bisherigen Ergebnisse von Schroeder (2003) und Wehnert und Müller (2012) bestätigt. Auch für *T. femoralis* konnte die Attraktivität von Pheroprax® durch Kombination mit weiteren Substanzen (Acetophenon, cis-Nerolidol, 4-Methylheptan-3-ol, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol, Undecanon-2) erhöht werden, wobei die Fangzahlen deutlich stärker anstiegen als die von

T. formicarius. Beispielsweise könnte der starke Anstieg der Fangzahlen von Pheroprax® in Kombination mit Acetophenon darauf hindeuten, dass wie in Hansen (1983) beschrieben, die Qualität des Duftstoffmixes entscheidenden Charakter für die Reaktion von Ameisenbuntkäferarten haben kann. Denn eine Kombination des Acetophenons mit Sexowit® zeigte eine repellente Reaktion von *T. femoralis*, was darauf hindeuten könnte, dass die im Sexowit® enthaltenen Komponenten und die additive Kombination mit Acetophenon eine nicht schlüssige Mixtur für *T. femoralis* darstellen. Daraus bleibt allerdings fraglich, warum die vermeintlich aus Laubholzhabitaten stammenden Substanzen cis-Nerolidol, 4-Methylheptan-3-ol, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol und Undecanon-2 in Kombination mit Pheroprax® zu erhöhten Fangzahlen von *T. femoralis* führten.

Von dem als Einzelsubstanz verwendeten Ethanol konnte lediglich in einem Experiment eine Attraktivität auf *T. formicarius* nachgewiesen werden. Die Kombination von Ethanol und alpha-Pinen war nicht lockwirksam, jedoch führte die zusätzliche Kombination von 3-Penten-2-ol zu einer Aggregation von *T. formicarius*. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass die attraktive Kombination lediglich einen *T. formicarius* mehr aggregierte, als Ethanol in Kombination mit alpha-Pinen per se. Die Ergebnisse stehen damit in Widerspruch zu den Ergebnissen von Schroeder (2003), der mit einer Kombination von alpha-Pinen und Ethanol deutlich höherer Fangzahlen von *T. formicarius* induzierte als mit Pheroprax®. Ein Grund für diesen deutlichen Unterschied sind vermutlich die deutlich unterschiedlichen Abgaberraten zwischen beiden Experimenten – beispielsweise verwendete Schroeder (2003) im Vergleich zu den eigenen Experimenten deutlich höhere Abgaberraten (4 mg / Tag alpha-Pinen und 40 mg / Tag Ethanol). Jedoch konnten auch Hulcr et al. (2006) keine durch alpha-Pinen induzierte Aggregation von *Thanasimus*-Arten erkennen. Dennoch deuten die teilweise signifikanten Ergebnisse darauf hin, dass *T. formicarius* die Substanzen Ethanol und alpha-Pinen zur Beutelokalisierung nutzt. Schroeder (2003) interpretiert die Bedeutung der Wahrnehmung dieser Substanzen mit der Lokalisierung von Beutetieren ohne arteigenes Pheromon. Analog zu den Ergebnissen von Schroeder (2003) zeigten die Substanzen Ethanol und alpha-Pinen bzw. deren Kombination keine Attraktivität für *T. femoralis* an. Den Ausführungen von Schroeder (2003) entsprechend muss daher angenommen werden, dass bei *T. femoralis* andere baumbürtige Volatile in der Lokalisierung der Beute bzw. von deren potentiellen Bruthabitaten verwendet werden. Aufgrund der im Jahresverlauf späteren Aktivität von *T.*

femoralis (Schroeder 2003), könnte die Orientierung an baumbürtigen Volatilen jedoch auch einen weniger essentiellen Charakter für *T. femoralis* besitzen, als wie es scheinbar für *T. formicarius* der Fall ist. Beispielsweise beschreiben Bakke und Kvamme (1981) Beobachtungen von *T. formicarius* an Kiefern- und Fichtenstämmen im zeitigen Frühjahr, einige Tage vor dem Flugbeginn von dessen Beutetieren. Und auch Rudinsky et al. (1971) konnten eine starke Attraktivität von Terpenen auf *T. formicarius* nachweisen.

Eine Zugabe von Ipsdienol oder Ipsenol zur Mischung aus Ethanol und alpha-Pinen erzeugte überraschenderweise keine Aggregation von *Thanasimus* spec. Zumindest von Ipsdienol wäre entsprechend der Ergebnisse von Hulcr et al. (2006) ein induziertes Aggregationsverhalten zu erwarten gewesen. Da Ipsdienol als auch Ipsenol von einer Vielzahl von *Ips*-Arten produziert wird, welche potentielle Beuteorganismen für die Ameisenbunkkäfer darstellen (Bakke und Kvamme 1981), ist die Nichtaggregation mit der verwendeten Stoffkombination fraglich. Auch Bakke und Kvamme (1981) wiesen sowohl für *T. formicarius*, als auch für *T. femoralis* eine Wahrnehmung von Ipsdienol und Ipsenol nach und erklärten die olfaktorische Orientierung von *Thanasimus*-Arten in alle Bestände mit *Ips*-Befall über diese beiden Semiochemikalien.

Eine sehr geringe Attraktivität, schien auch vom verwendeten EAG-Mix, bestehend aus Linalool, cis-Nerolidol, Elemicin und 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon, auf *T. formicarius* induziert zu werden. Allesamt Substanzen, welche *T. formicarius* möglicherweise in der olfaktorische Beutelokalisierung von *L. varius* dienen könnten. Auch die Mischung aus Ethanol, 4-Methylheptan-3-ol und Nonanon-2 induzierten eine schwache Aggregation. Von der Mischung aus Ethanol und Veratrol konnte dies nur in der Tendenz beobachtet werden. Die benannten Einzelkomponenten erreichen mit Abstand nicht die Fangleistung, welche vom Sexowit®-Dispenser auf *T. formicarius* nachgewiesen werden konnte, könnten jedoch entsprechend ihres beschriebenen Ursprunges in der Beutelokalisierung von Beutetieren aus Laubwaldhabitaten beteiligt sein.

8.4.2.2 OLFAKTORISCHE REAKTIONEN WEITERER POTENTIELLER ANTAGONISTEN

Von den **Rindenglanzkäfern** wurden signifikante Reaktionen der Arten *R. bipustulatus*, *R. depressus* und *R. dispar* nachgewiesen. Für alle drei Arten konnte eine signifikante Attraktivität des verwendeten Lineatin- und Sexowit®-Dispensers erfasst werden. Signifikante Reaktionen zum Chalcogran-Dispenser konnten zudem von *R. bipustulatus* und *R. dispar* beobachtet werden, was sich zumindest für *R. bipustulatus* auch in den

Untersuchungen von Kubisz (1992) zeigt. Auch *R. dispar* wird als Prädator von *P. chalcographus* beschrieben, was die Reaktion auf den Chalcogran-Dispenser erklärt (Kenis et al. 2004). Aus den eigenen Untersuchungen kann jedoch die Reaktion auf das Chalcogran als Einzelsubstanz nicht eindeutig abgeleitet werden, da beispielsweise die höchsten Fangzahlen von *R. bipustulatus* in Kombination mit 2-Methyl-3-butin-2-ol erfasst wurden. Im Versuchsjahr 2012 wurde beispielsweise keine Reaktion von *R. bipustulatus* auf Chalcogran per se, sondern erst in Kombination mit Ethanol nachgewiesen. Neben dem Vorkommen von *R. bipustulatus* an Laubholz (Vogt 1967) deuten die Beobachtungen von Wichmann (1967) auch auf ein Vorkommen in Nadelholzhabitaten hin, was die Reaktion auf für Nadelwaldhabitats konzipierte Lockstoffe erklären könnte. *R. depressus* zeigte eine signifikante Aggregation auf den Tomowit®-Dispenser. Wie in Schroeder und Linedlöw (1989) sowie in Schroeder (1996) beschrieben, wird *R. depressus* sehr stark von Nadelbaumvolatilen angezogen, wobei Ethanol und alpha-Pinen starke Aggregationseffekte bewirken – die Reaktion auf die Dispenser Lineatin, Sexowit® und Tomowit®, welche vermutlich einen oder beide dieser Semiochemikalien enthalten, lässt sich damit vermutlich erklären. Ein zu *R. depressus* vergleichbares Beutespektrum wird auch für *R. dispar* beschrieben. Beide Rhizophagidae sind als Prädatoren von *T. lineatum*, *P. chalcographus*, *I. typographus*, *I. sexdentatus* und *Tomicus* spec. beschrieben und nutzen die Pheromone dieser Arten bzw. Ethanol zur Beutelokalisierung (Kenis et al. 2004), was den Nachweis beider Arten mit Sexowit® und Lineatin erklärt. Darüber hinaus konnte in den eigenen Untersuchungen ein signifikanter Anflug von *R. depressus* auf Rot-Buchenhölzer besiedelt mit *T. domesticum* nachgewiesen werden.

Auf die getesteten Einzelsubstanzen waren nur sehr geringe Anflüge zu verzeichnen. Eine schwache Attraktivität auf *R. bipustulatus* wurde vom aromatischen Kohlenwasserstoff-Gemisch, bestehend aus Anisol und Elemicin, induziert. Auch Veratrol erzeugte eine schwache Attraktivität auf *R. bipustulatus*, was auf dessen Abundanz in Laubwaldhabitaten zurückzuführen sein könnte. Auf das Ethanol, welches von vielen Borkenkäferarten in der Lokalisierung von geeignetem Brutraum verwendet wird, konnte kaum Reaktion der Rhizophagidae beobachtet werden. Einzig *R. bipustulatus* zeigte im Versuchsjahr 2012 eine schwache Reaktion zum Ethanol, die in den vorangegangenen Experimenten nicht bestätigt werden konnte. Dies scheint jedoch zumindest die Aussagen von Schroeder (1996) zu bestätigen, welcher Ethanol als Kairomon für *R. bipustulatus* bei der Beutelokalisierung beschreibt. Die Kombination von Ethanol mit Veratrol erzeugte

Attraktivität auf *R. bipustulatus*, welche mit steigender Veratrol-Abgabemenge gesteigert werden konnte. Da Veratrol überwiegend in Zersetzungsstadien der Rot-Buche produziert wird, welche *T. domesticum* einen attraktiven Brutraum signalisieren (Holighaus und Schütz 2006), könnte über eine Räuber-Beute-Beziehung zwischen *R. bipustulatus* und *T. domesticum* spekuliert werden, zumal *R. bipustulatus* auch durch Lineatin aggregiert wurde. Darüber hinaus beschreibt auch Derksen (1941) ein Auftreten von *R. bipustulatus* an länger lagernden Buchenhölzern. Von *R. dispar* konnte hingegen nur eine sehr leichte Aggregation bei hoher Veratrol-Abgabemenge in Kombination mit Ethanol nachgewiesen werden. Auch die Kombination aus Ethanol mit Nonanon-2 bzw. 4-Methylheptan-3-ol führte im Vergleich zur Nullvariante zu signifikant erhöhten Fangzahlen von *R. bipustulatus* und deuten entsprechend des bereits benannten Ursprungs der Substanzen auf Räuber-Beute-Beziehungen zu *L. varius* und *Scolytus*-Arten hin. Die Abundanz von *R. bipustulatus* auf der Eichen- und Eschenversuchsfläche konnte zumindest erbracht werden. Darüber hinaus schien auch das Nonanal attraktiven Charakter für *R. bipustulatus* zu besitzen, indem es den Anflug auf die Kombination mit *exo*-Brevicommin und Nonanon-2 signifikant steigerte. In Kombination mit *endo*-Brevicommin und Nonanon-2 wurde die Steigerung des Anfluges nur in der Tendenz beobachtet. Als Stressmarker potentieller Wirtsbäume seiner Beutetiere (Blande et al. 2009) könnte Nonanal daher als baumbürtiges Kairomon für *R. bipustulatus* fungieren. Da Nonanal im Bohrmehl von *L. varius* nachgewiesen werden konnte, wäre zudem zu vermuten, dass es für *R. bipustulatus* synergistische Bedeutung in der Beutelokalisierung besitzt.

Die Attraktivität des Lineatin-Dispensers konnte für *R. bipustulatus* durch Kombination mit Nonanon-2 und Sexowit® signifikant gesteigert werden, in der Tendenz zeigte sich die Attraktivitätssteigerung auch in der Kombination mit Acetophenon. Auf einem sehr niedrigen Fangzahlenniveau konnte die Attraktivität des Lineatin-Dispensers für *R. depressus* durch Kombination mit Sexowit®, Typowit® und 4-Methylheptan-3-ol signifikant gesteigert werden. Hingegen reduzierte Acetophenon den Anflug von *R. depressus* auf das Sexowit®.

Der Jagdkäfer *Nemosoma elongatum* zeigte fast ausschließlich Reaktion auf das Chalcogran, was die von Kohnle und Vité (1984) beschriebene Spezialisten Strategie zu bestätigen scheint. Mit Ethanol per se konnte keine Aggregation von *N. elongatum* bewirkt werden, vielmehr führte es zu einer signifikanten Reduktion im Anflug auf das Chalcogran. Darüber hinaus konnte eine schwache Attraktivität des Ketonmixes, bestehend

aus 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon und 2-Undecanon, nachgewiesen werden. Beide Substanzen werden von eingeschlagenen Rot-Buchenstämmen emittiert und könnten damit Bedeutung in der olfaktorischen Orientierung im Rot-Buchenhabitat besitzen. Neben der scheinbaren Spezialisierung von *N. elongatum* auf *P. chalcographus* als Beuteobjekt und der damit vielfach nachgewiesenen Reaktion auf das Chalcogran (Heuer und Vité 1984, Baader 1989, Wigger 1993, Baier 1994) sind jedoch auch wenige Belege von potentiellen Beuteorganismen aus dem Laubholzhabitat existent. Beispielsweise wird *N. elongatum* als Gegenspieler von *T. bicolor* vermutet (Harz und Topp 1999, Schumacher und Pohris 2000), was eine Reaktion auf dessen Aggregationspheromon Bicolorin (Francke et al. 1996) vermuten lässt. Auf das ebenfalls zum Pheromonsystem von *T. bicolor* gehörende Acetophenon (Kohnle et al. 1987), wurde in den eigenen Untersuchungen jedoch keine Aggregation beobachtet. Darüber hinaus konnte *N. elongatum* in eigenen Beobachtungen in den Brutsystemen von *Ernoporus tiliae* (Panz.) beobachtet werden, was vermuten lässt, dass dieser neben Chalcogran auch weitere Pheromonkomponenten bzw. Laubbaumvolatile wahrnehmen muss. Beispielsweise konnten Klimetzek et al. (1989) eine Lockwirkung von cis-Vittatol auf *N. elongatum* nachweisen. Auch Heuer und Vité (1984) beschreiben *N. elongatum* als Prädator an Borkenkäferarten an Laub- und Nadelholz und darüber hinaus die Abundanz von Chalcogran im Pheromonsystem diverser sekundärer Borkenkäferarten an Laub- und Nadelholz. Dies ist möglicherweise der Grund einer scheinbaren Spezialisierung auf das Chalcogran, da nach der Landung auf dem Wirtsbaum vermutlich tastende Reize eine Rolle in der Beutelokalisierung spielen (Heuer und Vité 1984).

Von Kenis et al. (2004) werden die **Salpingidae** *S. planirostris* und *S. ruficollis* als Prädatoren von *I. typographus*, *P. chalcographus* und *T. lineatum* beschrieben. In den durchgeführten Untersuchungen wurden diese in Laubwaldhabitaten erfasst, was Räuber-Beute-Beziehungen zu in diesen Habitaten abundanten bast- und holzbesiedelnden Insekten vermuten lässt. Der nachgewiesene aggregierende Effekt von Buchenholzstücken besiedelt mit *T. bicolor* auf *S. ruficollis* scheint diese Annahme zu bestätigen. Das von *T. bicolor* stammende Acetophenon erzeugte als Einzelsubstanz jedoch keine Aggregation. Für *S. planirostris* und *S. ruficollis* konnte Attraktivität des Ethanols nachgewiesen werden. Zudem führte die Kombination von Ethanol mit Chalcogran zu signifikant höheren Fangzahlen von *S. ruficollis* als Ethanol per se. Auf *S. planirostris* konnten darüber hinaus auch aggregierende Effekte von Lineatin und Sexowit® beobachtet werden,

was die beschriebenen Räuber-Beute-Beziehungen von Kenis et al. (2004) zu bestätigen scheint.

V. ruficollis konnte als weiterer Salpingidae mit den getesteten Lockstoffvarianten erfasst werden. Eine signifikante Reaktion wurde auf die Kombination von Decanal und Nonanal nachgewiesen. Der Nachweis von Decanal als emittiertes Volatil eingeschlagener Eschenstämme und von Nonanal als Volatil im Bohrmehl von *L. varius* deutet auf eine Relevanz für *V. ruficollis* in der Lokalisierung von *L. varius* hin. Signifikant verstärkt wurde diese Attraktivität durch Zugabe von Linalool, hingegen führte die Kombination von Limonen und Heptanal / Hexanal zu einem Rückgang der Fangzahlen. Das Nonanal per se scheint einen hohen Aggregationseffekt auf *V. ruficollis* zu besitzen, wie die gesteigerten Fangzahlen bei Zugabe zu den Kombinationen *exo*-Brevicomin / Nonanon-2 und *endo*-Brevicomin / Nonanon-2 verdeutlichen. Möglicherweise ist das Nonanal in der Lokalisierung von *L. varius* Brutbildern, welche eine potentielle Nahrungsquelle für *V. ruficollis* darstellen könnten, entscheidend. Aber auch *exo*-Brevicomin besaß eine schwache Attraktivität für *V. ruficollis*. Auch in den Untersuchungen von Lassauce et al. (2012) wird *V. ruficollis* als Prädator beschrieben, wenngleich dessen Beutespektrum weitestgehend unbekannt scheint. Von Petercord (2008) wird *V. ruficollis* zudem als Besiedler länger abgestorbener Hölzer beschrieben. Eine Reaktion auf Ethanol konnte dennoch nicht nachgewiesen werden.

Auch der Holzbuntkäfer *Tillus elongatus* zeigte einen signifikanten Anflug auf das Sexowit®. Darüber hinaus wurde auch *Pytho depressus* durch das Sexowit® aggregiert. Eine Kombination von Acetophenon zum Sexowit® reduzierte hingegen dessen Anflug im Vergleich zu Sexowit® per se tendenziell. Auch Schröder und Weslien (1994) konnten *P. depressus* an mit Ethanol und alpha-Pinen behandelten Kiefernstämmen, welche mit *T. piniperda* besiedelt waren, nachweisen. Der Anflug auf das Sexowit® könnte folglich auf das darin enthaltene alpha-Pinen zurückzuführen sein.

Auf den Tomowit®-Dispenser reagierte hingegen *Glischrochilus quadripunctatus* positiv, von dem auch ein Anflug auf Rot-Buchenholz, welches mit *T. domesticum* besiedelt war, beobachtet wurde. Auch Petercord (2008) beschreibt *G. quadripunctatus* als Laubholzbewohner und konnte ihn in Buchenhabitaten nachweisen, was die Reaktion auf mit *T. domesticum* besiedelte Rot-Buchenhölzer erklärt. Aus Untersuchungen von Byers (1992) ist eine Reaktion von *G. quadripunctatus* auf Ethanol per se, als auch in Verbindung mit Monoterpenen, bekannt und könnte den Anflug auf das Tomowit®

erklären. Zudem zeigen die Ergebnisse von Schönherr (1972), dass *G. quadripunctatus* als potentieller Prädator von *T. piniperda* auftritt.

Der Kurzflügler *Xantholinus glabratus* wurde hingegen signifikant durch das *endo*-Brevicommin aggregiert. Eine Kombination aus Decanal und Nonanal schien repellenten Charakter auf *X. glabratus* zu besitzen. Von Speight und Lawton (1976) wird *X. glabratus* als Ei-Räuber der Diptera *Erioischia brassicae* (Bouché) beschrieben. Auch Hellrigl und Schwenke (1985) konnten *Xantholinus* spec. als Begleitinsekt in Buchdrucker-Pheromonfallen nachweisen. Über das Auftreten von *X. glabratus* als Borkenkäferpredator ist bislang kaum etwas bekannt. Dennoch deutet dessen Reaktion auf das *endo*-Brevicommin auf eine derartige Funktion im Ökosystem hin. Beispielsweise ist *endo*-Brevicommin als Aggregationspheromon von *D. autographus* beschrieben (Mori und Seu 1985).

Als natürliche Gegenspieler bast- und holzbesiedelnder Insekten sind neben den beschriebenen Prädatoren auch Reaktionen von antagonistischen *Hymenopteren* erfasst worden. Ein signifikanter Anflug konnte jedoch nur auf Eschenhölzer, welche mit *L. varius* besiedelt waren, erfasst werden. Auf die Brackwespe *C. filiformis* induzierten die besiedelten Eschenhölzer die stärkste Attraktivität. Auch Pedrosa-Macedo (1979) und Mills (1991) erfassten die Brackwespe *C. filiformis* als Parasitoid an *L. varius*. Darüber hinaus konnte Mills (1991) die Chalcidoidea *Cheiropachus quadrum* (F.) und *Eurytoma morio* (Bohe.) als Parasitoide von *L. varius* mit teilweise hyperparasitoidem Charakter an *C. filiformis* nachweisen. Auch in den eigenen Untersuchungen wurde ein signifikanter Anflug der Chalcidoidea erfasst, deren Bestimmung bis zur Art jedoch nicht möglich war. In den Untersuchungen von Nakládal und Turčáni (2007) traten die Erzewespen *E. morio* und *Eurytoma arctica* (Thom.) als häufigste Gegenspieler von *L. varius* auf, darüber hinaus konnten auch *C. quadrum* und *Rhaphitelus maculatus* (Walk.) als Parasitoide nachgewiesen werden. Auch Campos und Lozano (1994) beschreiben *C. quadrum* und darüber hinaus *Dendrosoter protuberans* (Nees) als Hauptparasitoide von *L. varius* und seinem nahen Verwandten *P. scarabaeoides* in Spanien.

8.4.3 WECHSELBEZIEHUNGEN UND SYNCHRONISATION IM SCHWÄRMVERLAUF VON BAST- UND HOLZBESIEDELNDEN INSEKTEN UND DEREN ANTAGONISTEN IN DEN UNTERSUCHUNGSHABITATEN

8.4.3.1 *THANASIMUS* SPEC. UND POTENTIELLE BEUTETIERE IN LAUBWALDHABITATEN

Neben dem bereits bekannten Vorkommen von *T. formicarius* in Kiefern- und Fichtenbeständen (Warzée und Grégoire 2003, Müller et al. 2008, Zhang und Schlyter 2010) konnte mit den durchgeführten Untersuchungen erstmals die Abundanz des Prädatoren in Laubwaldhabitaten nachgewiesen werden. Entsprechend kann im Untersuchungshabitat Gemeine Esche ein natürliches Vorkommen von *T. formicarius* angenommen werden. In den Untersuchungshabitaten Rot-Buche und Eiche hingegen kann ein Anflug aus umliegenden Nadelwaldhabitaten nicht ausgeschlossen werden. Entsprechend den in Kapitel 8.4.2.1 beschriebenen Aggregationen von *T. formicarius* auf untersuchte Pheromondispenser dürfte dieser in der Lage sein in fast allen Untersuchungshabitaten Beute zu lokalisieren. In Laubwaldhabitaten wären dies beispielsweise *L. varius*, *T. signatum* und *T. domesticum*. Ein Anflug von *T. formicarius* auf Buchenhölzer besiedelt mit *T. domesticum* konnte zwar nicht erfasst werden, dennoch kann aufgrund der Reaktion von *T. formicarius* zum Aggregationspheromon von *T. domesticum*, dem Lineatin, die Räuber-Beute-Beziehung nicht ausgeschlossen werden. Auch Bader und Petercord (2004) vermuten *T. formicarius* als Prädatoren von *T. domesticum*. Selbige Annahme könnte dann auch für den nahe Verwandten *T. signatum* getroffen werden. Aufgrund des Anfluges von *T. formicarius* auf Eschenhölzer besiedelt mit *L. varius* sowie auf *exo*-Brevicommin-Dispenser, kann von einer Räuber-Beute-Beziehung zwischen beiden Arten ausgegangen werden. Darüber hinaus beschreiben Ting und Simmonds (1973) zitiert in Heidger (1994) den ebenfalls an Esche vorkommenden *H. crenatus* als potentielle Beute für *T. formicarius*.

Alle drei in den Untersuchungen beobachteten Arten (*L. varius*, *T. signatum* und *T. domesticum*) besitzen ihr Aktivitätsmaximum bereits sehr frühzeitig im Jahresverlauf und synchronisieren daher im Auftreten sehr gut mit dem Frühjahrsmaximum von *T. formicarius*. Für *L. varius* wird beispielsweise eine Schwarmaktivität von März bis Mai beschrieben (Rudinsky und Vallo 1978). Die Hauptschwärmphase ereignet sich jedoch innerhalb von nur wenigen Tagen bei Temperaturen über 16 °C (Pedrosa-Macedo 1979). In den eigenen Untersuchungen war die Hauptschwärmphase von *L. varius* Ende März meist schon abgeschlossen. Auch für die *Trypodendron*-Arten wird der Zeitraum März bis

April für den Frühjahrsschwarm beschrieben (Francke 1973, Klimetzeck 1984, Petercord 2008), was mit den eigenen Ergebnissen betätigt werden kann. Die Temperaturschwelle für den Flug der *Trypodendron*-Arten ist sogar noch niedriger als die des Eschenbastkäfers. Den Ausführungen von Francke (1973) entsprechend schwärmen die Käfer bereits nach überschreiten von 10,5 °C. In den in Kapitel 8.3.1 dargestellten Aktivitätsverläufen wird deutlich, dass auch *T. formicarius* schon sehr frühzeitig im Jahresverlauf (ab Ende März) nachgewiesen werden kann, dessen erstes Maxima jedoch erst Mitte April erreicht wird. Daraus lässt sich zwar ein leichter zeitlicher Versatz erkennen, der jedoch damit erklärt werden kann, dass *T. formicarius* die Pheromone seiner Beutetiere in deren Lokalisierung nutzt, welche erst bei deren Einbohren in den Wirtsbaum produziert werden. Den olfaktorischen Reizen entsprechend sowie dem erfassten saisonalen Auftreten scheinen die Arten *L. varius*, *T. signatum* und *T. domesticum* potentielle Beuteorganismen für *T. formicarius* im zeitigen Frühjahr in Laubwaldhabitaten zu sein. Da *T. formicarius* seine Beute auf der Rindenoberfläche erbeutet (Wichmann 1967), dürfte es nach dem Schwarm der drei Arten deutlich schwerer werden, Beute zu finden. Zwar beschreibt Wichmann (1967) eine lauernde Stellung der Ameisenbuntkäfer hinter Rindenschuppen und die Erbeutung von Borkenkäfern aus deren Einbohrlöchern – das Erfassen von Nahrung ist *T. formicarius* in diesem Zeitraum jedoch deutlich erschwert. Der geminderte Nachweis von *T. formicarius* in den Laubwaldhabitaten im Zeitraum Ende April bis Anfang Juni dürfte folglich auf den beschriebenen Mangel an potentiellen Beutetieren zurückzuführen sein. Ein erneuter Anstieg der Nachweise von *T. formicarius* kann im Juni bis Anfang Juli erfasst werden. Das ist in etwa der Zeitraum, an welchem die Brut von *L. varius* fertig entwickelt ist und beginnt zum Reifungsfraß in den Kronenbereich auszuschwärmen (Rudinsky und Vallo 1978). Darüber hinaus wird im Zeitraum Ende Mai-Juni ein zweiter Schwarm der *Trypodendron*-Arten beschrieben (Petercord 2008). Das Sommermaximum der *Trypodendron*-Fänge setzt sich nach Klimetzek (1984) aus Nachzüglern der ersten Schwarmperiode und Muttertieren zur Anlage von Geschwisterbruten zusammen. Parini und Petercord (2006) gehen in diesem Zeitraum hingegen von der Anlage einer zweiten Generation bei *T. domesticum* aus. Auch Eichhorn und Graf (1974) zitiert in Parini und Petercord (2006) konnten die Anlage einer zweiten Generation bei *T. domesticum* beobachten, wobei dann nur die zweite Generation die für *T. domesticum* beschriebene Imaginaldiapause durchlaufen würde (Parini und Petercord 2006).

Eine weitere Möglichkeit für *T. formicarius* in den Sommermonaten Beute in Laubwaldhabitaten zu machen wäre eine Räuber-Beute-Beziehung zu *S. intricatus*, dessen Schwarm analog zu den Beschreibungen von Kamp (1951) und Grüne (1979) von Mai bis Ende Juni / Anfang Juli erfasst werden konnte. Aufgrund eines bislang nicht bekannten Kairomons aus dieser potentiellen Räuber-Beute-Beziehung bleibt diese, obgleich der zeitlichen Synchronisation im Sommerschwarm, fraglich. Dennoch wird *T. formicarius* bei Ting und Simmonds (1973) zitiert in Heidger (1994) als Prädator verschiedener Laubholz-Splintkäfer (*Scolytus scolytus* F., *S. multistriatus*, *S. intricatus*, *Scolytus mali* Bech., *Scolytus ratzeburgi* Jan.) beschrieben. Entsprechend den Ausführungen von Kamp (1951) und den eigenen Ergebnissen dürfte *S. intricatus* vor allem als potentielle Beute von *T. formicarius* in Eichenhabitaten interpretiert werden. Seltener hingegen ist dessen Auftreten an Rot-Buche (Kamp 1951, Grüne 1979). Weitere potentielle Beute im Eichenhabitat ist der Eichennutzholzborkenkäfer *T. signatum*, der jedoch auch an Buche oder Ahorn brüten kann (Grüne 1979). In den eigenen Untersuchungen konnte auch eine Besiedlung der Gemeinen Esche verfolgt werden (vgl. Kapitel 4). Nach Klimetzek (1984) wird die Eiche jedoch von *T. signatum* bevorzugt, was in der Tendenz auch aus den eigenen Untersuchungen abgeleitet werden kann. Die Autoren Zimmerman (1973), Holighaus und Schütz (2006) sowie Petercord 2006 beschreiben eine Abundanz von *T. domesticum* im Rot-Buchen-Habitat. Nach Francke (1973) kommt *T. domesticum* in Mitteleuropa an verschiedenen Laubbäumen vor, ist aber überwiegend an Buche und Eiche anzutreffen. Mit den durchgeführten Fallenfangexperimenten hingegen konnte *T. domesticum* vor allem im Rot-Buchen-Habitat nachgewiesen werden. Dies entspricht den Ausführungen von Klimetzek (1984), der die Buche als bevorzugten Lebensraum für *T. domesticum* deklariert. Auch *L. varius* kommt neben seiner Hauptwirtsbaumart der Gemeinen Esche an weiteren Laubhölzern wie Buche, Robinie und Ahorn vor (Grüne 1979).

Für *T. femoralis* hingegen konnte kein Vorkommen in Laubwaldbeständen per se nachgewiesen werden. Die größte Abundanz schien *T. femoralis* in Kiefernbeständen zu besitzen. Dabei sei an dieser Stelle vermerkt, dass keine Untersuchungen in Fichtenhabitaten durchgeführt worden.

8.4.3.2 *THANASIMUS* SPEC. UND POTENTIELLE BEUTETIERE IM NADELWALDHABITAT

Ein saisonales Auftreten der im Kiefernhabitat in den Pheromonfallen erfassten Arten kann aufgrund des Versuchsdesigns nicht erfolgen, so dass in der Diskussion lediglich die aus

der Literatur bekannten Flugzeiten herangezogen werden. Zu den aus dem Kiefernhabitat bekannten Beutearten für *T. formicarius* gehören *T. minor*, *T. piniperda*, *H. ligniperda*, *D. autographus*, *Orthotomicus laricis* (F.), *I. amitinus*, *I. acuminatus*, *I. sexdentatus* und *I. cembrae* (Ting und Simmonds 1973 zitiert in Heidger 1994). Im Vergleich zu den beschriebenen Laubwaldhabitaten scheint das Beuteangebot im Kiefernhabitat weitaus vielfältiger zu sein und den *Thanasimus*-Arten saisonal eine kontinuierlichere Nahrungsquelle zu bieten. Möglicherweise ist dies eine der Ursachen einer von Warzée und Grégoire (2003), Warzée (2005) sowie von Zhang und Schlyter (2010) beschriebenen Präferenz von *T. formicarius* für Kiefernhabitats. Ähnlich stellt sich die Beutesituation in Fichtenhabitats dar, in welchen die Arten *Hylastes cunicularius* (Er.), *Polygraphus poligraphus* (L.), *H. palliatus*, *D. micans*, *D. autographus*, *I. amitinus*, *I. typographus* und sogar *P. chalcographus* als Beuteobjekte von *T. formicarius* beschrieben werden (Ting und Simmonds 1973 zitiert in Heidger 1994). Darüber hinaus können, bis auf *H. ligniperda*, alle beschriebenen Arten sowohl an Kiefer als auch an Fichte vorkommen (Grüne 1979). Als weitere potentielle Beute für *T. formicarius* in Nadelwaldhabitats wird *T. lineatum* beschrieben (Tømmerås 1988). Nach Klimetzek (1984) werden vom letztgenannten Nutzholzborkenkäfer vor allem Tanne und Fichte, in seltenen Fällen auch Kiefer, Douglasie und Lärche, als Wirtsbaum akzeptiert.

Da die durchgeführten Freilandexperimente ausschließlich im Kiefernhabitat erfolgten, sollen daraus abgeleitete Räuber-Beutebeziehungen im Folgenden thematisiert werden. Grundsätzlich konnten zwischen beiden erfassten Ameisenbuntkäferarten im Kiefernhabitat (*T. formicarius* und *T. femoralis*) zeitliche Differenzen im Schwärmverhalten beschrieben werden (Schroeder 2003, Wehnert und Müller 2012). Entsprechend der Ausführungen letztgenannter Autoren beginnt die Schwärmphase von *T. formicarius* bereits im zeitigen Frühjahr ab März; *T. femoralis* hingegen zeigt einen etwa 2 bis 7 Wochen späteren Flug als *T. formicarius*. In den durchgeführten Experimenten wurden beispielsweise Ende März schon sehr hohe Individuendichten von *T. formicarius* erfasst. Dies stimmt mit den Erkenntnissen von Bakke und Kvamme (1981) überein, die *T. formicarius* im zeitigen Frühjahr, noch vor dem ersten Flug von potentiellen Beuteorganismen auf Nadelholzstämmen beobachten konnten. Im zeitigen Frühjahr dürfte *T. lineatum* zum Beutespektrum von *T. formicarius* zählen. Klimetzek (1984) beschreibt einen beginnenden Flug von *T. lineatum* im zeitigen Frühjahr bei Temperaturen von über 12°C. Aufgrund des späteren Schwärmverlaufes von *T. femoralis* und auch einer nicht

nachgewiesenen Aggregation durch den Lineatin-Dispenser darf dessen Wirkung als Prädator von *Trypodendron*-Arten hingegen angezweifelt werden.

Dennoch scheinen im zeitigen Frühjahr im Kiefernhabitat auch für *T. formicarius* attraktivere Nahrungsquellen zu existieren. Beispielsweise beschreibt Schroeder (2003) eine Synchronisation im Flugverlauf von *T. formicarius* mit *T. piniperda* und *H. palliatus*, was auf potentielle Beutequellen im Frühjahr für *T. formicarius* hindeuten könnte. Zudem deuten die Aggregationsreaktionen aller drei Arten auf den Tomowit®-Dispenser auf derartige Räuber-Beute-Beziehungen hin. Analog zu *T. lineatum* wird auch für *T. piniperda* eine beginnende Schwarmaktivität bei Tagestemperaturen ab 12°C beschrieben (Lanne et al. 1987). Nach Grüne (1979) reicht die Schwarmaktivität von *T. piniperda* von März bis April. Schroeder und Weslien (1994) beschreiben *T. piniperda* als Hauptbeute von *T. formicarius* im zeitigen Frühjahr in Skandinavien. Eine Aggregation von *T. femoralis* mit Tomowit® konnte hingegen nicht nachgewiesen werden. Dies entspricht den Annahmen von Schroeder (2003), der *T. femoralis* aufgrund des asynchronen Flugverlaufes mit *T. piniperda* nicht als dessen Prädator vermutet. Wenngleich Geissen (1996) einen *T. femoralis* im Fraßgang von *H. palliatus* beobachten konnte, kann aufgrund der vorangegangenen Erläuterungen nicht zwangsläufig von einer diesbezüglichen Räuber-Beute-Beziehung ausgegangen werden. Entsprechend der sehr starken Reaktion von *T. formicarius* auf den Sexowit®-Dispenser lässt sich *I. sexdentatus* als bevorzugte Beute von *T. formicarius* im Kiefernhabitat vermuten. Auch Etxebeste et al. (2011b) beschreiben *T. formicarius* als einen der Hauptprädatoren von *I. sexdentatus*. Jactel (1991) beschreibt eine Flugaktivität von *I. sexdentatus* von April bis Oktober, was *T. formicarius* nach dem überstandenen Frühjahr eine weitgehend kontinuierliche Nahrungsquelle verspricht. Denn wie fast alle Ipinæ zeigt auch *I. sexdentatus* zwei ausgeprägte Flugphasen. Nach Grüne (1979) finden diese von April bis Mai und von Juli bis August statt. Auch der Schwarm von *T. minor* wird von Grüne (1979) ab April beschrieben, was aufgrund der deutlichen Reaktion von *T. formicarius* auf Sexowit® induziert, dass *T. minor* vermutlich nur einen unwesentlichen Anteil am Beutekonsum von *T. formicarius* einnimmt. Der Rückgang im Nachweis von *T. formicarius* im Juni kann vermutlich auf die Schwampause von *I. sexdentatus* zurückgeführt werden.

Neben *T. formicarius* konnte jedoch auch *T. femoralis* durch Sexowit® aggregiert werden, was für eine räuberische Aktivität an *I. sexdentatus* spricht. Den Ausführungen von Schroeder (2003) sowie Wehnert und Müller (2012) folgend, scheint sich das

Beutespektrum von *T. femoralis* jedoch von dem von *T. formicarius* zu unterscheiden. Analog zu den Ausführungen von Ting und Simmonds (1973) zitiert in Heidger (1994) könnte aus den eigenen Untersuchungen auch eine Räuber-Beute-Beziehung zwischen *T. formicarius* und *I. acuminatus* abgeleitet werden, da beide auf das Sexowit® reagieren. Dennoch deuten die Ergebnisse mit Accuwit® (Müller et al. 2008) vielmehr auf eine Räuber-Beute-Beziehung zwischen *T. femoralis* und *I. acuminatus* hin, als auf eine zwischen *T. formicarius* und *I. acuminatus*. Der von Grüne (1979) beschriebene Schwärmbeginn von *I. acuminatus* im Mai dürfte dann auch mit dem Schwärmbeginn von *T. femoralis* synchronisieren. Eine Räuber-Beute-Beziehung zu dem überwiegend an Gemeiner Fichte vorkommenden *I. typographus* kann für beide *Thanasimus*-Arten beschrieben werden (Bakke und Kvamme 1981, Weslien und Regnander 1992, Schroeder 1999, Wehnert und Müller 2012). Wenngleich die Untersuchungen von Bakke und Kvamme (1981) sowie Wehnert und Müller (2012) darauf hindeuten, dass vermutlich *T. femoralis* diesen Beuteorganismus stärker bevorzugt. Mit den Hauptschwärmzeiten von *I. typographus* im April / Mai und Juni / Juli synchronisiert dieser im Auftreten mit dem Frühsommermaximum von *T. formicarius* und dem Spätsommermaximum von *T. femoralis* (Wehnert und Müller 2012).

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass *Thanasimus*-Arten vor allem in den Habitaten anzutreffen sein dürften, in welchen viele verschiedene Beutearten vorkommen. In Beständen in denen hauptsächlich eine Beuteart vorkommt, würde er hingegen nur während der Schwärmzeit dieser einen Beuteart Nahrung finden und müsste danach auf andere Habitate ausweichen.

8.4.3.3 WEITERE AUS DEN UNTERSUCHUNGEN ABGELEITETE RÄUBER-BEUTE-BEZIEHUNGEN

Der als natürlicher Gegenspieler wohl bekannteste von den weiteren erfassten Prädatoren ist der Jagdkäfer *Nemosoma elongatum*, dessen Abundanz sich in den untersuchten Rot-Buchen-, Eichen und im Eschen-Habitat nachweisen ließ. Eine Räuber-Beute-Beziehung zu *L. varius* lässt sich dennoch nicht herstellen, da vor allem das zeitliche Auftreten sehr stark asynchronisiert ist. Zwar muss *N. elongatum* zeitlich versetzt zu seinen Beutetieren auftreten, da dieser seine Beute nur in deren Brutsystemen erfolgreich überwältigen kann (Wigger 1995), jedoch war das zeitliche Auftreten beider Arten zu unterschiedlich. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, war der Schwarm von *L. varius* stellenweise Ende März beendet, die Hauptschwärmphase von *N. elongatum* hingegen konzentrierte sich auf den

Zeitraum Juni / Juli. Ein Teil der Jagdkäfer konnte jedoch auch schon Anfang Mai erfasst werden, was den Ausführungen von Wigger (1995), einer Schwärmphase von Mai bis Juni entspricht. Den Aussagen von Heuer und Vité (1984) sowie Wigger (1995) entsprechend erbeutet *N. elongatum* seine Beute ausschließlich in deren Brutsystemen, wobei die Enge der Brutsysteme dem Prädator hilft, seine Beute in diesen zu fixieren bzw. selbst festen Halt für die Erbeutung zu erlangen. Als bisher bekannte Beuteindividuen werden die Arten *P. chalcographus* und *T. bicolor* benannt (Heuer und Vité 1984, Dippel 1991, Wigger 1993, Wigger 1995). Nach Grüne (1979) beträgt die Körpergröße von *P. chalcographus* 1,6-2,9 mm und die von *T. bicolor* etwa 1,6-2,3 mm respektive einer Körperlänge des Jagdkäfers von 3-4 mm. Vom Körperdurchmesser ist *P. chalcographus* jedoch etwas breiter als der Jagdkäfer (Dippel 1995). Beide bekannte Beutearten sind wesentlich schmaler und kleiner als *L. varius*. Beispielsweise beschreibt Grüne (1979) eine Körperlänge von 2,5-3,5 mm für *L. varius*. Der größere Körperdurchmesser von *L. varius* dürfte in größeren Durchmessern der Gänge von *L. varius*, im Vergleich zu den Gangsystemen von *T. bicolor* und *P. chalcographus*, resultieren. Möglicherweise ist es *N. elongatum* in diesen Gangsystemen nicht möglich, seine Beute ausreichend zu fixieren, um diese zu überwältigen. Da auch keine Reaktionen von *N. elongatum* auf erfasste Attraktanzien von *L. varius* nachgewiesen werden konnten, muss das erfasste Auftreten von *N. elongatum* auf der Versuchsfläche der Esche vermutlich auf andere Beutearten zurückgeführt werden. Da sich auf der Fläche auch Mischbaumarten wie Eiche, Ahorn und Linde befanden wäre ein räuberisches Auftreten an diesen Baumarten vorkommenden Borkenkäfern denkbar. An Eiche wäre beispielsweise der zu *T. bicolor* nahe Verwandte *T. villifrons* ein denkbare Beuteindividuum. Für beide *Taphrorychus*-Arten wird zwar auch schon im März eine Schwärmzeit angegeben, die Hauptschwärmphase beider Arten dürfte jedoch in den Monaten April bis Juni, bei *T. villifrons* sogar noch etwas länger, bis Juli andauern, woraus sich eine gute Synchronisation im Flugverlauf mit *N. elongatum* ableiten lässt. Aus den eigenen Untersuchungen scheint auch eine recht gute Synchronisation mit den Arten *X. dispar*, *X. saxeseni*, *X. monographus* und *X. germanus* zu existieren. Ob *N. elongatum* jedoch auch holzbesiedelnde Borkenkäfer als Beuteobjekte annimmt ist bislang nicht bekannt. Beide bisher beschriebenen Arten legen ihre Brutsysteme im Bast der Wirtsbäume an. Nach Kohnle und Vité (1984) wird für *N. elongatum* eine Spezialisten-Strategie im Beutespektrum beschrieben, da bisher nur ein einziges Kairomon (Chalcogran) für den Jagdkäfer bekannt ist, welches nach Heuer und Vité (1984) jedoch im Wirtsfindungsverhalten von vielen sekundären Borkenkäfern an Laub- und Nadelholz

verwendet wird. Auch Nass (1993) zitiert bei Wigger (1995) beschreibt *N. elongatum* als Räuber von über 30 Borkenkäferarten. Das Auftreten von *N. elongatum* in den Rot-Buchenbeständen muss nach bisherigem Kenntnisstand auf eine räuberische Lebensweise an *T. bicolor* zurückgeführt werden, darüber hinaus ist ein Anflug aus umliegenden Fichtenbeständen sehr wahrscheinlich. Die hohe Abundanz von *N. elongatum* im Eichenhabitat hingegen ist unbekannt, jedoch dürfte ein hoher Anteil erfasster Jagdkäfer aus den umliegenden Kiefernbeständen angefliegen sein. Eine gute Synchronisation im Schwärmverhalten schien auf der Eichenfläche jedoch auch mit *X. saxeseni* zu existieren.

Die erfassten Rindenglanzkäfer zeigten hinsichtlich der Habitats, in denen sie erfasst werden konnten unterschiedliche Präferenzen. Die Art *R. bipustulatus* wurde analog zu Vogt (1967) fast ausschließlich in den Laubwaldhabitats erfasst, konnte jedoch auch in Nadelwaldhabitats nachgewiesen werden. Hingegen zeigte *R. depressus*, wie in Vogt (1967) beschrieben, eine deutliche Tendenz zur höheren Individuendichte im Nadelwaldhabitat. *R. dispar* wurde mit den höchsten Fangzahlen auf der Buchenversuchsfläche erfasst, wobei ein Anflug aus umliegenden Fichten- und Kiefernbeständen nicht ausgeschlossen werden kann. Auch Vogt (1967) beschreibt das Vorkommen von *R. dispar* sowohl unter Laub- als auch unter Nadelholzrinde. Insgesamt decken sich die Beobachtungen sehr gut mit den Ausführungen von Petercord (2008), der *R. bipustulatus* als Laubholztyp, *R. depressus* als Nadelholztyp und *R. dispar* als Mischform deklariert. Der prädatorische Einfluss der Rindenglanzkäfer dürfte den Ausführungen von Kenis et al. (2004) entsprechend vor allem auf die Ei- und Larvenstadien ihrer Beutetiere gerichtet sein, weshalb eine leichte Verschiebung im zeitlichen Auftreten von Räuber und Beute sinnvoll erscheint. Die saisonale Aktivität der Rhizophagidae war sehr unterschiedlich.

Sehr frühzeitig im Jahresverlauf konnte *R. bipustulatus* nachgewiesen werden, der eine Schwärmphase von März bis Ende April sowie im Juni zeigte. Entsprechend war die Schwärmphase weitestgehend mit den Laubholzarten *T. domesticum*, *T. signatum* und *L. varius* synchronisiert. Darüber hinaus wurde in Kapitel 8.4.2.2 bereits die Reaktion von *R. bipustulatus* auf Semiochemikalien dieser Arten beschrieben, was ein Auftreten als Prädator dieser Arten sehr wahrscheinlich macht. Zumindest für *T. domesticum* beschreibt auch Petercord (2008) die Vermutung einer natürlichen Regulation durch *R. bipustulatus*.

Im Jahresverlauf wesentlich später trat hingegen *R. dispar* auf, welcher vor allem im Juni / Juli erfasst werden konnte und damit im Flugverlauf vor allem mit *S. intricatus*, *X. dispar*

und *X. germanus* synchronisierte. Für derartige Räuber-Beute-Beziehungen existieren bislang jedoch keine Erkenntnisse. In Kenis et al. (2004) wird *R. dispar* in Nadelwaldbeständen unter anderem als Prädator von *I. typographus*, *I. sexdentatus* und *T. lineatum* geführt, was aufgrund der beobachteten Reaktionen auf die Lockstoffe plausibel erscheint. Der Einfluss dürfte aufgrund des sehr späten jahreszeitlichen Fluges von *R. dispar* dabei jedoch tendenziell auf die zweite Generation seiner Beutetiere gerichtet sein.

Auch *R. depressus* schien analog zu Wehnert und Müller (2012) sein Maximum erst später im Jahresverlauf (Mai / Juni) zu besitzen, konnte jedoch in geringer Anzahl auch schon ab März nachgewiesen werden. Die Breite des jahreszeitlichen Auftretens macht ihm zu einem potentiellen Prädator einer Vielzahl von bast- und holzbesiedelnden Arten. Kenis et al. (2004) beschreiben dessen räuberisches Auftreten an den Arten *D. micans*, *H. palliatus*, *I. acuminatus*, *I. typographus*, *I. sexdentatus*, *T. piniperda* und *T. lineatum*. Auch in den Untersuchungen von Schroeder (1996) wird *R. depressus* als Prädator von *T. piniperda* beschrieben, was das frühzeitige Auftreten des Prädators im Jahresverlauf erklärt. Die erfasste Reaktion von *R. depressus* auf das Tomowit® scheint die beschriebene Räuber-Beute-Beziehung zu bestätigen. Aber auch der starke Anflug von *R. depressus* auf den Sexowit®-Dispenser, der bereits von Wehnert und Müller (2012) beschrieben wurde, deutet auf einen nicht unbeachtlichen Einfluss des Prädators in der Entwicklung von *I. sexdentatus* hin.

Von den übrigen Prädatoren existieren bisher recht wenige Erkenntnisse hinsichtlich eines räuberischen Einflusses auf bast- und holzbesiedelnde Insekten. Die Scheinrüssler *S. ruficollis* und *S. planirostris* schienen in allen Laubwaldhabitaten abundant zu sein. Auch Petercord (2008) konnte beide Scheinrüssler in Buchenbeständen erfassen und vermutet diese als potentielle Antagonisten in diesen Habitaten. Hingegen konnte im Kiefernhabitat nur *S. ruficollis* erfasst werden. In Kenis et al. (2004) werden beide Scheinrüssler als Prädatoren von Borkenkäfern am Nadelholz (*I. typographus*, *P. chalcographus*, *T. lineatum*) beschrieben. Saisonal konnte *S. ruficollis* kontinuierlich über die gesamte Fangperiode erfasst werden, mit einem stärkeren Anstieg Ende Juni. Für *S. planirostris* zeigt sich ein ähnlicher saisonaler Verlauf, höhere Individuendichten wurden hingegen erst ab Ende Juli erfasst. Als potentielle Ei- oder Larvenräuber dürften beide Arten folglich den größten Einfluss auf Beutetiere im Spätsommer bewirken. Der Scheinrüssler *V. ruficollis* wurde in sehr hoher Individuendichte im Eschenhabitat erfasst. Auch Petercord (2008) beschreibt diesen als Laubwaldart. Der Nachweis erfolgte bereits ab Ende März in hohen

Individuendichten, was eine räuberische Lebensweise an fröhschwärmenden Arten dieser Habitate (z. B. *L. varius*, *T. signatum*) vermuten lässt. Für eine Räuber-Beute-Beziehung zu *L. varius* deuten zudem die bereits diskutierten Reaktionen auf das *exo*-Brevicommin hin.

Auf potentielle Räuber-Beute-Beziehungen der Arten *T. elongatus*, *P. depressus*, *G. quadripunctatus* und *X. glabratus* ist bereits im Kapitel 8.4.2.2 eingegangen worden. Aufgrund der nicht erfolgten saisonalen Beobachtung dieser Arten soll an dieser Stelle auf eine weitere Darstellung verzichtet werden.

9 UNTERSUCHUNGEN AM MODELL FANGHOLZ

9.1 METHODIK

Mit den Fangholzexperimenten wurden Semiochemikalien erprobt, welche in den Fallenfangexperimenten günstige Ergebnisse hinsichtlich eines Einsatzes im naturnahen Borkenkäfermanagement zeigten. Ein möglicher Applikationsort derartiger Semiochemikalien ist das zu schützende Holz. Damit sind jedoch Einflüsse, wie die Emission von baumbürtigen Volatilen verbunden, welche im Modell Falle nicht auftreten. Folglich können aus der Kombination von baumbürtigen Volatilen und den Semiochemikalien neue Wirkungen entstehen, welche positive oder auch negative Effekte hinsichtlich eines zu induzierenden Schutz des Holzes bewirken könnten. Beispielsweise ist von alpha-Pinen bekannt, dass es die käferbürtigen Lockstoffe von *D. frontalis*, *D. ponderosae*, *I. typographus* und *T. lineatum* komplementiert (Anonymus 1980, Borden et al. 1982). Wie die eigenen Untersuchungen zeigen, ist alpha-Pinen nicht nur Bestandteil des Volatilmusters von Nadelbäumen, was ähnliche Effekte bei Laubholz besiedelnden Borkenkäfern vermuten lässt. Auch Myrcen induziert synergistische Effekte beim Anflug von *D. brevicornis* auf sein Aggregationspheromon (Macconnell und Silverstein 1973). Um derartige potentielle synergistische Effekte mit den ausgewählten Semiochemikalien zu erfassen und zu prüfen, wurden die Fangholzexperimente durchgeführt. Darüber hinaus soll die Eignung der getesteten Semiochemikalien hinsichtlich einer Einsatzmöglichkeit in naturnahem Managementverfahren diskutiert werden.

Es wurden jedoch auch Semiochemikalien in den Fangholzexperimenten erprobt, die als potentielle Pheromonkomponenten der jeweiligen Zielart in Verdacht stehen. Dadurch sollte an dieser Stelle der beschriebene synergistische Effekt des Fangholzes mit der jeweiligen Verdachtssubstanz nachgewiesen werden.

Fangholzversuche wurden mit den Baumarten Rot-Buche, Eiche, Gemeiner Esche und Gemeiner Kiefer durchgeführt.

Die Fanghölzer hatten eine Länge von 110 cm und wurden etwas erhöht auf eine Holzunterlage gelegt, um einen Kontakt mit der Bodenoberfläche zu vermeiden. In der Mitte eines jedes Fangholzes wurde ein Dispenser befestigt (Abbildung 67 links).

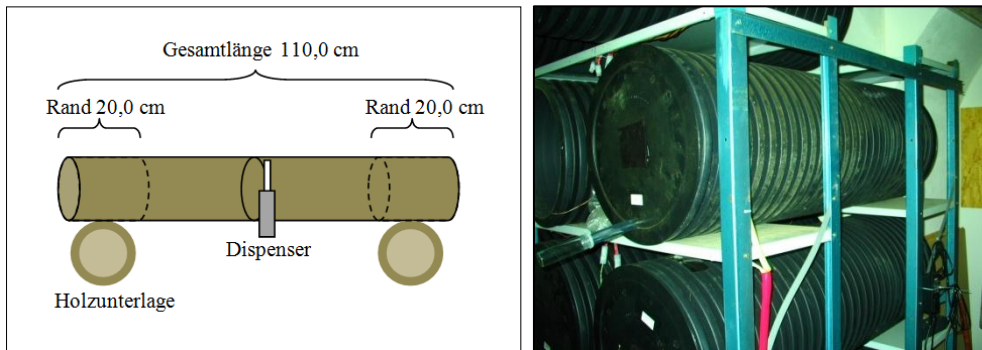


Abbildung 67: (links) Schematischer Aufbau eines Fangholzes (rechts) Schlupfektor

Analog zu den Fallenfängen wurde auch bei den Fangholzversuchen die Nullvariante in der Mitte der Fangholzinsel platziert. In einem Abstand von 10 m um die Nullvariante wurden die Testvarianten aufgebaut. Für jeden Fangholzversuch wurden insgesamt vier Fangholzinseln, jeweils bestehend aus den Testvarianten und der Nullvariante, aufgebaut. Nach dem Besiedlungszeitraum, das heißt dem Zeitraum für welchen die Fanghölzer zur Besiedlung auf den Versuchsflächen verblieben¹³, wurde an jedem Ende des Fangholzes ein 20 cm Randstück abgetrennt und das damit nur noch 70 cm lange Fangholz in einen Schlupfektor (Abbildung 67 rechts) verbracht. Die Abtrennung des Randstückes erfolgte, um Einflüsse einer Trocknung an den Stammenden zu reduzieren. Im Eklektor sollten sich die besiedelten Arten vollständig entwickeln und nach ihrem Schlupf in Richtung einer kleinen Lichtöffnung bewegen, hinter welcher sich ein mit Fangflüssigkeit befülltes Auffanggläschen befand. Der Zeitraum der Fanghölzer in den Schlupfektoren war je nach Baumart unterschiedlich, betrug jedoch mindestens 12 Wochen.

Die Fanghölzer wurden anschließend aus den Eklektoren entnommen und entrindet. Danach erfolgte eine Analyse der Brutbilder. Für die bastbesiedelnden Arten erfolgte die Besiedlungsanalyse entsprechend der in der Abbildung 68 exemplarisch dargestellten Parameter.

¹³ Der Besiedlungszeitraum wurde für jedes Experiment und auf jeder Versuchsfläche entsprechend der aus der Literatur entnommenen Flugzeiten der Zielarten unterschiedlich gewählt.

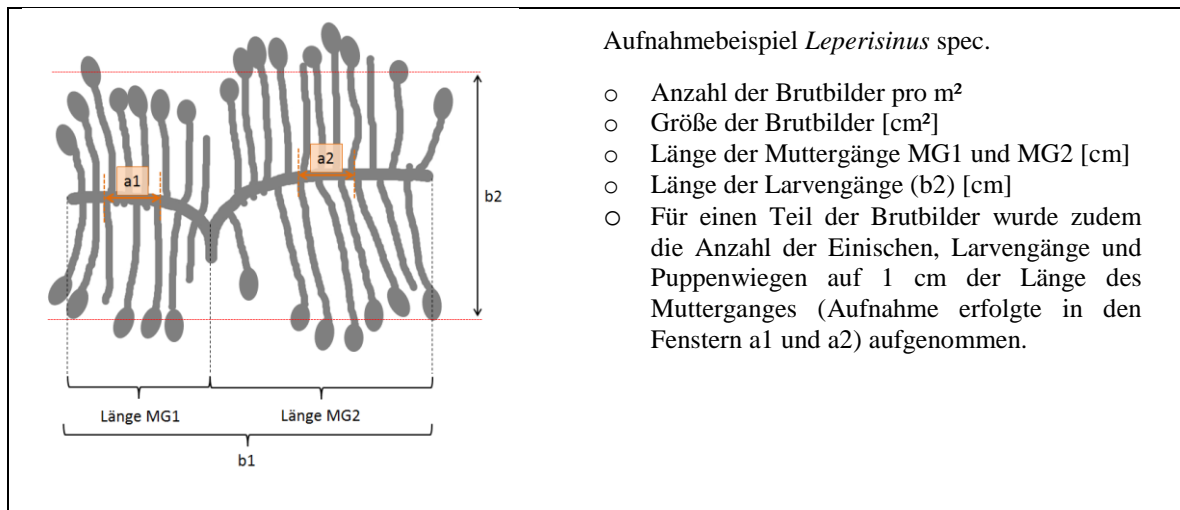


Abbildung 68: Aufnahmeparameter bei der Besiedlungsanalyse für *Leperisinus spec.*

Bei holzbesiedelnden Arten wurde die Anzahl der Einbohrlöcher (Muttergänge) registriert und es erfolgte die Messung des Durchmessers des Einbohrloches.

Statistische Auswertung

Nach einer $\log(x+1)$ -Transformation der Datensätze zum Erreichen der Voraussetzungen von Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde ein Allgemeines Lineares Modell zur Datenauswertung herangezogen. Wenn mit dem Modell ein signifikanter Einfluss der Testvariante auf das Auswerteparameter erklärt werden konnte, wurde anschließend der Fisher's-LSD Test durchgeführt um signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Testvarianten zu differenzieren.

9.1.1 FANGHOLZEXPERIMENT 2010

Durchgeführt wurde das Fangholzexperiment 2010 auf den Versuchsflächen Gemeine Esche (Teilfläche 459a⁴), Eiche (Wermsdorf, Abteilung 79) und Rot-Buche (Abteilung 605).

Da aufgrund der räumlichen Kapazitäten nicht für jede Baumart (Gemeine Esche, Rot-Buche, Eiche) alle für das Versuchsjahr 2010 ausgewählten Semiochemikalien (vgl. Kapitel 5.1.1) erprobt werden konnten, wurde eine Auswahl entsprechend Tabelle 113 getroffen. Bei der Auswahl wurde berücksichtigt, dass diejenigen Substanzen, welche ihren Ursprung im Untersuchungshabitat bzw. von einer im Untersuchungshabitat autochthonen Borkenkäferart haben, mit verwendet werden.

Tabelle 113: *Verwendete Semiochemikalien im Fangholzexperiment 2010*

Substanz	Abkürzung	Herkunft	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus spec.</i>
Ethanol	Eth	VOC	X	X	X
4-Methylheptan-3-ol	Mhept	<i>Scolytus spec.</i>			X
Veratrol	Ver	VOC <i>Fagus sylvatica</i>		X	X
3-Hydroxy-3-methylbutan-2-one	Mbone	<i>Xyloterus domesticus</i>		X	
Nonanon-2	Non	<i>Leperisinus varius</i> , VOC	X		
Acetophenon	Ace	<i>Taphrorychus bicolor</i> , VOC	X	X	X
Lineatin	Lin	<i>Trypodendron spec.</i>		X	X
Besiedlungszeitraum:			06.04.10-25.05.10	19.03.10-09.07.10	18.05.10-06.07.10
			7 Wochen	16 Wochen	7 Wochen

Als Dispenser wurden, bis auf das Lineatin, entsprechend der Tabelle 34 Einmalglas-kapillaren verwendet.

9.1.2 FANGHOLZEXPERIMENT 2011

Auch das Fangholzexperiment 2011 wurde auf den Versuchsflächen Gemeine Esche (Teilfläche 459a⁴), Eiche (Wermsdorf, Abteilung 79) und Rot-Buche (Abteilung 605) durchgeführt.

Entsprechend der heterogenen Ergebnisse aus dem Fallenfangexperiment 2010 sollte ein Teil der darin verwendeten Substanzen erneut, jedoch mit anderen Dispensertypen verwendet werden. Ein weiterer Schwerpunkt des Experimentes war die Erprobung der Substanzen Sexowit® und Chalcogran am Laubholz, um deren Eignung als Allochthone Kairomone im Laubholzhabitat beurteilen zu können. Die für das Experiment verwendeten Semiochemikalien sind in der Übersicht in Tabelle 114 dargestellt.

Tabelle 114: *Verwendete Semiochemikalien im Fangholzexperiment 2011*

Substanz	Abkürzung	Ursprung	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus spp.</i>
Etahnol	Eth	VOC	X	X	X
4-Methylheptan-3-ol	Mhept	<i>Scolytus spec.</i>			X
Nonanon-2	Non	<i>Leperisinus varius</i>			X
Mix	Mhept+Non				X
Veratrol	Ver	VOC <i>Fagus sylvatica</i>	X	X	
EAG-Mix	EAG-Mix	VOC	X		
Chalcogran	Ch	<i>Pityogenes chalcographus</i>	X	X	X
Sexowit®	Sex	<i>Ips sexdentatus</i>	X	X	X
Lineatin	Lin	<i>Trypodendron spec.</i>		X	
Besiedlungszeitraum:			08.03.11-03.05.11	18.03.11-03.06.11	23.05.11-29.08.11
			8 Wochen	11 Wochen	14 Wochen

Legende: EAG-Mix bestand aus olfaktorisch aktiven Substanzen für *T. formicarius* (vgl. Kapitel 8.1.1): Linalool, Elemicin, cis-Nerolidol, 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon; der Chalcogran-Dispenser war eine Mischung aus Chalcogran und 2-Methyl-3-butan-2-ol

Die Semiochemikalien wurden für dieses Experiment in Doppelreservoirdispenser der Firma BASF gefüllt. Die Befüllung der Reservoirs des Dispensers erfolgte mit jeweils 1 ml der Testsubstanz. Der Sexowit®-Dispenser wurde handelsüblich als Foliendispenser verwendet.

Auf der Eschenversuchsfläche (Teilfläche 458a⁴) wurden am 20.06.2011 zudem vier Fanghölzer von vier unterschiedlichen Eschen gewonnen, um einen Überblick über den Einfluss der später im Jahresverlauf auftretenden Parasitoide zu erhalten. Die Hölzer wurden an Eschen gewonnen, die im Februar 2011 eingeschlagen und bis zum Sommer 2011 der Besiedlung durch *L. varius* überlassen wurden. Die Ergebnisse werden im Folgenden getrennt von den übrigen Ergebnissen dargestellt, da mit den Fanghölzern kein Bezug zu den übrigen Fanghölzern des Fangholzexperimentes auf der Eschenversuchsfläche hergestellt werden kann.

9.1.3 FANGHOLZEXPERIMENT 2012

Mit dem Fangholzexperiment auf der Kiefernversuchsfläche bei Baruth / Mark sollten Semiochemikalien aus Laubhölzern auf deren Eignung zur Erzeugung von Repellenz auf bast- und holzbesiedelnde Insekten an Gemeiner Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) untersucht werden. Im Rahmen des Experimentes wurden die in Tabelle 115 aufgeführten Substanzen hinsichtlich der benannten Eigenschaft beprobt.

Tabelle 115: *Verwendete Semiochemikalien im Fangholzexperiment 2012*

Substanz	Abkürzung	Ursprung	<i>Pinus sylvestris</i>
Veratrol	Ver	VOC Fagus sylvatica	X
Nonanon-2	Non	Leperisinus varius	X
Acetophenon	Ace	<i>Taphrorychus bicolor</i> , VOC	X
Besiedlungszeitraum:			14.03.12-24.05.2012
			11 Wochen

Analog zu den Fangholzexperimenten von 2010 und 2011 wurden vier Fangholzinseln mit jeweils einer Nullvariante in der Mitte aufgebaut. Für jede Variante wurde ein 80 cm langes Kiefernholzstück mit Borke und ein 80 cm langes Kiefernholzstück mit Spiegelrinde parallel nebeneinander auf eine Holzunterlage gelegt. Die Semiochemikalien wurden in Reservoirdispenser gefüllt (Füllmenge in jedem Reservoir: 1 ml) und zwischen beide Holzstücke der entsprechenden Variante gehangen.

9.2 ERGEBNISSE

9.2.1 GEMEINE ESCHE

9.2.1.1 FANGHOLZEXPERIMENT 2010

Von den bast- und holzbesiedelnden Insekten konnte an den Eschenfanghölzern im Fangholzexperiment 2010 ausschließlich Besiedlung durch *L. varius* festgestellt werden. Aufgrund der fehlenden Besiedlung der Hölzer auf der Fangholzinsel 2 wurden diese in der weiteren Darstellung nicht weiter berücksichtigt. Beim Einholen der Hölzer von der Versuchsfläche wurde darüber hinaus festgestellt, dass diese teilweise sehr stark von Vegetation überwachsen waren.

Für die Zahl der von *L. varius* angelegten Muttergänge pro m² konnten mit dem Allgemeinen Linearen Modell keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten des Experimentes beschrieben werden (Abbildung 69 links). Die Zahl der Muttergänge an den mit Nonanon-2 bestückten Fanghölzern war im Vergleich zu allen anderen Varianten jedoch tendenziell erhöht. Im Vergleich zur Ethanol-Variante wurden an den mit Nonanon-2 bestückten Fanghölzern im Mittel 80,3 % mehr Muttergänge angelegt. Keine der getesteten Varianten reduzierte die Zahl der angelegten Muttergänge im Vergleich zur unbehandelten Variante. Auch eine statistische Analyse des Besiedlungsprozentes der Stammoberflächen brachte keine signifikanten Unterschiede an den einzelnen Varianten hervor (Abbildung 69 rechts).

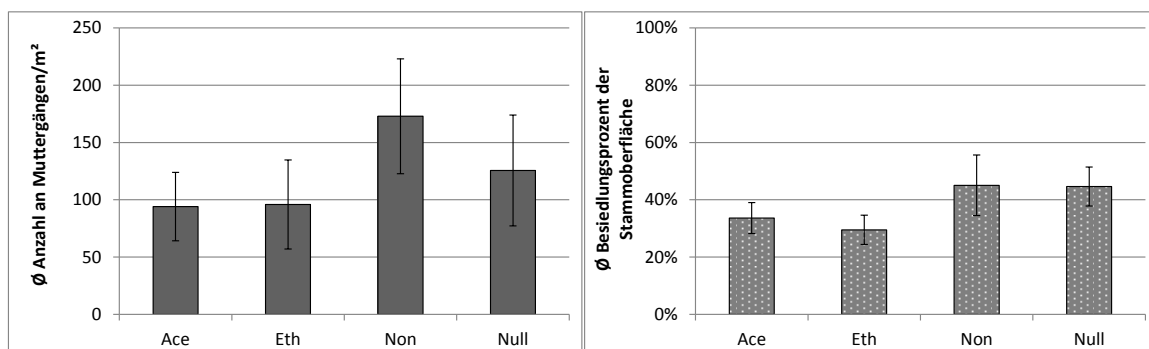


Abbildung 69: links: Mittlere Anzahl an Muttergängen von *L. varius* pro m² dargestellt für die verwendeten Varianten (ALM: $SQ = 0,148$; $df = 3$; $MQ = 0,049$; $F = 1,880$; $p = 0,211$) rechts: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *L. varius* (ALM: $SQ = 0,005$; $df = 3$; $MQ = 0,002$; $F = 3,579$; $p = 0,066$)

Bei den in Abbildung 70 dargestellten Schlupfraten von *L. varius* und *T. formicarius* konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten beobachtet werden. Die Schlupfraten der beiden Arten wiesen zudem sehr hohe Streuungen zwischen

den Wiederholungen auf. Die Nonanon-2-Variante, an welcher sich die meisten Muttergänge pro m² befanden, brachte neben der Nullvariante auch die höchste Zahl an Eschenbastkäfern pro m² hervor. Im Vergleich zur Ethanol-Variante schlüpfen an der Nonanon-2-Variante jedoch nur 44,1 % mehr Eschenbastkäfer. Sich an den Eschenbastkäfern entwickelnde Ameisenbuntkäfer konnten mit der Nonanon-2-Variante nicht erfasst werden. Die im Mittel niedrigste Anzahl an Eschenbastkäfern wurde an der Ethanol-Variante festgestellt, an der sich im Mittel auch die höchste Anzahl an Ameisenbuntkäfern entwickelte. Die Streuung der erfassten Ameisenbuntkäfer pro m² an den Wiederholungen der Ethanol-Variante war jedoch sehr hoch (Abbildung 70).

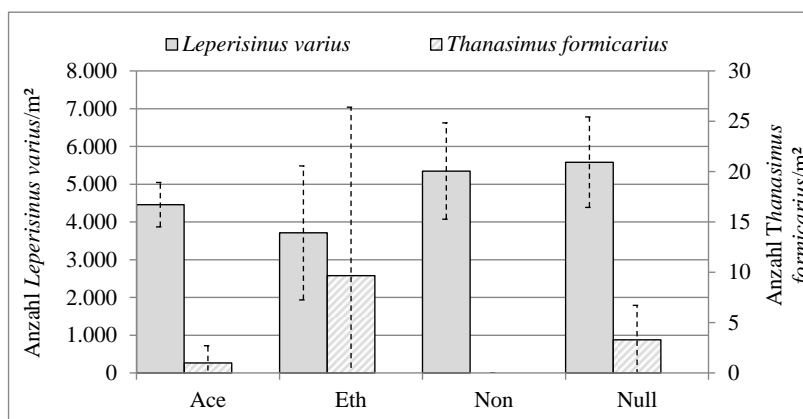


Abbildung 70: Anzahl der aus den Eschenhölzern im Eklektor geschlüpften *L. varius* (ALM: $QS = 0,077$; $df = 3$; $MQ = 0,0256$; $F = 1,483$; $p = 0,291$) und *T. formicarius* (ALM: $QS = 0,530$; $df = 3$; $MQ = 0,177$; $F = 0,670$; $p = 0,594$)

In der Summe wurden die längsten Muttergänge an der Nonanon-2-Variante angelegt, die kürzesten hingegen waren an der Ethanol-Variante zu finden. Betrachtet man die mit den Semiochemikalien induzierte Mortalität auf *L. varius*, dann fällt auf, dass die Ethanol-Variante mit 7,0 % Mortalität pro cm Muttergang einen der schlechtesten Werte aufweist (Tabelle 116). Hingegen war die Mortalität an den Varianten Nonanon-2 und der Nullvariante am höchsten, was jedoch nicht mit dem Auftreten weiterer Antagonisten erklärt werden konnte.

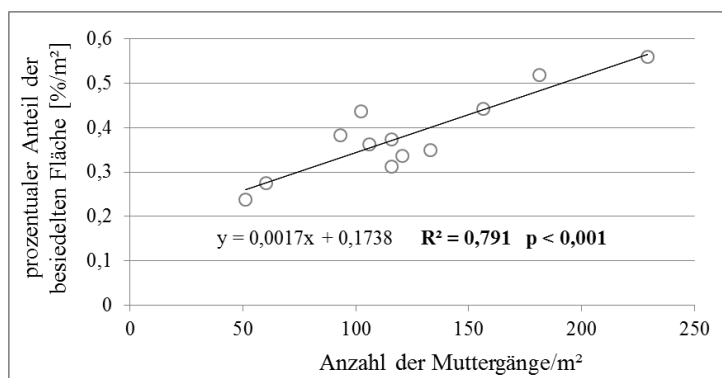
Die meisten Eschenbastkäfer pro cm Muttergang entwickelten sich an der Acetophenon-Variante bis zur Imago, die geringste Anzahl wurde an der Nonanon-2-Variante festgestellt. Der leichte Anstieg im letzten Entwicklungsstadium der Eschenbastkäfer an der Acetophenon-Variante lässt sich im Naturprozess nicht erklären und ist vermutlich auf eine Unterschätzung der Anzahl der anderen Entwicklungsstadien zurückzuführen, welche nur stichprobenartig erfasst wurden (Tabelle 116).

Tabelle 116: Summierte Länge der angelegten Muttergänge und Mortalität von *L. varius* in den einzelnen Entwicklungsstufen

Variante	Länge Muttergänge [cm/m ²]		Erfasste Entwicklungsstadien pro cm Muttergang (MG)					
	Summe \emptyset	SD	Ei/cm MG	Larve/cm MG	Puppe/cm MG	Imago/cm MG	Mortalität/cm MG	
Acetophenon	456,9	138,4	[St]	9,69	9,58	9,49	9,63	0,06
			Anteil	100,0%	98,9%	98,0%	99,4%	0,6%
Ethanol	414,7	141,9	[St]	9,60	9,17	8,95	8,93	0,67
			Anteil	100,0%	95,4%	93,2%	93,0%	7,0%
Nonanon-2	690,0	280,7	[St]	10,31	10,31	10,12	7,71	2,60
			Anteil	100,0%	100,0%	98,2%	74,8%	25,2%
Nullvariante	650,3	151,8	[St]	10,94	10,66	10,41	8,54	2,40
			Anteil	100,0%	97,4%	95,2%	78,0%	22,0%

Insgesamt betrachtet waren die Ergebnisse mit Eschenfanghölzern im Versuchsjahr 2010 sehr indifferent. Vermutlich beeinflusste die die Fanghölzer überwuchernde Vegetation die Wirtsfindung der Eschenbastkäfer. Auf eine Empfehlung einer Variante für naturnahe Regulationsverfahren soll daher an dieser Stelle verzichtet werden. Zumindest schien keine Variante eine zur Nullvariante geringere Besiedlung an Eschenbastkäfern erzeugen zu können.

Aus den Ergebnissen konnte jedoch eine starke Korrelation zwischen der Zahl der angelegten Muttergänge pro m² und dem prozentualen Anteil der besiedelten Mantelfläche nachgewiesen werden (Abbildung 71). Eine geringere Anzahl an Muttergängen führt demnach nicht zu einer konstanten sondern zu einer geringeren Brutraumausnutzung.

**Abbildung 71:** Korrelation zwischen der Anzahl an Muttergängen pro m² und der prozentual besiedelten Mantelfläche

9.2.1.2 FANGHOLZEXPERIMENT 2011

Für das Experiment wurden, wie in Kapitel 9.1 beschrieben, insgesamt vier Fangholzinseln aufgebaut, jedoch konnte nur auf drei Fangholzinseln eine Besiedlung mit *L. varius* nachgewiesen werden. Die unbesiedelte Fangholzinsel wurde in den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Wie aus Abbildung 72 zu entnehmen ist, konnte die Besiedlungsintensität der Eschenhölzer mit den nadelbaumbürtigen Lockstoffen Sexowit® und Chalcogran im Vergleich zur Nullvariante deutlich reduziert werden. Die Zahl der angelegten Muttergänge/m² war an den mit Sexowit® bestückten Hölzern signifikant niedriger. Im Mittel wurde an diesen Hölzern im Vergleich zur Nullvariante eine um 86,3 % niedrigere Anzahl an Muttergängen/m² angelegt. Auch die Chalcogran-Variante erzielte mit einer im Vergleich zur Nullvariante um 76,6 % geringeren Anzahl an Muttergängen/m² vielversprechende Ergebnisse. Im Gegensatz dazu konnte an den Varianten Ethanol und Veratrol im Vergleich zur Nullvariante eine tendenziell höhere Zahl an Muttergängen/m² nachgewiesen werden.

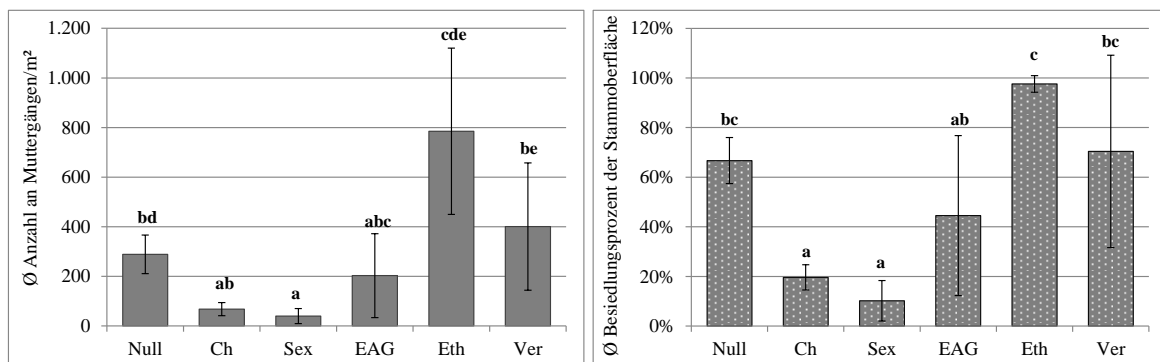


Abbildung 72: links: Mittlere Anzahl an Muttergängen/m² von *L. varius* (ALM: $SQ = 5,168$; $df = 5$; $MQ = 1,034$; $F = 3,351$; $p = 0,040$) und rechts: berechnetes Besiedlungsprozent der einzelnen Fangholzvarianten (ALM: $SQ = 0,139$; $df = 5$; $MQ = 0,028$; $F = 4,970$; $p = 0,011$)

Auch bei Betrachtung der prozentual besiedelten Mantelfläche zeigen sich vergleichbare Resultate. Die Varianten Sexowit® und Chalcogran erzeugten hier signifikant niedrigere Besiedlungsprozente als die Nullvariante. Hingegen wurden an der Ethanol Variante deutlich höhere Besiedlungsprozente nachgewiesen, welche im Mittel nahezu an 100 % der Oberfläche des Fangholzes heranreichten. Auch beim Veratrol zeigt sich dies in Tendenz, wenngleich hier im Gegensatz zur Ethanol-Variante die Streuung zwischen den einzelnen Fanghölzern deutlich größer war.

Für die aus den Eschenhölzern geschlüpfen Eschenbastkäfer und Ameisenbuntkäfer konnten mit dem Allgemeinen Linearen Modell keine Unterschiede in der Anzahl auf die Behandlungsvariante zurückgeführt werden. Dennoch konnten deutliche Unterschiede in der Anzahl der geschlüpfen Eschenbastkäfer und Ameisenbuntkäfer mit den einzelnen Fangholzvarianten erfasst werden. Erwartungsgemäß konnten die meisten Eschenbastkäfer mit den Varianten erfasst werden, welche am stärksten besiedelt waren (Abbildung 72). Die höchste Anzahl mit im Mittel 20.216,4 Eschenbastkäfern/m² wurde an der Ethanol-

Variante beobachtet. Hingegen schlüpften aus den Fanghölzern der Sexowit®-Variante im Mittel nur 1.722,9 Eschenbastkäfer/m² gefolgt von der Chalcogran-Variante mit 3.394,8 Eschenbastkäfern/m². Im Vergleich zur unbehandelten Variante (Nullvariante) entwickelten sich damit aus den mit Sexowit® bestückten Hölzern 80,23 % weniger Eschenbastkäfer und aus den mit Chalcogran bestückten Fanghölzern 61,04 % weniger Eschenbastkäfer.

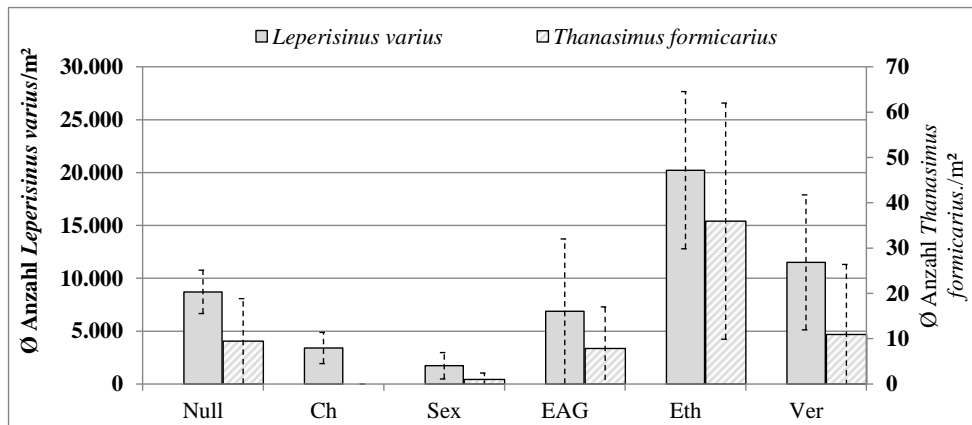


Abbildung 73: Anzahl der aus den Eschenhölzern im Eklektor geschlüpften *L. varius* (ALM: $SQ = 7,357$; $df = 5$; $MQ = 1,472$; $F = 1,956$; $p = 0,158$) und *T. formicarius* (ALM: $SQ = 2,515$; $df = 5$; $MQ = 0,503$; $F = 1,066$; $p = 0,426$)

Wenngleich auch die Anzahl der erfassten *T. formicarius* aus den Fanghölzern statistisch nicht auf die Variante zurückgeführt werden konnte, zeigte sich, dass an Fanghölzern mit hoher Besiedlungsdichte von Eschenbastkäfern auch eine höhere Besiedlungsdichte der Ameisenbuntkäfer hervorgebracht wurde (Abbildung 73). Die sich in den mit Sexowit® und Chalcogran bestückten Fanghölzern entwickelten *T. formicarius* erreichten nur sehr geringe Anzahlen, was bei Beachtung der im Vergleich zu den anderen Fanghölzern geringen Zahl an potentieller Beute auch schlüssig erscheint (Abbildung 73). Dennoch dürfte den Ergebnissen der Fallenfangexperimente folgend, die Zahl der die Sexowit®-Hölzer frequentierenden Ameisenbuntkäfer beachtlich hoch gewesen sein. Ein tendenzieller Unterschied im Vergleich zur unbehandelten Variante in der Anzahl der sich entwickelnden Ameisenbuntkäfer konnte lediglich mit der Ethanol-Variante beobachtet werden. An diesen Fanghölzern entwickelten nahezu viermal mehr Ameisenbuntkäfer pro m² als an der Nullvariante.

Das Zusammenwirken der Faktoren hohe Besiedlungsdichte und Prädationsdruck wird in Tabelle 117 deutlich. Entsprechend des anzunehmend hohen Konkurrenzdruckes der Eschenbastkäfer an der Ethanol-Variante war die Anzahl der pro Muttergang abgelegten Eier mit Abstand am niedrigsten. Hingegen war an der Ethanol-Variante die summierte

Länge der Muttergänge mit Abstand am größten (Tabelle 117). Die Zahl abgelegter Eier pro Muttergang war bei den sehr gering besiedelten Varianten Sexowit® und Chalcogran am höchsten. An diesen Varianten wurden etwa doppelt so viele Eier pro Muttergang abgelegt, als an der Ethanol-Variante.

Tabelle 117: Summierte Länge der angelegten Muttergänge und Mortalität von *L. varius* in den einzelnen Entwicklungsstufen

Variante	Länge Muttergänge [cm/m ²]		Erfasste Entwicklungsstadien pro cm Muttergang (MG)					Mortalität/cm MG
	Ø Summe	SD	Ei/cm MG	Larve/cm MG	Puppe/cm MG	Imago/cm MG		
Chalcogran	313,9	132,3	[St] Anteil	13,38 100,0%	13,16 98,4%	11,93 89,2%	10,52 78,6%	2,86 21,4%
Sexowit®	177,3	165,5	[St] Anteil	14,84 100,0%	14,70 99,0%	11,76 79,2%	6,67 44,9%	8,17 55,1%
Ethanol	2.925,5	841,1	[St] Anteil	8,24 100,0%	8,05 97,6%	4,00 48,5%	6,71 81,4%	1,54 18,6%
EAG-Mix	916,9	996,3	[St] Anteil	10,82 100,0%	10,52 97,2%	8,87 81,9%	7,56 69,9%	3,26 30,1%
Veratrol	1.696,9	1.296,6	[St] Anteil	10,88 100,0%	10,72 98,6%	8,51 78,2%	7,54 69,3%	3,34 30,7%
Nullvariante	1.393,1	327,3	[St] Anteil	11,03 100,0%	10,82 98,2%	8,83 80,1%	6,79 61,5%	4,24 38,5%

Beim Übergang vom Eistadium zum Larvenstadium konnte bei allen Testvarianten eine vergleichsweise identische Mortalität zwischen 0,9 und 2,8 % erfasst werden (Tabelle 117). Ein Unterschied in der Mortalität der Eschenbastkäfer in Abhängigkeit von den Testvarianten wurde hingegen ab dem Larvenstadium sichtbar. Der stärkste Einfluss konnte hierbei an den mit Sexowit® bestückten Fanghölzern beobachtet werden, an denen vom Eistadium bis zum geschlüpften Käfer eine Mortalität der Eschenbastkäfer pro cm Muttergang von 55,1 % zu beobachten war. Hingegen war die zu beobachtende Mortalität an der Chalcogran- und Ethanol-Variante am geringsten (Tabelle 117). Die Zahl der Eschenbastkäfer im Puppenstadium schien bei der Ethanol-Variante im Vergleich zur Anzahl der Eschenbastkäfer im Larvenstadium zunächst sehr stark abzufallen, musste jedoch bei Betrachtung der Anzahl geschlüpfter Eschenbastkäfer korrigiert werden. Ein Grund hierfür ist die Anlage eines Teils der Puppenwiegen in der Eschenholzrinde, was auf die hohe Besiedlungsdichte zurückzuführen sein dürfte. Die Differenz resultierte folglich daraus, dass bei der Besiedlungsanalyse methodisch bedingt nur die im Holz angelegten Puppenwiegen aufgenommen wurden (Abbildung 68) und die in der Rinde angelegten Puppenwiegen durch das Schälen der Stämme nicht aufgenommen werden konnten.

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass auch bei einer zunächst gering erscheinenden Anzahl an Ameisenbuntkäfern/m², wie sie bei der Sexowit®-Variante beobachtet werden konnte, eine sehr hohe Mortalität pro Muttergang eines Eschenbastkäfers vorkommen

kann. Demnach konnten mit dem Sexowit® zwei positive Effekte erzielt werden. Die mit der Substanz bestückten Fanghölzer wurden zunächst am geringsten besiedelt und zeigten zudem den Einfluss der Ameisenbuntkäfer in den Brutsystemen der Eschenbastkäfer am deutlichsten.

Von den verwendeten Varianten schienen, aufgrund der deutlichen und teilweise signifikanten Reduktion der angelegten Muttergänge pro m², die Lockstoffe Chalcogran und Sexowit® geeignet, einen naturnahen Schutz des Eschenholzes zu bewirken.

Analog zum Fangholzexperiment 2010 mit Gemeiner Esche, konnte auch im Versuchsjahr 2011 ein linearer Zusammenhang zwischen der Anzahl an Muttergängen pro m² und der prozentualen Besiedlungsfläche bei *L. varius* beobachtet werden ($y = 0,001x + 0,2408$; $R^2 = 0,720$; $p < 0,001$), was sich in Abbildung 72 widerspiegelt. Darüber hinaus konnte jedoch auch ein negativ logarithmischer Zusammenhang zwischen der Anzahl der Muttergänge und der pro cm Muttergang abgelegten Eier von *L. varius* nachgewiesen werden (Abbildung 74).

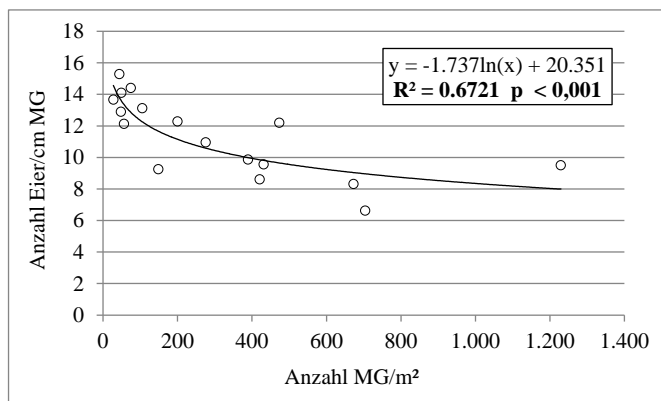


Abbildung 74: Regression zwischen Anzahl der von *L. varius* angelegten MG/m² und der Anzahl abgelegter Eier von *L. varius* pro cm MG

Demzufolge führt eine höher werdende Anzahl an Muttergängen pro m² zu einer reduzierten Eiablage pro cm Muttergang, was letztendlich als Erklärung für die Anzahl abgelegter Eier pro cm Muttergang an den unterschiedlichen Varianten des Experimentes herangezogen werden kann (Tabelle 117).

Tabelle 118: Summierte Länge der angelegten Muttergänge und Mortalität von *L. varius* in den einzelnen Entwicklungsstufen an parasitierten Eschenhölzern vom Juni 2011

Variante	Länge Muttergänge [cm/m ²]		Erfasste Entwicklungsstadien pro cm Muttergang (MG)				
	Ø Summe	SD	Ei/cm MG	Larve/cm MG	Puppe/cm MG	Imago/cm MG	Mortalität/cm MG
Parasitoide	2.343,8	760,8	9,32 [St] Anteil 100,0%	7,15 76,7%	3,92 42,1%	1,90 20,4%	7,41 79,6%

Die vier erst am 20.06.2011 gewonnen Eschenhölzer, die nicht zum eigentlichen Fangholzexperiment zählten, wiesen eine sehr starke Besiedlung mit Parasitoiden auf. Eine Übersicht über das erfasste Artenspektrum wird in Abbildung 75 gegeben. Am häufigsten konnte eine Entwicklung von *C. filiformis* aus den mit *L. varius* besiedelten Eschenhölzern erfasst werden.

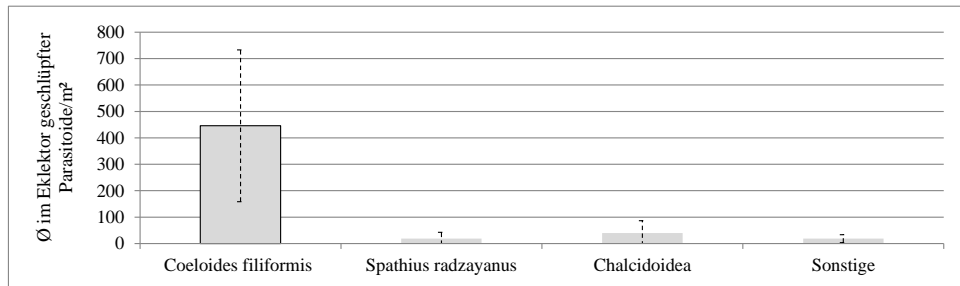


Abbildung 75: Übersicht gefundener Parasitoide an mit *L. varius* besiedelten Eschenhölzern

Die vom Eistadium bis zur Imago erfasste Mortalität betrug 79,6 %. Und war damit noch deutlich höher als an Eschenhölzern, welche im Fangholzexperiment mit Sexowit® bestückt waren (Tabelle 118 und Tabelle 117). Darüber hinaus fällt auf, dass die Mortalität im Larven und Puppenstadium an den mit Parasitoiden besiedelten Eschenhölzern deutlich höher ist, als an den Hölzern des Fangholzversuches. An den parasitierten *Leperisinus*-Hölzern entwickelten sich im Mittel nur 1,9 Eschenbastkäfer pro cm Muttergang zum Imago. Das war mit Abstand der geringste Wert aller untersuchten Hölzer (Tabelle 118).

9.2.2 ROT-BUCHE

9.2.2.1 FANGHOLZEXPERIMENT 2010

An den Rot-Buchen-Fanghölzern im Fangholzexperiment 2010 konnte Besiedlung durch *T. bicolor* und *T. domesticum* festgestellt werden. Zudem wurden an den Fanghölzern Einbohrlöcher mit 1 mm Durchmesser festgestellt, die auf die Arten *X. germanus* oder *X. saxeseni* zurückgeführt werden könnten. Im Folgenden werden die Einbohrlöcher daher als von einer unidentifizierten holzbesiedelnden Art stammend bezeichnet. Die Anzahl der an den Varianten erfassten Muttergänge bzw. Rammelkammern pro m² der einzelnen Arten ist in Abbildung 76 aufgeführt. Für keine der erfassten Arten konnte ein signifikanter Einfluss der Variante auf die Anzahl angelegter Muttergänge / Rammelkammern festgestellt werden. Dennoch fällt auf, dass an der Lineatin-Variante die Anzahl der angelegten Muttergänge / Rammelkammern aller erfassten Arten am höchsten war. *T. bicolor* und die unidentifizierte holzbesiedelnde Art waren an allen Rot-Buchen-

Fanghölzern zu finden. Hingegen konnte *T. domesticum* nur an den Varianten Lineatin, Ethanol und der Nullvariante erfasst werden. Die dominierende Art hinsichtlich der Anzahl angelegter Muttergänge war die unidentifizierte holzbesiedelnde Art. Von den bastbesiedelnden Scolytidae wurde ausschließlich *T. bicolor* erfasst. Die Besiedlung der Rot-Buchen-Fanghölzer war allerdings so gering, dass im Mittel weniger als fünf Prozent der Stammoberfläche mit Brutbildern bedeckt waren (Abbildung 77). Das höchste Besiedlungsprozent bei *T. bicolor* wurde an der Lineatin-Variante erfasst.

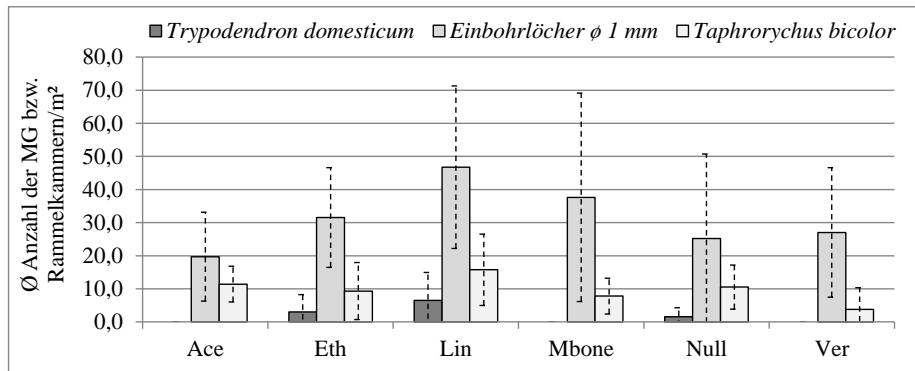


Abbildung 76: Mittlere Anzahl der erfassten Muttergänge pro m^2 von *T. domesticum* (ALM: $SQ = 0,960$; $df = 5$; $MQ = 0,192$; $F = 1,272$; $p = 0,337$), Einbohrlöcher ϕ 1 mm (ALM: $SQ = 1,411$; $df = 5$; $MQ = 0,060$; $F = 0,513$; $p = 0,762$) und Rammelkammern von *T. bicolor* (ALM: $SQ = 1,148$; $df = 5$; $MQ = 0,230$; $F = 1,123$; $p = 0,399$)

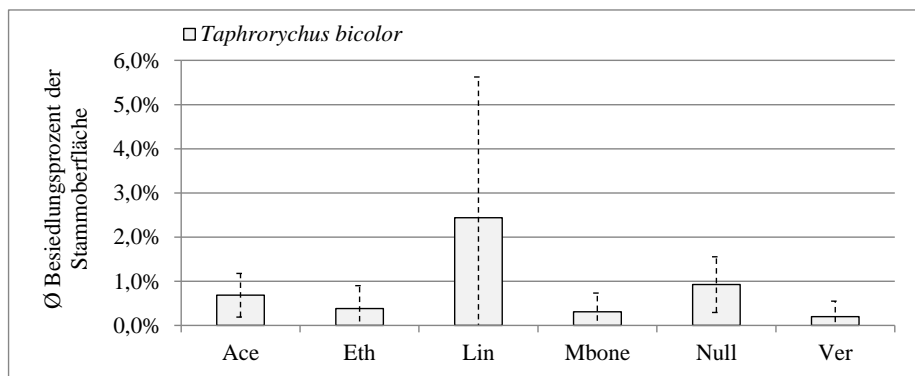


Abbildung 77: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *T. bicolor* (ALM: $SQ = 0,0002$; $df = 5$; $MQ = 3,73E-5$; $F = 1,109$; $p = 0,406$)

Die Zahl der im Eklektor geschlüpften Individuen unterschied sich sehr stark von der anhand der Muttergänge / Rammelkammern zu erwartenden Individuenanzahl (Abbildung 78). Entsprechend war die Zahl der sich entwickelten *T. bicolor* über alle Varianten am höchsten, gefolgt von *X. germanus*. Die Anzahl der sich, über alle Varianten betrachtet, pro Muttergang entwickelten Individuen betrug bei *T. bicolor* rund 4,7 Individuen und bei *X. germanus* rund 0,05 Individuen. Von *T. domesticum* konnten keine fertig entwickelten Individuen mit den Eklektoren erfasst werden. Möglicherweise übte der Trocknungs-

prozess des Holzes in den Eklektoren einen negativen Einfluss auf die Vitalität der holzbesiedelnden Insekten aus. Von *X. saxeseni* konnte ebenfalls kein Individuum erfasst werden.

Im Mittel entwickelten sich mit 260,5 Individuen mehr *T. bicolor* an der Nullvariante als an der Lineatin-Variante (236,0 Individuen), obwohl anhand der Zahl der erfassten Muttergänge ein umgekehrtes Ergebnis erwartet werden konnte (Abbildung 76 und Abbildung 78).

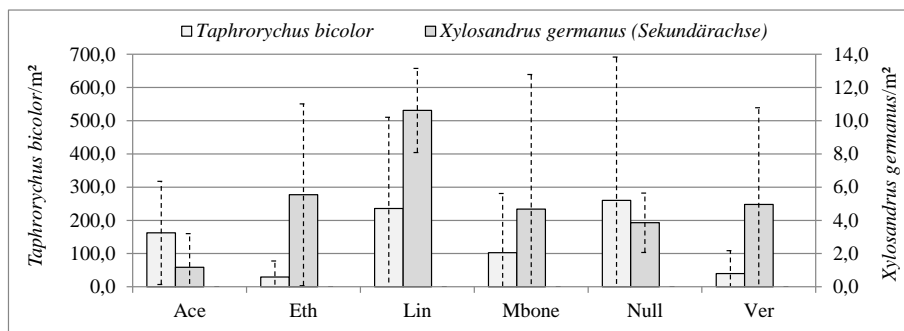


Abbildung 78: Anzahl der aus den Rot-Buchen-Hölzern im Eklektor geschlüpften *T. bicolor* (ALM: $SQ = 4,668$; $df = 5$; $MQ = 0,934$; $F = 0,634$; $p = 0,678$) und *X. germanus* (ALM: $SQ = 1,214$; $df = 5$; $MQ = 0,243$; $F = 1,159$; $p = 0,383$)

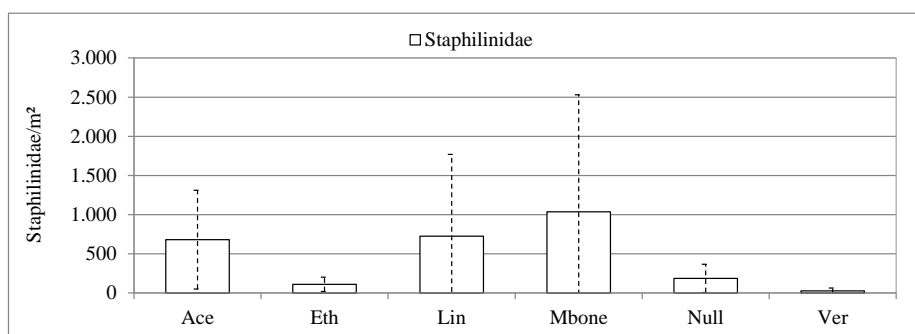


Abbildung 79: Anzahl der aus den Rot-Buchen-Hölzern im Eklektor geschlüpften Staphilinidae mit Körperdurchmesser $\varnothing < 0,5$ mm (ALM: $SQ = 6,116$; $df = 5$; $MQ = 1,223$; $F = 2,021$; $p = 0,148$)

Möglicherweise bewirkten die als einzige Prädatoren erfassten Staphilinidae (Körperdurchmesser $\varnothing < 0,2$ mm) die verminderte Schlupfzahl von *T. bicolor* an den Lineatin-Varianten. Wie in Abbildung 79 ersichtlich, wurden an den Lineatin-Varianten deutlich mehr Staphilinidae erfasst, als an der Nullvariante. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen den erfassten Staphilinidae und der Variante konnte jedoch nicht beschrieben werden. Tendenziell war die Zahl der im Eklektor erfassten Staphilinidae an der 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on Variante am höchsten.

Neben den bereits in Abbildung 76 aufgeführten bast- und holzbesiedelnden Insekten, welche an den Rot-Buchen-Fanghölzern erfasst wurden, konnte auch ein Befall der Hölzer

mit Bockkäfern nachgewiesen werden. Der Befall war jedoch im Mittel über alle Varianten hinweg kleiner 25 % der Mantelfläche (Abbildung 80). Einzig die Ethanol-Variante zeigte im Vergleich zu den anderen Varianten einen leicht erhöhten Befall mit Bockkäfern.

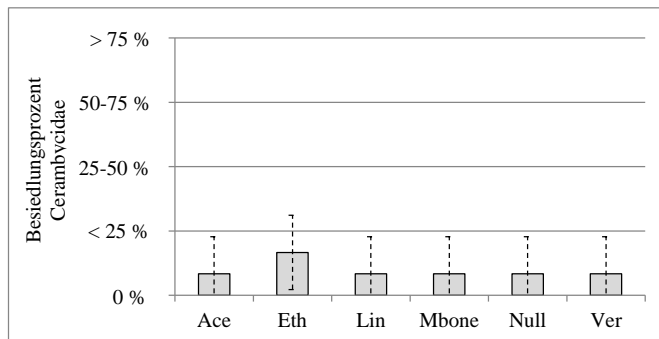


Abbildung 80: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Rot-Buchen-Fanghölzer mit Cerambycidae (ALM: $SQ = 9,000$; $df = 5$; $MQ = 1,800$; $F = 1,662$; $p = 0,195$)

9.2.2.2 FANGHOLZEXPERIMENT 2011

Mit dem Fangholzexperiment von 2011 wurde das gleiche Artenspektrum an Borkenkäfern an den Rot-Buchen-Fanghölzern erfasst, wie im Fangholzexperiment 2010. Für die Anzahl der von *T. domesticum* und der unidentifizierten Art (Einbohrlöcher \varnothing 1 mm) angelegten Muttergänge konnten signifikante Unterschiede an den einzelnen Fangholzvarianten nachgewiesen werden (Abbildung 81). Entsprechend legte *T. domesticum* an den Varianten Chalcogran, Sexowit® und Veratrol signifikant weniger Muttergänge pro m^2 an als an der Nullvariante. Hingegen führte das Lineatin am Rot-Buchen-Fangholz zu einer signifikant gesteigerten Anlage von Muttergängen. Die Ethanol-Variante bewirkte keine Unterschiede hinsichtlich der angelegten Muttergänge pro m^2 im Vergleich zur Nullvariante (Abbildung 81A). Auch die unidentifizierte holzbesiedelnde Art legte die meisten Muttergänge pro m^2 an der Lineatin-Variante an (Abbildung 81B). Hingegen wurden an der Sexowit®-Variante signifikant weniger Einbohrlöcher erfasst als an der Lineatin-Variante. Im Vergleich zur Nullvariante konnten keine signifikanten Unterschiede der Sexowit®-Variante hinsichtlich der Anzahl der Einbohrlöcher pro m^2 nachgewiesen werden ($p = 0,052$). In der Tendenz wurde jedoch die geringste Anzahl an Einbohrlöchern pro m^2 an der Sexowit®-Variante beobachtet. Aber auch an den Varianten Chalcogran und Veratrol wurden geringfügig weniger Einbohrlöcher pro m^2 als an der Nullvariante erfasst (Abbildung 81B).

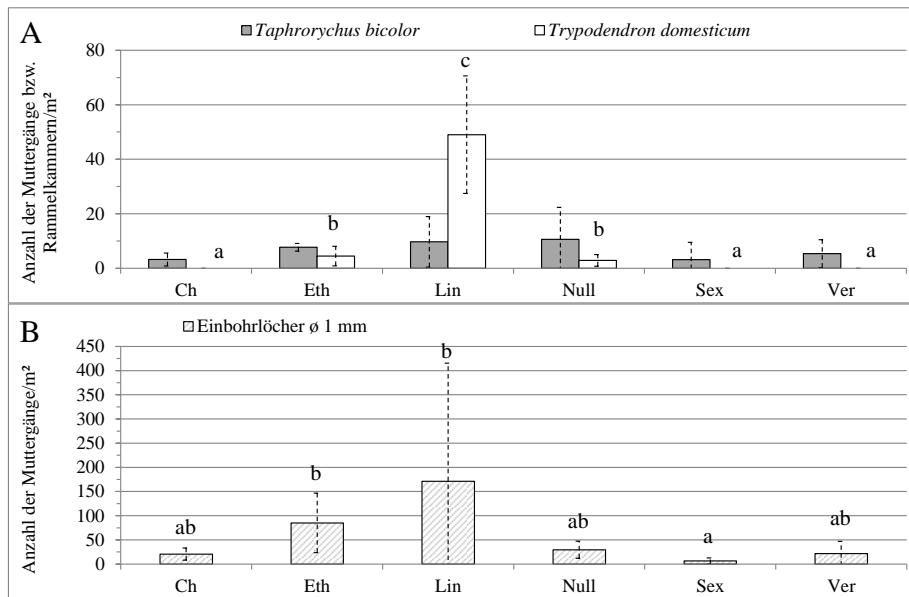


Abbildung 81: A) Mittlere Anzahl der erfassten Rammelkammern pro m² von *T. bicolor* (ALM: $SQ = 1,285$; $df = 5$; $MQ = 0,257$; $F = 1,300$; $p = 0,307$) und Muttergänge pro m² von *T. domesticum* (ALM: $SQ = 8,475$; $df = 5$; $MQ = 1,695$; $F = 29,276$; $p < 0,001$) und **B)** Mittlere Anzahl der erfassten Einbohrlöcher von 1mm Durchmesser pro m² (ALM: $3,504$; $df = 5$; $MQ = 0,701$; $F = 2,917$; $p = 0,042$)

Für *T. bicolor* konnten keine Unterschiede in der Anzahl angelegter Rammelkammern pro m² zwischen den einzelnen Varianten beobachtet werden. Tendenziell wurden an allen Testvarianten weniger Rammelkammern angelegt, als an der Nullvariante (Abbildung 81A). Das Besiedlungsprozent der Stammoberfläche war an allen getesteten Varianten sehr gering und betrug im Mittel bei allen Varianten weniger als 5 % (Abbildung 82). Signifikante Unterschiede konnten nicht erfasst werden, jedoch war das Besiedlungsprozent an den aus dem Nadelwaldhabitat stammenden Varianten Chalcogran und Sexowit® am geringsten.

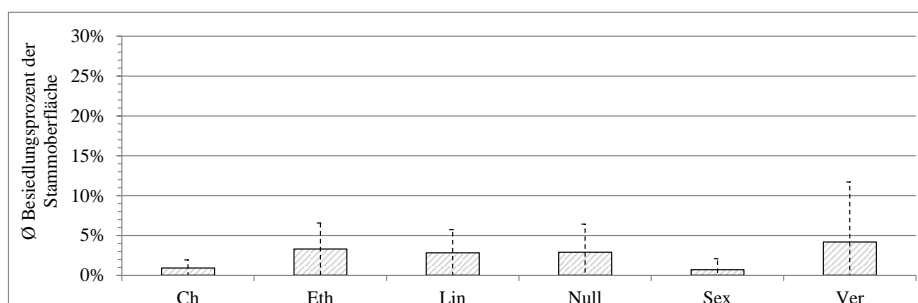


Abbildung 82: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *T. bicolor* (ALM: $SQ = 0,042$; $df = 5$; $MQ = 0,008$; $F = 0,638$; $p = 0,673$)

Neben den bast- und holzbesiedelnden Borkenkäfern wurde an allen Rot-Buchen-Fanghölzern eine Besiedlung mit Cerambycidae und Buprestidae festgestellt (Abbildung 83). Im Mittel lag der Anteil der besiedelten Stammoberfläche aller Fangholz-Varianten von Bockkäfern und Prachtkäfern bei jeweils maximal 25 %. Eine Meidung der Varianten

Sexowit® und Chalcogran konnte nicht beobachtet werden. Hingegen war das Besiedlungsprozent mit Prachtkäfern an der Variante Chalcogran im Vergleich zu allen anderen Varianten leicht erhöht. Das Besiedlungsprozent der Cerambycidae hingegen war an der Ethanol-Variante leicht erhöht (Abbildung 83).

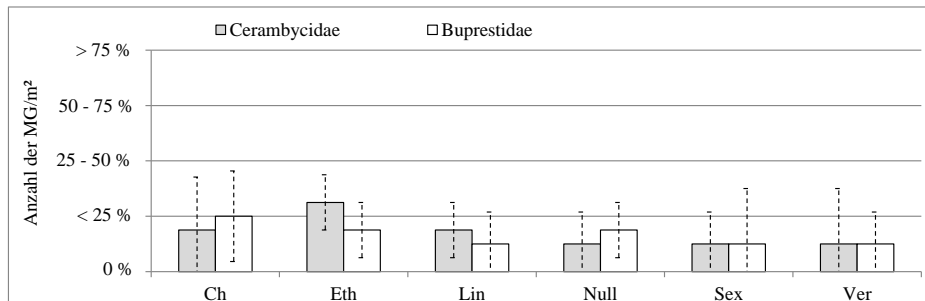


Abbildung 83: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Rot-Buchen-Fanghölzer mit Cerambycidae (ALM: $SQ = 1,708$; $df = 5$; $MQ = 0,342$; $F = 0,665$; $p = 0,655$) und Buprestidae (ALM: $SQ = 0,833$; $df = 5$; $MQ = 0,167$; $F = 0,353$; $p = 0,874$)

Die aus den einzelnen Rot-Buchen-Fangholz-Varianten im Eklektor geschlüpften Arten sind in Tabelle 119 aufgeführt. Am häufigsten wurde *T. bicolor* erfasst. Die meisten *T. bicolor* entwickelten sich an der Lineatin- und Nullvariante. An der Ethanol-Variante wurden entgegen der Anzahl angelegter Muttergänge pro m² kein *T. bicolor* erfasst. Unterschiede der Ethanol-Variante zu den anderen Varianten hinsichtlich erfasster Anzahlen an Antagonisten wurden nicht beobachtet (Tabelle 119).

Tabelle 119: Anzahl der sich in den Fanghölzern im Eklektor entwickelten bast- und holzbesiedelnden Insekten und derer potentieller Antagonisten

		Ch	Eth	Lin	Null	Sex	Ver	ALM (p-Wert)
<i>Taphrorychus bicolor</i>	MW	20,2	0,0	180,9	120,8	51,7	62,7	0,690
	SD	26,0	0,0	347,5	168,1	85,3	108,5	
<i>Trypodendron domesticum</i>	MW	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,446
	SD	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	
<i>Xylosandrus germanus</i>	MW	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,446
	SD	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	
Cerambycidae	MW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,446
	SD	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	
Salpingidae	MW	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,038
	SD	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Thanasimus formicarius</i>	MW	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,564
	SD	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,5	
Parasitoide	MW	3,5	2,8	3,3	4,3	1,5	3,8	0,913
	SD	4,4	3,8	3,8	5,3	3,0	3,5	

Analog zum Fangholzexperiment 2010 mit Rot-Buche, war die Anzahl der sich im Eklektor fertig entwickelten holzbesiedelnden Borkenkäfer sehr gering. Auch die Zahl der

sich entwickelten Cerambycidae und Buprestidae war von untergeordneter Bedeutung (Tabelle 119).

Von den Antagonisten wurden an allen Fangholz-Varianten Parasitoide erfasst. Jeweils ein Individuum des Ameisenbuntkäfers *T. formicarius* entwickelte sich der Veratrol- und Nullvariante. Die Salpingidae hingegen waren signifikant häufiger an der der Chalcogran-Variante zu finden, als an allen anderen Varianten (Tabelle 119).

9.2.3 EICHEN

9.2.3.1 FANGHOLZEXPERIMENT 2010

Von den im Fangholzexperiment 2010 an Eiche erfassten bast- und holzbesiedelnden Insekten wurde neben den Cerambycidae fast ausschließlich *S. intricatus* an den Eichen-Hölzern nachgewiesen. Einzig *X. monographus* wurde als weitere Art mit insgesamt vier Individuen (1 Individuum an der Nullvariante, 3 Individuen an den Veratrol-Varianten) an den Eichen-Fanghölzern erfasst.

Hinsichtlich der Anzahl der erfassten Muttergänge von *S. intricatus* pro m² konnten keine signifikanten Unterschiede der einzelnen Varianten beobachtet werden (Abbildung 84 links). Jedoch war die erfasste Standardabweichung an der Ethanol-Variante im Vergleich zu den anderen Varianten vergleichsweise sehr gering. Zudem wurden an der Ethanol-Variante im Mittel die meisten Muttergänge pro m² angelegt. An der 4-Methyleptan-3-ol-Variante hingegen wurden im Mittel die wenigsten Muttergänge nachgewiesen.

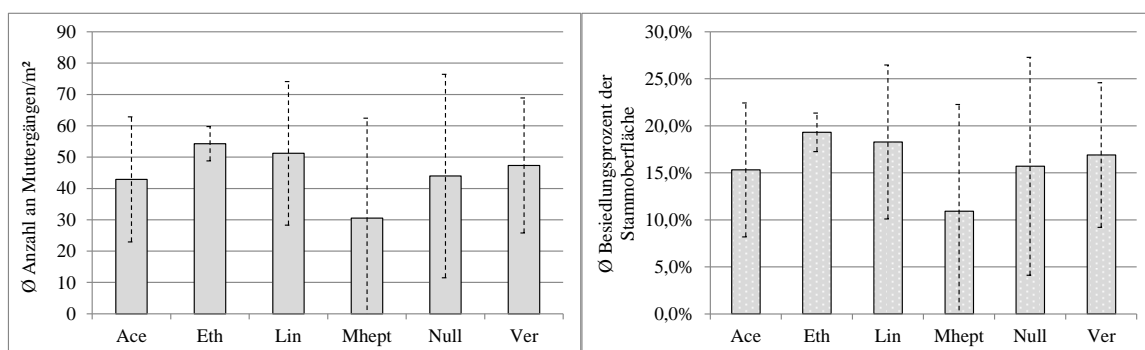


Abbildung 84: links: Mittlere Anzahl an Muttergängen von *S. intricatus* pro m² dargestellt für die verwendeten Varianten (ALM: $SQ = 0,563$; $df = 5$; $MQ = 0,113$; $F = 1,046$; $p = 0,421$) rechts: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *S. intricatus* auf Grundlage einer durchschnittlichen Brutbildgröße von 35,71 cm² (ALM: $SQ = 0,003$; $df = 5$; $MQ = 0,001$; $F = 0,522$; $p = 0,757$)

Da nicht von allen Eichensplintkäfer-Brutbildern die Größe des Brutbildes vermessen werden konnte¹⁴, musste die Herleitung des Besiedlungsprozentes rechnerisch erfolgen. Entsprechend zeigen die Abbildung 84 links und rechts einen übereinstimmenden Verlauf. Das höchste Besiedlungsprozent von *S. intricatus* wurde entsprechend Abbildung 84 rechts an der Ethanol-Variante berechnet.

Auch die in Abbildung 85 dargestellte durchschnittliche aufsummierte Länge der Muttergänge unterschied sich nicht signifikant zwischen den einzelnen Varianten. Im Mittel waren die Muttergänge von *S. intricatus* an der 4-Methylheptan-3-ol-Variante etwas länger als an den übrigen Varianten (Abbildung 85B). Die summierte Länge der Muttergänge von *S. intricatus* wird daher überwiegend von der Anzahl der Muttergänge pro m² beeinflusst (Abbildung 85A).

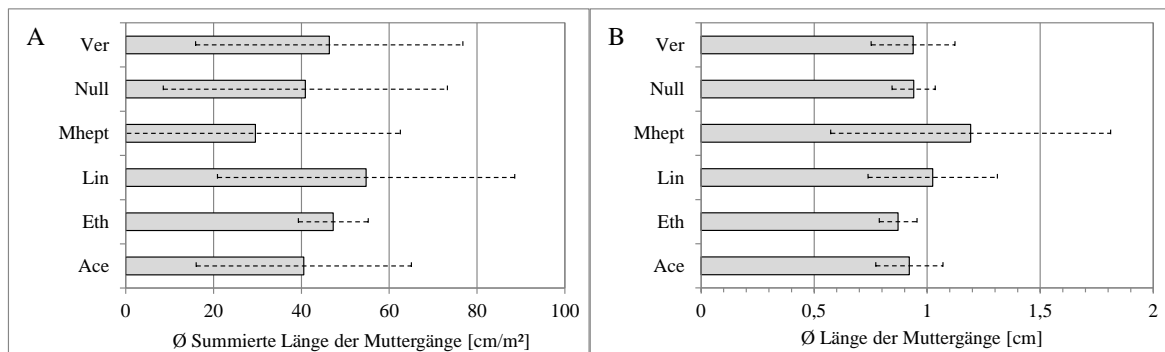


Abbildung 85: **A)** Durchschnittlich aufsummierte Länge der Muttergänge pro m² von *S. intricatus* an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 0,425$; $df = 5$; $MQ = 0,085$; $F = 0,856$; $p = 0,529$) **B)** Durchschnittliche Längen der Muttergänge von *S. intricatus* an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 0,008$; $df = 5$; $MQ = 0,002$; $F = 0,499$; $p = 0,773$)

Neben der Besiedlung durch Eichensplintkäfer waren die Eichenfanghölzer sehr kontinuierlich mit Bockkäfern befallen. Im Mittel stellten sich bei allen Varianten Besiedelungsprozente zwischen 25 und 50 % ein (Abbildung 86).

¹⁴ Die Muttergänge des Eichensplintkäfers lagen sehr tief im Splint, hingegen waren die Larvengänge überwiegend in der Borke angelegt, was dazu führte, dass nach dem Entrinden der Stämme nur von einem Teil der Brutbilder die Größe vermessen werden konnte.

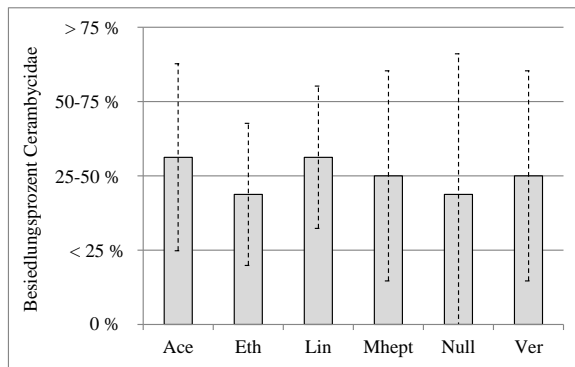


Abbildung 86: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Eichenfanghölzer mit Cerambycidae (ALM: $SQ = 1,000$; $df = 5$; $MQ = 0,200$; $F = 0,109$; $p = 0,989$)

An den mit Ethanol und Lineatin bestückten Fanghölzern entwickelten sich die meisten Eichensplintkäfer pro m^2 (Abbildung 87 links). Dies war aufgrund der Zahl der angelegten Muttergänge pro m^2 auch zu erwarten gewesen. An der Nullvariante und der Acetophenon-Variante hingegen entwickelten sich die wenigsten *S. intricatus*, was aufgrund der Zahl der an diesen Varianten angelegten Muttergänge pro m^2 nicht zu erwarten war (Abbildung 84 links).

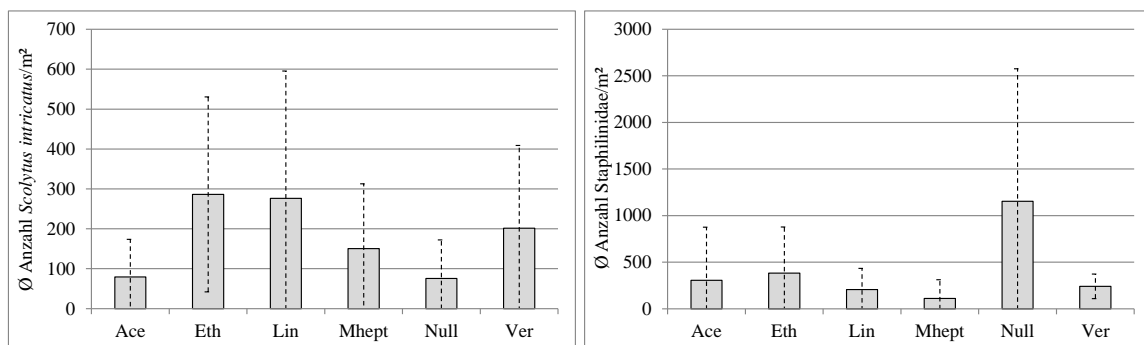


Abbildung 87: links: Anzahl der aus den Eschenhölzern im Eklektor geschlüpften *S. intricatus* (ALM: $SQ = 8,315$; $df = 5$; $MQ = 0,309$; $F = 0,669$; $p = 0,652$) und rechts: Staphilinidae mit Körperdurchmesser $\varnothing < 0,5$ bis 1 mm (ALM: $SQ = 10,432$; $df = 5$; $MQ = 2,086$; $F = 2,262$; $p = 0,092$)

An der Nullvariante wurde jedoch eine hohe Zahl sich entwickelnder Kurzflügler erfasst, was die geringe Schlupfzahl der Eichensplintkäfer erklären könnte (Abbildung 87 rechts). Auch an der Acetophenon-Variante entwickelte sich im Vergleich zu den anderen Testvarianten eine hohe Zahl an Kurzflüglern. Neben den erfassten Staphilinidae wurden keine nennenswerten weiteren potenziellen Borkenkäferantagonisten an den Fanghölzern erfasst. Aus den Lineatin-Hölzern wurden insgesamt zwei *Thanasimus*-Larven mit dem Eklektor nachgewiesen.

Da für keine der getesteten Varianten ein statistischer Zusammenhang zu den beobachteten Merkmalen nachgewiesen werden konnte, kann aus den Ergebnissen keine Empfehlung

einer geeigneten Testsubstanz für einen naturnahen Schutz des Eichenholzes vor Befall mit bast- und holzbesiedelnden Insekten gegeben werden.

9.2.3.2 FANGHOLZEXPERIMENT 2011

An den Eichen-Fanghölzern wurden im Versuchsjahr 2011 neben Brutbildern von *S. intricatus* auch Einbohrlöcher von holzbesiedelnden Insekten erfasst. Da eine sichere Artbestimmung anhand des im Holz angelegten Mutterganges nicht möglich ist, wurden die Einbohrlöcher nach ihrer Größe differenziert. Es wurden Einbohrlöcher mit einem Durchmesser von rund 1 mm (vermutlich *X. saxeseni* oder *X. germanus*) und Einbohrlöcher mit einem Durchmesser von rund 2 mm (vermutlich *X. monographus*, *X. dispar* oder *T. signatum*) erfasst. Die Anzahl der angelegten Einbohrlöcher an den mit unterschiedlichen Varianten behandelten Fanghölzern ist in Abbildung 88 dargestellt. Die Zahl der Muttergänge von *S. intricatus* scheint für die Varianten 4-Methylheptan-3-ol und Chalcogran geringer als bei der Nullvariante – statistisch ließ sich diese Beobachtung jedoch nicht bestätigen. An den Varianten Ethanol, Nonanon-2 und Sexowit® wurden hingegen tendenziell mehr Muttergänge von *S. intricatus* angelegt als an der Nullvariante (Abbildung 88).

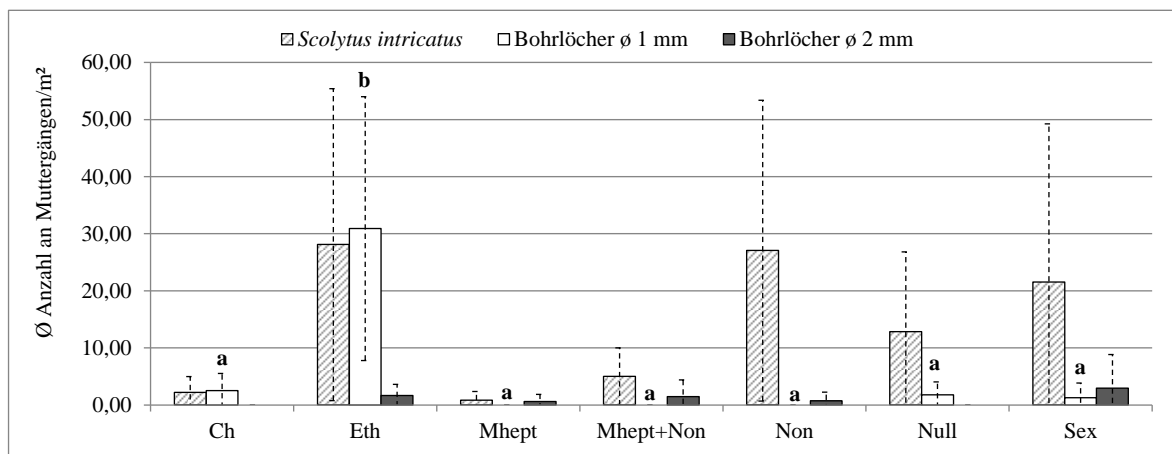


Abbildung 88: Mittlere Anzahl an Muttergängen bast- und holzbesiedelnder Scolytidae pro m² dargestellt für die verwendeten Varianten (ALM: *S. intricatus*: $QS = 3,564$; $df = 6$; $MQ = 0,594$; $F = 1,512$; $p = 0,22$; Bohrlöcher ø 1mm: $QS = 4,460$; $df = 6$; $MQ = 0,743$; $F = 4,461$; $p = 0,005$; Bohrlöcher ø 2mm: $QS = 0,372$; $df = 6$; $MQ = 0,062$; $F = 0,558$; $p = 0,759$)

Für die Anzahl angelegter Einbohrlöcher von 1 mm Durchmesser konnten statistische Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten belegt werden. Hier führte die Ethanol-Variante im Vergleich zu allen anderen Varianten zu signifikant mehr Einbohrlöchern am Fangholz. Bei Betrachtung der Anzahl angelegter Einbohrlöcher von 2 mm Durchmesser, fällt auf, dass an der Sexowit®-Variante die meisten Einbohrlöcher zu finden waren.

Statistische Unterschiede der einzelnen Varianten ließen sich jedoch nicht nachweisen (Abbildung 88).

Auch im Fangholzexperiment von 2011 konnte nicht von allen *S. intricatus* Brutbildern die Größe vermessen werden, weshalb zur Ermittlung des Besiedlungsprozentes die im Versuchsjahr 2011 durchschnittlich angelegte Brutbildgröße verwendet wurde.

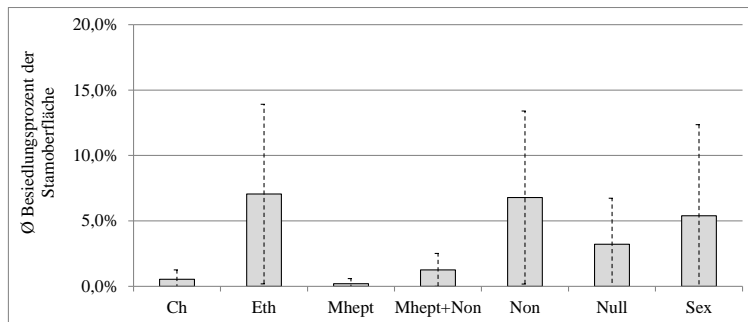


Abbildung 89: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *S. intricatus* auf Grundlage einer durchschnittlichen Brutbildgröße von 25,10 cm² (ALM: $SQ = 0,152$; $df = 6$; $MQ = 0,025$; $F = 1,625$; $p = 0,190$)

Der mittlere Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *S. intricatus* lag bei allen verwendeten Varianten unter 10 %. Analog zur Anzahl erfasster Brutbilder war der größte Anteil besiedelter Stammoberfläche an den Varianten Ethanol, Nonanon-2 und Sexowit® zu finden (Abbildung 89).

Die Länge der angelegten Muttergänge von *S. intricatus* unterschied sich nicht signifikant zwischen den einzelnen Varianten (Abbildung 90). Tendenziell schienen im Mittel an der 4-Methylheptan-3-ol Variante kürzere Muttergänge und an der Nonanon-2-Variante längere Muttergänge angelegt worden zu sein (Abbildung 90B). Die deutlichen Unterschiede der mittleren aufsummierten Mutterganglänge in Abbildung 90A kann damit vermutlich überwiegend auf die Anzahl angelegter Muttergänge pro m² zurückgeführt werden.

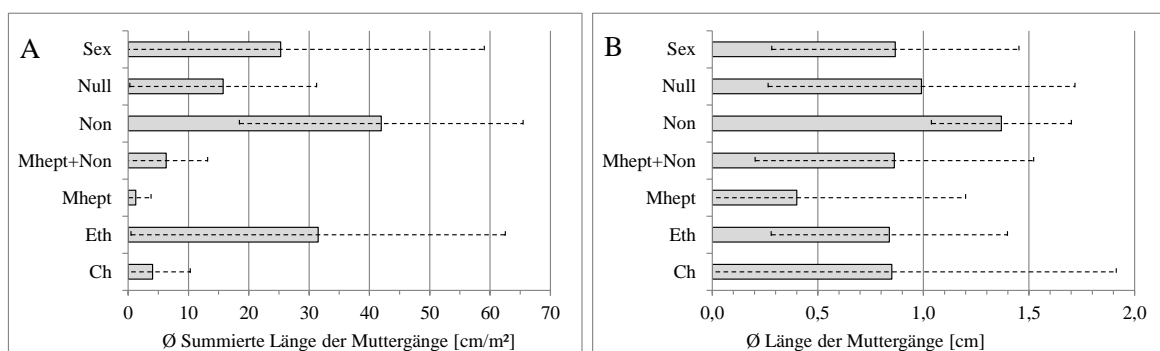


Abbildung 90: **A)** Durchschnittlich aufsummierte Länge der Muttergänge pro m² von *S. intricatus* an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 5,184$; $df = 6$; $MQ = 0,864$; $F = 2,329$; $p = 0,070$), **B)** Durchschnittliche Längen der Muttergänge von *S. intricatus* an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 0,151$; $df = 6$; $MQ = 0,025$; $F = 0,755$; $p = 0,612$)

Neben den bast- und holzbesiedelnden Scolytidae wurden auch Cerambycidae und Buprestidae an den Eichen-Fanghölzern erfasst. Im Mittel betrug die Besiedlung beider Familien jeweils weniger als 25 % der Stammoberfläche. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede in der Besiedlung einzelner Lockstoffvarianten nachgewiesen werden (Abbildung 91).

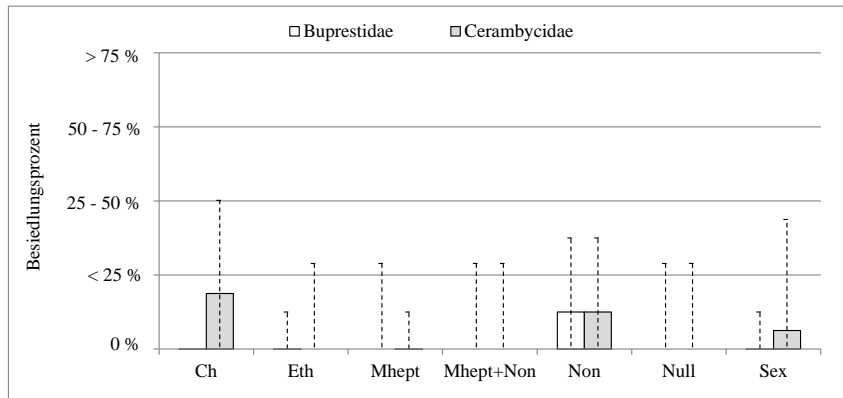


Abbildung 91: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Eichenfanghölzer mit Buprestidae (ALM: $QS = 5,714$; $df = 6$; $MQ = 0,952$; $F = 0,952$; $p = 0,480$) und Cerambycidae (ALM: $SQ = 3,929$; $df = 6$; $MQ = 0,655$; $F = 0,466$; $p = 0,826$)

Die Chalcogran-Variante schien tendenziell stärker von Bockkäfern besiedelt worden zu sein als die übrigen Varianten, wies jedoch keine Besiedlung mit Prachtkäfern auf.

Die sich in den Fanghölzern entwickelten bast- und holzbesiedelnden Insekten und deren potenzielle Antagonisten sind in Tabelle 120 zusammengefasst. Aus den erfassten Einbohrlöchern mit 1 mm Durchmesser haben sich im Eklektor die Borkenkäfer *X. germanus* und *X. saxeseni* entwickelt. Keine der erfassten Borkenkäferarten konnte jedoch den Einbohrlöchern mit 2 mm Durchmesser zugeordnet werden.

Für keine der erfassten Arten konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Individuenanzahl und Fangholz-Variante erfasst werden (Tabelle 120). An der Ethanol-Variante haben sich tendenziell die meisten bast- und holzbesiedelnden Insekten entwickelt, was jedoch aufgrund der Anzahl angelegter Muttergänge pro m² auch zu erwarten war (Abbildung 88). Auch an der Sexowit®-Variante entwickelte sich eine vergleichsweise hohe Anzahl an bast- und holzbesiedelnden Insekten. Hingegen schienen sich an der Chalcogran-Variante tendenziell weniger bast- und holzbesiedelnde Insekten zu entwickeln, als an der Nullvariante. Der Ameisenbuntkäfer wurde an der Variante Ethanol und der Nullvariante erfasst. Darüber hinaus wurde eine hohe Anzahl Parasitoide an der 4-Methylheptan-3-ol-Variante nachgewiesen (Tabelle 120).

Tabelle 120: Anzahl der sich in den Fanghölzern im Eklektor entwickelten bast- und holzbesiedelnden Insekten und derer potentieller Antagonisten

		Ch	Eth	Mhept	Mhept+ Non	Non	Null	Sex	ALM (p-Wert)
<i>Scolytus intricatus</i>	MW	0,0	28,6	3,9	0,0	11,4	2,9	25,0	0,754
	SD	0,0	57,1	7,9	0,0	15,5	4,4	50,1	
<i>Xyleborus saxeseni</i>	MW	0,0	53,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,499
	SD	0,0	106,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
<i>Xylosandrus germanus</i>	MW	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,451
	SD	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Cerambicidae	MW	0,0	12,9	0,7	1,4	2,9	1,8	1,3	0,420
	SD	0,0	21,7	1,4	1,6	2,1	2,2	2,6	
Buprestidae	MW	2,1	0,0	6,7	2,8	7,6	3,3	9,0	0,802
	SD	4,1	0,0	10,5	4,0	8,8	3,8	17,9	
<i>Thanasimus formicarius</i>	MW	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,528
	SD	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	14,1	0,0	
Parasitoide	MW	0,0	0,0	14,1	0,0	1,1	0,0	1,8	0,223
	SD	0,0	0,0	26,4	0,0	2,2	0,0	2,1	

Die günstigsten Ergebnisse hinsichtlich einer geringen Besiedlung der Fanghölzer und einer geringen Anzahl sich an diesen entwickelnder bast- und holzbesiedelnder Insekten schienen mit den Varianten Chalcogran und 4-Methylheptan-3-ol erreicht zu werden. Hingegen schienen die Varianten Ethanol, Nonanon-2 und Sexowit® an Eichen-Fanghölzern tendenziell ungeeignet die genannten Ziele zu erreichen.

9.2.4 GEMEINE KIEFER

9.2.4.1 FANGHOLZEXPERIMENT 2012

Die an den Fanghölzern der Gemeinen Kiefer hinsichtlich der Zahl angelegter Muttergänge am häufigsten erfasste Borkenkäferart war *T. piniperda*. Aber auch *T. minor* wurde an den Fanghölzern nachgewiesen (Abbildung 92).

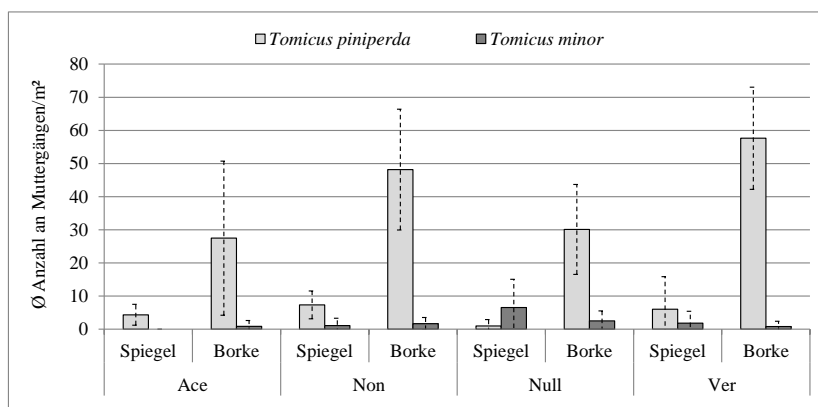


Abbildung 92: Mittlere Anzahl an Muttergängen von *T. piniperda* (ALM Borke: $SQ = 0,478$; $df = 3$; $MQ = 0,159$; $F = 2,515$; $p = 0,108$; ALM Spiegel: $SQ = 1,030$; $df = 3$; $MQ = 0,343$; $F = 1,839$; $p = 0,194$) und *T. minor* (ALM Borke: $SQ = 0,151$; $df = 3$; $MQ = 0,050$; $F = 0,378$; $p = 0,770$; ALM Spiegel: $SQ = 0,649$; $df = 3$; $MQ = 0,216$; $F = 1,118$; $p = 0,380$) pro m² dargestellt für die verwendeten Varianten (Spiegel = Fanghölzer mit Spiegelrinde, Borke = Fanghölzer mit borkiger Rinde)

Die Zahl der von *T. piniperda* angelegten Muttergänge unterschied sich dabei höchst signifikant zwischen Fanghölzern mit Spiegelrinde und Fanghölzern mit Borke sowohl bei der Nullvariante als Naturphänomen, als auch bei Betrachtung über alle Varianten (t-Test für unabhängige Stichproben: $p_{\text{Null}} = 0,001$; $p_{\text{Var}} < 0,001$). Entsprechend wurden die Fanghölzer mit Borke signifikant stärker von *T. piniperda* besiedelt als Fanghölzer mit Spiegelrinde. Für *T. minor* konnte keine Präferenz für einen Rindentyp der Kiefernfanghölzer nachgewiesen werden (t-Test für ungepaarte Stichproben: $p_{\text{Null}} = 0,671$, $p_{\text{Var}} = 0,938$). Ein Einfluss der Variante auf die Zahl angelegter Muttergänge konnte für beide *Tomicus*-Arten nicht nachgewiesen werden, wenngleich an den Varianten Nonanon-2 und Veratrol tendenziell mehr *T. piniperda* Muttergänge pro m² zu finden waren als an der Nullvariante (Abbildung 92).

Neben beiden *Tomicus*-Arten wurden weitere bast- und holzbesiedelnde Insekten an den Fanghölzern der Gemeinen Kiefer erfasst. Dazu zählten *O. laricis*, *Crypturgus cinereus* (Herbst) und *H. palliatus* (Abbildung 93). Alle drei Arten wurden ausschließlich an Fanghölzern mit Spiegelrinde erfasst. Dennoch konnte an der Nullvariante keine bevorzugte Besiedlung einer der drei Arten an Spiegelrinde nachgewiesen werden. Eine signifikante Präferenz für Fanghölzer mit Spiegelrinde konnte bei Betrachtung über alle Varianten nur für *O. laricis* und *C. cinereus* nachgewiesen werden (t-Test für ungepaarte Stichproben: *O. laricis*: $p_{\text{Var}} = 0,046$; *C. cinereus*: $p_{\text{Var}} = 0,046$). Für *H. palliatus* konnte diese Präferenz nicht statistisch belegt werden (t-Test für ungepaarte Stichproben: $p_{\text{Var}} = 0,186$).

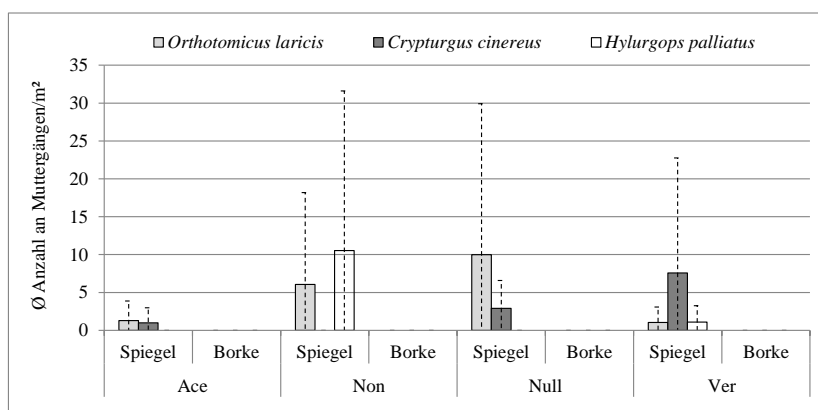


Abbildung 93: Mittlere Anzahl an Muttergängen von *O. laricis* (ALM Spiegel: $SQ = 0,150$; $df = 3$; $MQ = 0,050$; $F = 0,141$; $p = 0,934$), *C. cinereus* (ALM Spiegel: $SQ = 0,433$; $df = 3$; $MQ = 0,144$; $F = 0,633$; $p = 0,608$) und *H. palliatus* (ALM Spiegel: $SQ = 0,452$; $df = 3$; $MQ = 0,151$; $F = 0,752$; $p = 0,542$) pro m² dargestellt für die verwendeten Varianten (Spiegel = Fanghölzer mit Spiegelrinde, Borke = Fanghölzer mit borkiger Rinde)

Ein Einfluss der Fangholz-Variante auf die Besiedlung der Fanghölzer ließ sich statistisch nicht belegen (Abbildung 93). Für *O. laricis* zeigte sich zumindest die Tendenz, dass die Varianten Acetophenon und Veratrol weniger stark besiedelt wurden als die Nullvariante. *H. palliatus* hingegen war an der Nonanon-2-Variante tendenziell häufiger zu finden, als an der Nullvariante. Hingegen schien *C. cinereus* die Veratrol-Variante zu bevorzugen.

Bezogen auf den prozentual besiedelten Anteil der Mantelfläche der einzelnen Fanghölzer wurden, wie in Abbildung 94 ersichtlich, die Fanghölzer mit Borke stärker besiedelt als die Fanghölzer mit Spiegelrinde (t-Test für unabhängige Stichproben: $p_{\text{var}} = 0,001$). Bei differenzierter Betrachtung nach einzelnen Varianten wird deutlich, dass sich diese Unterschiede im Besiedlungsprozent zwischen Spiegelrinde und Borke an der Nullvariante und der Acetophenon-Variante nicht zeigten und folglich nur an den Varianten Nonanon-2 und Veratrol beobachtet werden konnten ($p_{\text{Null}} = 0,572$; $p_{\text{Ace}} = 0,201$, $p_{\text{Non}} = 0,032$; $p_{\text{Ver}} = 0,001$).

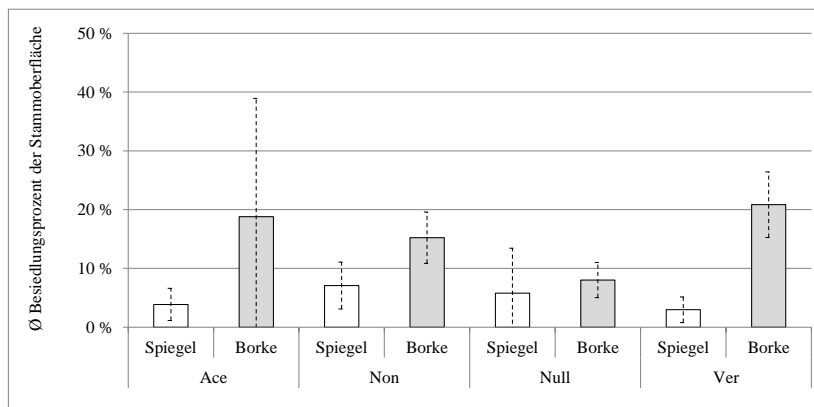


Abbildung 94: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche (ALM Spiegel: $SQ = 0,001$; $df = 3$; $MQ = 0,0002$; $F = 0,642$; $p = 0,603$; ALM Borke: $SQ = 0,005$; $df = 3$; $MQ = 0,002$; $F = 1,089$; $p = 0,391$)

Statistische Unterschiede im Besiedlungsprozent der einzelnen Fangholz-Varianten konnten nicht beobachtet werden (Abbildung 94). Dennoch lässt sich an Fanghölzern mit Borke ein stärkeres Besiedlungsprozent im Vergleich zur Nullvariante vor allem an den Varianten Veratrol und Nonanon-2 erkennen. An den einzelnen Wiederholungen der Acetophenon-Variante traten sehr unterschiedliche Besiedlungsprozente auf, was zu einer sehr hohen Standardabweichung führt.

Neben dem für die Borkenkäfer berechneten Besiedlungsprozent wurde das Besiedlungsprozent der Bockkäfer (Cerambycidae) geschätzt. Ein signifikanter Unterschied in der Besiedlung zwischen Fanghölzern mit Borke und Fanghölzern mit Spiegelrinde wurde nicht erfasst (t-Test für unabhängige Stichproben: $p_{\text{var}} = 0,362$). Das Besiedlungsprozent

lag bei allen Varianten im Mittel zwischen 30-40 %. Einzig an der Acetophenon-Variante mit Spiegelrinde konnte im Vergleich zu den übrigen Varianten ein leicht erhöhtes Besiedlungsprozent der Bockkäfer erfasst werden. Dennoch konnten keine signifikanten Einflüsse der Testvariante auf das Besiedlungsprozent nachgewiesen werden (ALM Borke: $SQ = 0,016$; $df = 3$; $MQ = 0,005$; $F = 0,286$; $p = 0,835$; ALM Spiegel: $SQ = 0,141$; $df = 3$; $MQ = 0,047$; $F = 0,783$; $p = 0,526$).

Welchen Anteil die einzelnen Borkenkäferarten am Gesamtbesiedlungsprozent der Fanghölzer eingenommen haben, ist in Abbildung 95 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass das Besiedlungsprozent an den Fanghölzern mit Borke fast ausschließlich auf *T. piniperda* zurückgeführt werden kann. An den Fanghölzern mit Spiegelrinde ist der Anteil von *T. piniperda* am Besiedlungsprozent sehr unterschiedlich, jedoch an allen Testvarianten höher als an der Nullvariante.

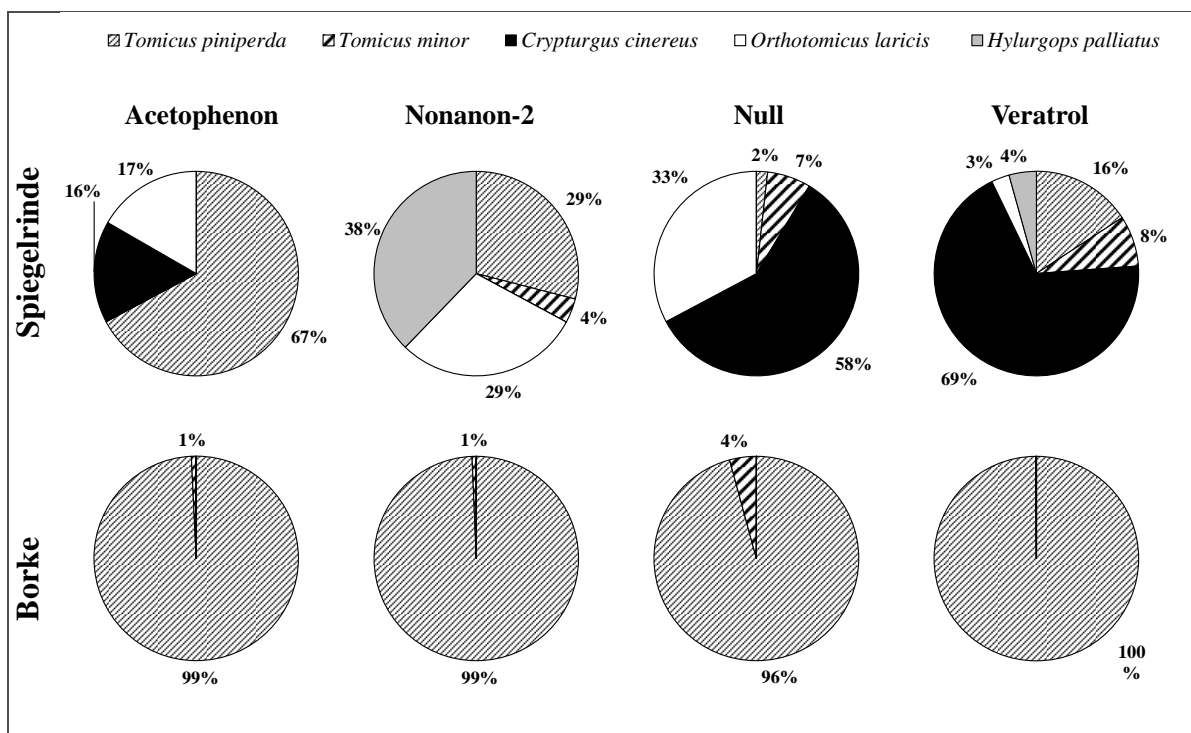


Abbildung 95: Prozentualer Anteil der erfassten Borkenkäferarten am Gesamtbesiedlungsprozent der Stammoberfläche

Unterschiede im Besiedlungsprozent der einzelnen Varianten die durch *T. piniperda* verursacht wurden, konnten sowohl für die Fanghölzer mit Borke (ALM: $SQ = 0,005$; $df = 3$; $MQ = 0,002$; $F = 1,161$; $p = 0,365$), als auch für die Fanghölzer mit Spiegelrinde (ALM: $SQ = 0,0002$; $df = 3$; $MQ = 7,98E-5$; $F = 1,213$; $p = 0,347$) nicht erfasst werden.

Am Besiedlungsprozent der Spiegelrinde, sind wie in Abbildung 95 dargestellt, alle vier erfassten Borkenkäferarten beteiligt. In Abhängigkeit von der Fangholzvariante ergeben sich unterschiedliche prozentuale Anteile der einzelnen Arten. Unterschiede im Besiedlungsprozent der Fangholzvarianten mit Spiegelrinde konnten sowohl für *T. minor* (ALM: SQ = 4,02E-6; df = 3; MQ = 1,34E-6; F = 0,839; p = 0,498), *C. cinereus* (ALM: SQ = 0,002; df = 3; MQ = 0,0007; F = 0,949; p = 0,448), *O. laricis* (ALM: SQ = 0,0005; df = 3; MQ = 0,0002; F = 0,523; p = 0,674) als auch *H. palliatus* (ALM: SQ = 0,0003; df = 3; MQ = 0,0001; F = 0,917; p = 0,462) nicht statistisch belegt werden.

Neben den dargestellten Untersuchungen wurden die Brutbilder von *T. piniperda* hinsichtlich eines Einflusses der Besiedlungsintensität an den Fanghölzern mit Borke untersucht. Ein Zusammenhang zwischen der Zahl angelegter Muttergänge pro m² und der Zahl abgelegter Eier pro cm Muttergang konnte nicht festgestellt werden (lineare Regression: R² = 0,009; p = 0,723; exponentielle Regression: R² = 0,002; p = 0,873). Möglicherweise lässt sich eine Abnahme der Anzahl abgelegter Eier pro cm Muttergang erst bei deutlich höheren Besiedlungsdichten nachweisen. Im vorliegenden Experiment lag das höchste Besiedlungsprozent von *T. piniperda* bei 38,9 %.

Bei der Betrachtung der Zahl angelegter Muttergänge pro m² und dem prozentualen Anteil der besiedelten Stammfläche wurde jedoch ein exponentieller Zusammenhang deutlich (Abbildung 96). Demnach kann durch Reduktion der Anzahl angelegter Muttergänge das Besiedlungsprozent des Fangholzes reduziert werden und wird nicht durch größere Brutbilder kompensiert.

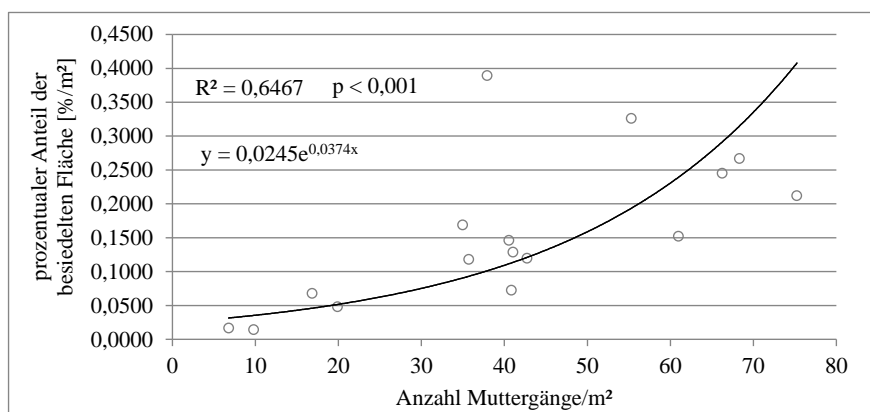


Abbildung 96: Regression zwischen Zahl angelegter Muttergänge pro m² und dem prozentualen Anteil der besiedelten Stammfläche durch *T. piniperda*

Die Zahl der sich im Eklektor entwickelnden Borkenkäfer, Bockkäfer und deren Antagonisten ist in Tabelle 121 dargestellt. Für keine der Arten konnte ein signifikanter

Zusammenhang zwischen der Anzahl sich entwickelnder Individuen und der Fangholz-Variante hergestellt werden. Die erfassten Anzahlen der sich entwickelnden Individuen war zwischen den einzelnen Wiederholungen einer Variante sehr unterschiedlich, so dass die Standardabweichung meist so hoch war, dass sich die Mittelwerte der Individuenanzahl nicht statistisch sichern ließen.

Die häufigste Borkenkäferart, die sich an Fanghölzern mit Borke entwickelte, war *T. piniperda* (Tabelle 121). Entgegen der Zahl der Einbohrlöcher pro m², entwickelten sich jedoch die meisten *T. piniperda* nicht an der Veratrol-Variante oder der Nonanon-2-Variante (Abbildung 92), sondern an der Acetophenon-Variante (Tabelle 121). Ein möglicher Grund dafür könnte die hohe Zahl der an den Varianten Veratrol und Nonanon-2 erfassten *T. formicarius* sein (Tabelle 121), die analog zu *T. piniperda* signifikant häufiger an Fanghölzern mit Borke erfasst wurden (t-Test für unabhängige Stichproben: $p = 0,017$).

Tabelle 121: Anzahl der sich in den Fanghölzern im Eklektor entwickelten Borkenkäfer und derer Antagonisten

		Acetophenon		Nonanon-2		Null		Veratrol		ALM (p-Wert)	
		Spiegel	Borke	Spiegel	Borke	Spiegel	Borke	Spiegel	Borke	Spiegel	Borke
<i>Tomicus piniperda</i>	MW	2,6	141,8	6,8	56,5	8,1	38,1	11,8	104,8	0,686	0,909
	SD	5,2	175,5	11,0	57,7	16,2	44,6	21,0	122,1		
<i>Tomicus minor</i>	MW	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,426	1,000
	SD	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0		
<i>Orthotomicus laricis</i>	MW	0,0	0,0	22,3	0,0	26,4	15,2	5,1	0,0	0,426	0,453
	SD	0,0	0,0	41,8	0,0	41,7	30,3	10,3	0,0		
<i>Crypturgus cinereus</i>	MW	0,0	0,0	15,2	5,5	33,1	0,0	327,7	7,0	0,588	0,327
	SD	0,0	0,0	30,4	11,1	38,6	0,0	420,4	14,0		
<i>Hylurgops palliatus</i>	MW	3,9	0,0	143,7	3,3	0,0	0,0	8,5	3,0	0,359	0,676
	SD	7,7	0,0	287,4	6,5	0,0	0,0	14,7	4,1		
<i>Acanthocinus aedilis</i>	MW	24,3	24,6	1,0	10,4	19,0	35,3	10,9	6,7	0,149	0,072
	SD	20,9	17,1	1,9	12,1	16,3	25,0	19,2	4,9		
<i>Thanasimus spec.</i>	MW	2,8	11,5	7,0	13,6	0,0	10,6	3,1	28,1	0,689	0,204
	SD	5,6	11,7	6,8	11,0	0,0	19,1	4,0	36,8		
Histeridae	MW	2,3	9,3	1,0	9,9	0,0	4,5	0,0	2,4	0,099	0,577
	SD	4,6	10,0	2,0	4,2	0,0	8,9	0,0	2,9		
Braconidae	MW	1,9	0,0	4,3	1,6	0,0	0,9	11,7	5,6	0,743	0,367
	SD	3,8	0,0	6,0	3,2	0,0	1,8	16,3	11,1		
Chalcidoidea	MW	4,7	2,6	4,3	24,7	10,8	11,5	21,6	0,9	0,653	0,825
	SD	9,4	5,2	8,7	45,1	17,1	20,9	37,8	1,8		

Auch die Histeridae waren als Prädatoren signifikant häufiger an Borke als an Spiegelrinde zu finden (t-Test für unabhängige Stichproben: $p = 0,001$). Am häufigsten wurden diese an der Acetophenon- und an der Nonanon-2-Variante erfasst. Für die Parasitoide aus den Familien Braconidae und Chalcidoidea konnte keine Präferenz für eine der beiden Rindenarten nachgewiesen werden (t-Test für unabhängige Stichproben: Braconidae: $p =$

0,356; Chalcidoidea: $p = 0,784$). Beide Arten wurden mit erhöhten Individuenzahlen an der Veratrol-Variante mit Spiegelrinde erfasst. Die höchsten Schlupfraten der Chalcidoidea wurden jedoch an Nonanon-2 mit Borke nachgewiesen. Dies ist möglicherweise ein weiterer Grund für die geringen Schlupfzahlen von *T. piniperda*.

Bei der Anzahl der sich an Spiegelrinde entwickelten Borkenkäfer zeigte sich ein differenziertes Bild, welches jedoch in der Tendenz mit der Anzahl erfasster Muttergänge pro m² übereinstimmte. Analog zur Anzahl der erfassten Muttergänge wurde auch die höchste Anzahl geschlüpfter Individuen von *O. laricis* an der Nullvariante, gefolgt von der Variante Nonanon-2 erfasst. Die höchsten Schlupfraten von *H. palliatus* waren an der Nonanon-2-Variante zu finden und *C. cinereus* wurde am häufigsten an der Veratrol-Variante nachgewiesen (Tabelle 121).

Für den Zimmermannsbock *Acanthocinus aedilis* (L.) konnte analog zu den übrigen beschriebenen Arten keine Präferenz für eine bestimmte Fangholzvariante festgestellt werden. An der Nonanon-2- und Veratrol-Variante entwickelten sich tendenziell jedoch die wenigsten Zimmermannsböcke. Eine Korrelation zwischen den mit dem Eklektor erfassten *A. aedilis* und *T. piniperda*, unabhängig von der Lockstoffvariante, konnte nicht erfasst werden. An Borke zeigte sich zwar mit zunehmender Anzahl erfasster *A. aedilis* in der Tendenz eine Abnahme von *T. piniperda*, welche sich jedoch nicht statistisch belegen ließ ($Y = -1,3523x + 111,34$; $R^2 = 0,0544$; $p = 0,384$). An Spiegelrinde zeigte sich hingegen ein gegenläufiger Trend ($Y = 0,2881x + 3,3492$; $R^2 = 0,1362$; $p = 0,159$).

Alle beschriebenen Merkmale ließen sich zwar nicht statistisch belegen, dennoch beschreiben die erfassten Tendenzen der Merkmalsausprägungen, dass die verwendeten Varianten Veratrol, Nonanon-2 und Acetophenon entgegen der eigentlichen Zielsetzung des Experimentes eine leichte Attraktivität auf die im Kiefernhabitat lebenden Borkenkäfer induzierten. Ein schwach repellentes Verhalten konnte bezogen auf die Anzahl angelegter Muttergänge pro m² bzw. die Zahl der in den Eklektoren geschlüpften Individuen in der Tendenz nur bei *T. minor* und *O. laricis* beobachtet werden. Hingegen wurden die Arten *T. piniperda*, *C. cinereus* und *H. palliatus* von einigen Varianten eher aggregiert.

9.3 DISKUSSION DER ERGEBNISSE AM FANGHOLZ

9.3.1 FANGHOLZEXPERIMENTE IN LAUBWALDHABITATEN

Einfluss der Testsubstanzen auf die Besiedlungsintensität

Die Applikation von ursprünglich für das Nadelholzhabitat konzipierten Lockstoffen in verschiedene Laubwaldhabitats induzierte positive Effekte hinsichtlich eines künftigen Einsatzes im naturnahen Borkenkäfermanagement. Beispielsweise konnte mit dem Sexowit®-Dispenser eine signifikante Reduktion in der Anlage von Muttergängen am Fangholz im Vergleich zur Nullvariante bei *L. varius* an Gemeiner Esche und *T. domesticum* an Rot-Buche induziert werden. Bei *T. bicolor* an Rot-Buche zeigte sich die reduzierte Besiedlung nur in der Tendenz, bei *S. intricatus* an Eiche war dieser Effekt hingegen nicht zu beobachten. Dass die Reduktion der angelegten Muttergänge auf repellente Reaktion der benannten Arten auf das Sexowit® zurückzuführen ist, kann analog zu den Fallenfangexperimenten (vgl. Kapitel 6) nur von *L. varius* angenommen werden. Auch der Chalcogran-Dispenser induzierte eine signifikante Reduktion in der Anlage von Muttergängen bei *T. domesticum*. Hingegen konnte dieser Effekt bei *L. varius*, *T. bicolor* und *S. intricatus* nur in der Tendenz beschrieben werden. Aufgrund der Beobachtungen aus den Fallenfangexperimenten scheint sich ein repellenter Effekt von Chalcogran auf *L. varius* zu bestätigen. Dagegen zeigten sich hinsichtlich einer möglichen repellenten Reaktion von *T. domesticum* auf das Chalcogran im Vergleich zu den Fallenfängen indifferente Ergebnisse am Fangholz. Das Chalcogran wird bisher überwiegend als Teil des Pheromonsystems von Nadelbaum besiedelnden Borkenkäferarten beschrieben (Francke et al. 1977), so dass eine repellente Reaktion von *T. domesticum* am Fangholz nachvollziehbar wäre, insofern das Chalcogran für *T. domesticum* auf potentiell ungeeignetes Bruthabitat hinweist.

Welche der in den Lockstoff-Dispensern enthaltenen Semiochemikalien diese repellenten Reaktionen ausgelöst hat, muss in weiteren Versuchen beleuchtet werden. Kohnle et al. (1992b) konnten mit dem aus dem Antiaggregationssystem diverser Nadelholz besiedelnder Borkenkäfer stammendem Verbenon und einem Pflanzenöl eine Besiedlung von Eschenholz mit *L. varius* reduzieren. Da *L. varius* als Frühschwärmer auftritt, vermuten Kohnle et al. (1992b) eine Aggregation, die hauptsächlich durch Wirtsduftstoffe ausgelöst wird, entsprechend wird die reduzierte Besiedlung auch auf pflanzenbürtige

Volatile zurückgeführt. Das baumbürtige Volatile von Laubhölzern repellente Effekte auf im Nadelholz lebende Borkenkäferarten induzieren können ist beispielsweise aus Untersuchungen von Borden et al. (1998), Zhang et al. (1999) und Jactel et al. (2001) für *I. typographus*, *I. sexdentatus* und *D. ponderosae* bekannt. In den eigenen Untersuchungen wäre damit möglicherweise auch die repellente Reaktion von *L. varius* und *T. domesticum* auf im Sexowit®-Dispenser enthaltene Kiefernvolatile zurückzuführen. Dennoch zeigt sich hinsichtlich der repellenten Effekte, welche das Chalcogran erzeugte, dass auch käferbürtige Semiochemikalien eine Differenzierungsstrategie analog zur von Borden et al. (1998) beschriebenen Nicht-Wirtsbaum-Theorie erzeugen können. Auch Borden (2004) beschreibt diese Vermutung mit seinen Erkenntnissen zum Acetophenon, welches bei nordamerikanischen *Dendroctonus*-Arten in der interspezifischen Kommunikation vorkommt.

Neben der unter Umständen repellenten Reaktion der Borkenkäfer auf die Lockstoffdispenser Sexowit® und Chalcogran wären jedoch auch noch weitere Effekte denkbar, die Einfluss auf eine reduzierte Besiedlung mit Borkenkäfern gehabt haben können. Beispielsweise wäre vom Sexowit®-Dispenser eine hohe Aggregationswirkung auf im Applikationshabitat abundante Ameisenbunkkäfer anzunehmen. Dessen Aggregation mit Sexowit® in Laubwaldhabitaten wurde im Kapitel 8 bereits ausführlich beschrieben. Eigene Beobachtungen von *T. formicarius*, die an mit Sexowit® beköderten Eschen- und Buchenfanghölzern patrouillierten, stützen diese Annahme. Da *T. formicarius* seine Beuteobjekte auf der Oberfläche des Fangholzes erbeutet, würden die anfliegenden Individuen überwältigt und damit vom Einbohren in das Fangholz gehindert. Eine dabei weitgehend unbekannt Variable ist die Aufenthaltsdauer der Ameisenbunkkäfer am Aggregationsort. Analog zu Wehnert und Müller (2012) muss aufgrund der Attraktivität des Sexowit®-Dispensers jedoch davon ausgegangen werden, dass anfliegende Ameisenbunkkäfer den Aggregationsort nach erfolgloser Beutesuche verlassen, sich anschließend jedoch neue Artgenossen am Aggregationsort einfinden. In den Fangholzanalysen konnten vor allem an Eschenstammstücken, welche mit *L. varius* besiedelt waren, *T. formicarius* aus den Brutsystemen erfasst werden. Dies bestätigt die in Kapitel 8 getroffene Annahme einer Räuber-Beute-Beziehung zwischen beiden Arten. An Rot-Buche die mit *T. domesticum* sowie Eiche die mit *S. intricatus* besiedelt waren, wurde nur eine sehr geringe Anzahl an *T. formicarius* erfasst, allerdings war auch die Besiedlungsdichte der Fanghölzer mit dessen Beutearten deutlich geringer als an Gemeiner

Esche. Im Eklektor wurden die meisten Ameisenbunkäfer (Larvenstadien und Imagines) an den Fangholz-Varianten erfasst, welche den höchsten Borkenkäferbesatz aufwiesen. Auch Weslien (1994) beschreibt einen zunehmenden Besatz von *T. formicarius* an Fanghölzern mit zunehmender Besiedlungsdichte von *I. typographus*. Die Zahl der tatsächlich das Fangholz frequentierten Ameisenbunkäfer ist dabei jedoch unbekannt. Folglich darf die Anzahl sich entwickelter Ameisenbunkäfer am Fangholz nicht als Weiser für die Attraktivität eines beutesuchenden Ameisenbunkäfers betrachtet werden. Entsprechend könnte die Anzahl der das Sexowit®-Fangholz angeflogenen Ameisenbunkäfer deutlich höher gewesen sein, als an Varianten an denen später im Eklektor eine hohe Anzahl an Ameisenbunkäfern in den Brutsystemen der Borkenkäfer erfasst wurde. Der fehlende oder geringe Nachweis von *T. formicarius* in den Brutbildern der Sexowit®-Variante ist dann vielmehr auf die geringe Dichte von Borkenkäferbrutbildern an dieser Variante zurückzuführen. Zudem muss nach Weslien (1994) ein negativer Effekt auf den Fortpflanzungserfolg bei *T. formicarius* durch einen hohen Besatz an *Thanasimus*-Larven in den Brutsystemen ihrer Beutetiere angenommen werden, welcher auf die kannibalistische Lebensweise der Larven bzw. die innerartliche Konkurrenz um Nahrung zurückzuführen sein dürfte (Gauss 1954, Weslien und Regnander 1992).

Von den weiteren getesteten Semiochemikalien und deren Kombinationen konnten am Eschen-, Eichen- und Rot-Buchenfangholz kaum signifikante Effekte beobachtet werden.

An Rot-Buche wurde eine signifikante Steigerung des *T. domesticum*-Befalls durch den Lineatin-Dispenser beobachtet. Dies war aufgrund der in den Fallenfangexperimenten nachgewiesenen Attraktivität des Lineatin-Dispensers und entsprechend den Ausführungen von Vité und Bakke (1979) sowie Klimetzek et al. (1980) auch zu erwarten gewesen. Auch die Zahl angelegter Brutbilder von *T. bicolor* und holzbesiedelnden Arten (*X. saxeseni* und *X. germanus*) war in der Tendenz an den mit Lineatin bestückten Rot-Buchen-Fanghölzern erhöht. Eine Applikation von Ethanol am Rot-Buchenfangholz führte jedoch nur bei den Holzbesiedlern mit Einbohrlöchern von Ø 1 mm (vermutlich *X. germanus*) zu einer tendenziell gesteigerten Anzahl an Einbohrlöchern. Bei den Arten *T. bicolor* und *T. domesticum* induzierte das Ethanol am Rot-Buchenfangholz keine im Vergleich zur Nullvariante erhöhte Anlage an Einbohrlöchern. Dass in der Primäraggregation neben der Ethanolemission eine geeignete Holzfeuchte für *T. domesticum* bedeutsam ist, belegen die Erkenntnisse von Kerck (1976), der durch Besprühen von Buchenstämmen mit Ethanol die

Aggregation, Kopulation und das Einbohren der Nutzholzborkenkäfer induzieren konnte – jedoch wurden die Stämme nach Anlegen eines 1 cm langen Mutterganges verlassen, was vermutlich auf ungünstige Holzfeuchtebedingungen zurückgeführt werden kann.

Eine erhöhte Anlage von *T. bicolor* Brutbildern an der Fangholz-Variante Acetophenon wurde nicht verzeichnet, obwohl Acetophenon als Pheromonbestandteil von *T. bicolor* beschrieben ist (Kohnle et al. 1987). Ein gesteigerter Anflug von *T. domesticum* auf Rot-Buchenhölzer, welche mit der arteigenen Pheromonkomponente 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on bestückt waren, konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden. Von Francke und Heemann (1974) hingegen wird das 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on als lockwirksam an frischem Holz beschrieben. Vermutlich war jedoch die in den Fangholzexperimenten verwendete Abgaberate des Dispensers zu gering, um die Effekte zu bestätigen.

Das Veratrol am Rot-Buchenfangholz führte im Vergleich zur Nullvariante zu einer geringeren Besiedlung mit *T. domesticum*. Ein ähnlicher Effekt wurde auch in den Fallenfangexperimenten nachgewiesen, als Veratrol mit Lineatin kombiniert wurde. Eine genaue Bedeutung des Veratrols im Wirtsfindungsverhalten von *T. domesticum* lässt sich daraus nicht ableiten, zumal in den Fallenfangexperimenten die Kombination von Veratrol mit Ethanol zu steigenden Fangzahlen führte. Ein Einfluss der verwendeten Testvarianten auf die Prädatoren konnte an Rot-Buchenfanghölzern kaum beobachtet werden. Einzig die Salpingidae schienen in Brutsystemen an Rot-Buchen-Fanghölzern abundant zu sein, welche mit Chalcogran bestückt waren, was die Erfahrungen aus den Fallenfangexperimenten bestätigt.

An Fanghölzern der Gemeinen Esche führte Ethanol tendenziell zu einer intensiveren Besiedlung mit *L. varius*, was aus den Erfahrungen der Fallenfangexperimente sowie den Ausführungen von Kohnle (1985) zu erwarten war. Das von Francke et al. (1979) als Pheromonkomponente von *L. varius* beschriebene Nonanon-2 führte zu einer tendenziell leicht gesteigerten Besiedlung der Eschen-Fanghölzer mit *L. varius*, obwohl aus den Fallenfangexperimenten eine repellente Reaktion von *L. varius* abgeleitet wurde. Vermutete repellente Effekte von *L. varius* auf die Semiochemikalien Acetophenon und Veratrol, welche auf eine Differenzierungsstrategie von *L. varius* zwischen verschiedenen Laubhölzern hindeuten könnte, wurden nicht erfasst.

Auch an Eichen-Fanghölzern schien Ethanol analog zu den Erkenntnissen von Markalas und Kalapanida (1997) eine stärkere Besiedlung mit *S. intricatus* zu induzieren. Zudem führte Ethanol an den Eichen-Fanghölzern analog zu Klimetzek et al. (1986) zu einer zur Nullvariante signifikant höheren Anzahl an Einbohrlöchern sekundärer holzbesiedelnder Arten (*X. germanus* und *X. saxeseni*). Eine in der Tendenz höhere Anzahl an Einbohrlöchern von *S. intricatus* an Fanghölzern der Eiche wurde auch an den Varianten Nonanon-2 und Sexowit® erfasst. Für Nonanon-2 konnte diese Reaktion bereits in den Fallenfangexperimenten beobachtet werden. Die Kombination des für *S. intricatus* als Teil des Pheromonsystems beschriebenen 4-Methylheptan-3-ol (Vrkočová et al. 2003) führte in Kombination mit Nonanon-2 zu einer reduzierten Einbohraktivität. Auch als verwendete Einzelkomponente konnte das *Scolytus*-Pheromon 4-Methylheptan-3-ol nicht zu einer gesteigerten Besiedlung der Eichen-Fanghölzer mit *S. intricatus* beitragen. Aus der Sexowit®-Variante entwickelte sich etwa die gleiche Anzahl an *S. intricatus* wie aus der Ethanol-Variante, weshalb eine Verwendung von Sexowit® im Rahmen des Borkenkäfermanagements an Eiche nicht empfohlen werden sollte. Auch die in den Fallenfangexperimenten zusätzlich erfasste schwache Aggregationswirkung vom Eichennutzholzborkenkäfer (*X. signatus*) auf das Sexowit® würde sich negativ auf eine diesbezügliche Anwendung auswirken. Eine reduzierte Anlage von Muttergängen von *S. intricatus* an den Varianten Acetophenon und Veratrol, welche auf eine Differenzierungsstrategie zwischen verschiedenen Laubholzhabitaten hindeuten könnte, wurde nicht erfasst.

Brutbildanalysen an Fanghölzern

An den Fanghölzern der Rot-Buche und der Eiche waren Analysen der Brutsysteme nicht möglich und wurden nicht durchgeführt. Zudem konnte kein kontinuierliches Auftreten von natürlichen Gegenspielern erfasst werden, was eine Diskussion über deren Einfluss im Rahmen dieser Untersuchungen als unnötig erscheinen lässt.

Der höchste Anteil von *T. formicarius* in den Brutsystemen von *L. varius* an Gemeiner Esche wurde an den Fanghölzern erfasst, welche mit Ethanol beködert waren. Das waren auch die Fanghölzer, welche die stärkste Attraktivität auf *L. varius* bewirkten. Vom Ethanol konnte in den Fallenfangexperimenten keine starke Lockwirkung auf *T. formicarius* nachgewiesen werden. Die Aggregation der Ameisenbuntkäfer dürfte folglich vielmehr auf Semiochemikalien zurückzuführen sein, die beim Einbohren von *L. varius* an Gemeiner Esche emittiert wurden. Dennoch erzeugte die Sexowit®-Variante, an welcher

eine sehr niedrige Anzahl an Ameisenbuntkäfern in den Brutsystemen erfasst wurde, mit 55,1 % pro cm Muttergang, die höchste Mortalität in den Brutsystemen von *L. varius*. Möglicherweise deutet dies auf ein günstiges Verhältnis von Prädator zur Beute hin. Der größte Einfluss der *Thanasimus*-Larven wurde in den Entwicklungsstadien von *L. varius* von der Larve bis zur Imago deutlich. Dies entspricht auch den Ausführungen von Heidiger (1994) und Gauss (1954). An der Ethanol-Variante kann hingegen, aufgrund des hohen Besatzes mit *Thanasimus*-Larven, ein kannibalistischer Einfluss nicht ausgeschlossen werden (Gauss 1954). Aus den Fangholzexperimenten an Gemeiner Esche konnte zudem nachgewiesen werden, dass mit sinkender Besiedlungsintensität von *L. varius* eine höhere Ablage an Eiern von den *L. varius* Weibchen erfolgt. Vergleichbare Ergebnisse sind auch von *I. typographus* an Gemeiner Fichte bekannt (Anderbrant 1990). Eine Reduktion in der Eiablage dürfte vermutlich auf eine höhere intraspezifische Konkurrenz um Brutraum zurückzuführen sein. Obwohl die erfasste Mortalität pro cm Muttergang an der Ethanol-Variante um etwa 36,5 % geringer gewesen ist als an der Sexowit®-Variante, war die Zahl der sich fertig entwickelten *L. varius* pro cm Muttergang an beiden Fangholzvarianten nahezu identisch (~ 6,7). Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass an der Ethanol-Variante 6,6 Eier pro cm Muttergang weniger abgelegt wurden als an der Sexowit®-Variante. Aufgrund der hohen Anzahl an *L. varius* Brutbildern an der Ethanol-Variante entwickelten sich an dieser pro m² dennoch deutlich mehr Eschenbastkäfer, als an der Sexowit®-Variante. Dies spiegelt den Nutzen einer präventiven Befallsreduktion am Fangholz wieder, zumal nachgewiesen werden konnte, dass eine geringere Anzahl an Muttergängen von *L. varius* nicht zu einer konstanten sondern zu einer reduzierten Brutraumnutzung führt. Folglich lässt sich der Anteil besiedelter Mantelfläche am Eschenholz, verursacht durch *L. varius*, durch eine reduzierte Zahl an Muttergängen senken. Die übrigen Testvarianten erreichten hinsichtlich der Anzahl erfasster Ameisenbuntkäfer in den Brutbildern von *L. varius*, als auch hinsichtlich der induzierten Mortalität, Werte zwischen der Ethanol- und der Sexowit®-Variante. Aufgrund von fehlenden signifikanten Zusammenhängen in Bezug auf den Einfluss der Testvariante sollen diese jedoch an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Weitaus deutlicher als *T. formicarius* schienen Parasitoide (vor allem *C. filiformis*) in der Lage zu sein, die Anzahl sich entwickelnder *L. varius* an sehr stark besiedelten Eschenfanghölzern zu reduzieren. Die Zahl der sich entwickelnden Eschenbastkäfer pro cm Muttergang konnte auf 1,9 Individuen reduziert werden. Auch Nakládal und Turčáni

(2007) vermuten einen wesentlich größeren Einfluss der Parasitoide in der Regulation von *L. varius*, hingegen einen geringen Einfluss der Prädatoren. Den Berechnungen von Nakládal und Turčáni (2007) zufolge induzierten Parasitoide eine Mortalität von 53,9 % an *L. varius*. In den eigenen Untersuchungen wurde sogar eine Mortalität von 79,6 % erfasst.

9.3.2 FANGHOLZEXPERIMENTE IN NADELWALDHABITATEN

Bei dem im Kiefernhabitat mit Gemeiner Kiefer durchgeführten Fangholzexperiment zeigte *T. piniperda* den stärksten Anflug auf die Fanghölzer, wobei analog zu den Ausführungen von Lanne et al. (1987) borkige Fanghölzer im Vergleich zu Fanghölzern mit Spiegelrinde bevorzugt wurden. Hingegen wurden von *T. minor* in der Tendenz eher Fanghölzer mit Spiegelrinde besiedelt. Von den getesteten Semiochemikalien, war jedoch keine in der Lage die Besiedlung von *T. piniperda* bzw. *T. minor* im Vergleich zu Nullvariante zu reduzieren. Die Arten *O. laricis*, *C. cinereus* und *H. palliatus* besiedelten ausschließlich Fanghölzer mit Spiegelrinde, zeigten jedoch auch keinen durch die Semiochemikalien induzierten Rückgang der Besiedlungshäufigkeit. Tendenziell schien jedoch Acetophenon eine reduzierte Besiedlung der Kiefern-Fanghölzer mit *O. laricis* und *T. minor* zu bewirken. Unabhängig von der Testvariante war das Besiedlungsprozent der Fanghölzer mit Borke im Vergleich zu Fanghölzern mit Spiegelrinden signifikant erhöht, was auf die Besiedlung mit *T. piniperda* zurückgeführt werden kann. Eine reduzierte Eiablage von *T. piniperda*, welche an den stärker besiedelten Stammstücken auf intraspezifische Konkurrenz analog zu Anderbrant (1990) zurückgeführt werden könnte, wurde nicht erfasst. Jedoch konnte ein Rückgang des Besiedlungsprozentes von *T. piniperda* mit sinkender Zahl an Muttergängen pro m² Stammoberfläche nachgewiesen werden. Folglich führt eine Reduzierung der intraspezifischen Konkurrenz nicht zu größeren Brutbildern bei *T. piniperda*, was entscheidend für eine erfolgreiche Anwendung von naturnahen Managementverfahren ist.

Für keine der mit den Eklektoren erfassten Insektenarten, welche sich an den Kiefern-Fanghölzern entwickelten, konnte ein Einfluss der Testvariante auf die Schlupfrate nachgewiesen werden. Tendenziell wurden von *T. piniperda* an den Varianten Acetophenon, Nonanon-2 und Veratrol im Vergleich zur Nullvariante erhöhte Schlupfraten beobachtet. Aufgrund des hohen Anteils von *T. piniperda* am Besiedlungsprozent von dickborkigen Kiefernholzabschnitten, kann eine Verwendung dieser als Nicht-Wirtsbaum-

Volatile vermuteten Testsubstanzen im Rahmen von naturnahen Managementverfahren an borkigem Kiefernholz nicht empfohlen werden.

C. cinereus, der überwiegend aus Hölzern mit Spiegelrinde erfasst wurde, zeigte deutlich höhere Schlupfraten an den mit Veratrol bestückten Fanghölzern als von der Nullvariante. Hohe Schlupfraten an Spiegelrinde zeigten zudem auch *H. palliatus* an den mit Nonanon-2 bestückten Fanghölzern. An den Fanghölzern mit Spiegelrinde, welche mit Acetophenon bestückt waren, entwickelten sich hingegen nur sehr wenige Borkenkäfer. In den Fallenfangexperimenten konnte eine Aggregation von *H. attenuatus* auf das Acetophenon beobachtet werden, ein Nachweis am Fangholz blieb hingegen aus. Möglicherweise besitzt Acetophenon analog zu nordamerikanischen *Dendroctonus*-Arten (Erbilgin et al. 1998, Borden 2004) auch eine interspezifische Relevanz bei Kiefernholz besiedelnden Arten in Europa, so dass mit Acetophenon bestückte Kiefernholzer mit Spiegelrinde gezielt gemieden wurden.

Als potentielle Antagonisten der Borkenkäfer an den Kiefern-Fanghölzern wurden *Thanasimus* spec., Histeridae, Braconidae und Chalcidoidea erfasst. Für keine der Antagonisten konnte ein Auftreten in Abhängigkeit von der verwendeten Testvariante erfasst werden. Jedoch konnte von *Thanasimus* spec. und den Histeridae ein signifikant häufigeres Auftreten an Fanghölzern mit dicker Borke nachgewiesen werden, was darauf schließen lässt, dass beide Prädatoren in den Brutbildern von *T. piniperda* räuberisch aktiv waren. Auch Schroeder und Weslien (1994) beschreiben den Ameisenbuntkäfer als Prädatoren von *T. piniperda* und konnten eine durch den Prädatoren induzierte Reduktion des Bruterfolges bei *T. piniperda* um 92 % nachweisen. Zudem kann nach Schroeder und Weslien (1994) auch der Zimmermannsbock *A. aedilis* einen negativen Einfluss auf den Bruterfolg von *T. piniperda* haben, der jedoch in den vorliegenden Untersuchungen nicht beobachtet werden konnte. Obwohl Schroeder (1996) den Rindenglanzkäfer *R. depressus* als typischen Prädatoren von *T. piniperda* beschreibt, konnte dieser in den eigenen Untersuchungen nicht erfasst werden. In den Untersuchungen von Schroeder (1996) reduzierte *R. depressus* den Bruterfolg von *T. piniperda* um 41 %. Jedoch werden auch zwischen den Prädatoren im Brutsystem Mortalitäten induziert. Beispielsweise konnte Schroeder (1996) einen Einfluss beider Prädatoren aufeinander feststellen, bei welchem die Größe der *Thanasimus*-Larven reduziert, bei *R. depressus* hingegen die Mortalität um 49 % erhöht wurde. Das Auftreten von Histeridae in Experimenten mit *T. piniperda* als Zielobjekt ist auch aus Ergebnissen von Schroeder (1996) sowie Kennedy und

McCullough (2002) bekannt. Aufgrund der räuberischen Lebensweise kann ein Einfluss auf *T. piniperda* angenommen werden. Gleiches gilt für die erfassten Braconidae und Chalcidoidea, von welchen jedoch aufgrund ihres unspezifischen Auftretens (Borke und Spiegelrinde) auch ein regulativer Einfluss auf die weiteren erfassten Borkenkäferarten angenommen werden kann.

10 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN ERGEBNISSEN DER FREILANDEXPERIMENTE

10.1 SUBSTANZWahl FÜR NATURNAHE MANAGEMENTVERFAHREN

Entsprechend der Ergebnisse aus den durchgeführten Freilandexperimenten können Empfehlungen für einen Einsatz der getesteten Semiochemikalien für naturnahe Managementverfahren abgeleitet werden. Eine naturnahe Verwendung dieser Semiochemikalien bezieht sich vorwiegend auf Einsatzgebiete, in denen bisher überwiegend mit unselektiv wirkenden Insektiziden gearbeitet wurde, um beispielsweise einen Befall von eingeschlagenem Holz durch bast- und holzbesiedelnde Insekten zu vermeiden. In Deutschland sind die Insektizide Fastac Forst® (bis 2016) und Karate Forst flüssig® (bis 2018) gegen rinden- und holzbrütende Borkenkäfer (ausgenommen *X. germanus*) sowie Bockkäfer- und Prachtkäferarten zugelassen (Triebenbacher und Immler 2008). Beide Insektizide nutzen Pyrethroide als Wirkstoff (Fastac Forst®: alpha-Cypermethrin; Karate Forst flüssig®: lambda-Cyhalothrin), welche die Natriumkanäle im Nervensystem der in Kontakt gekommen Käfer blockieren und diese infolge einer Reizüberflutung abtöten (Triebenbacher und Immler 2008). Diese Insektizide haben zwar den Vorteil, dass sie sehr schnell wirken und einen nahezu 100 %igen Schutz des Rundholzes erzeugen können, jedoch wirken sie unspezifisch und töten neben den anfliegenden bast- und holzbesiedelnden Insekten auch alle anfliegenden natürlichen Gegenspieler ab. Insektizide sind daher in ihrer Anwendung ökologisch nicht unumstritten. Entsprechend gesetzlicher Vorgaben darf der Insektizideinsatz im Wald nur nach Ausschöpfung aller weiteren organisatorischen und technischen Bekämpfungsmöglichkeiten erfolgen (Triebenbacher und Immler 2008). Folglich sollen mit den zu entwickelnden naturnahen Managementverfahren Alternativen eines Insektizideinsatzes entwickelt werden. Darüber hinaus dürfen Insektizide nur am liegenden bzw. eingeschlagenen Holz ausgebracht werden, stockende Bäume lassen sich damit nicht schützen. Jedoch können beispielsweise nach einem Windwurf Situationen entstehen, in denen genau dieser Schutz wünschenswert wäre um, eine weitere Ausbreitung des Brutherdes zu verhindern. Eine Übersicht über potentielle naturnahe Verfahren im Borkenkäfermanagement ist in Tabelle 122 dargestellt. Darüber

hinaus gibt es nachweislich Arten, welche mit den zugelassenen Insektiziden bislang nicht ausreichend reduziert werden können. Nach Graf und Manser (2000b) kann beispielsweise einem Befall durch *X. germanus* mit einem Insektizideinsatz nicht ausreichend begegnet werden.

Tabelle 122: Anwendungsbeispiele naturnaher Borkenkäfermanagementverfahren in Abhängigkeit von den Zielsetzungen

	Vermeidung von Borkenkäferbefall	Erhöhung der Mortalität im Borkenkäferbrutbild	Nützlingschutz/ Erhöhung der Nützlingsabundanz im Habitat
Am stockenden Holz	<ul style="list-style-type: none"> • Minderung der Ausbreitung eines Borkenkäferbrutherdes • Schutz von Schutzwäldern in schwer zugänglichen Lagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion der Anzahl ausfliegender Borkenkäfer aus Käferbäumen (z.B. im Schutzwald oder einem Borkenkäferbrutherd) 	
Am liegenden Holz	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz wertvoller Rohholzsortimente • ökologisch verträgliche Alternative zum Insektizideinsatz 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduktion der Anzahl ausfliegender Borkenkäfer aus besiedeltem Rundholz (z.B. bei minderwertigen Sortimenten) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ablenkung von Borkenkäferbekämpfungsorten • Vermehrung von Nützlingen in Zuchthölzern
Mögliche Verfahren	<ul style="list-style-type: none"> • Allochthone Kairomone zur Nützlingsaggregation • Nicht-Wirtsbaum-Volatile zur Abwehr eines Borkenkäferanfluges • Nutzung von Borkenkäfer-Ablenkstoffen 	<ul style="list-style-type: none"> • Allochthone Kairomone zur Nützlingsaggregation • HIPVs (Host induced plant volatiles) zur Aggregation von Antagonisten 	<ul style="list-style-type: none"> • Allochthone Kairomone zur Nützlingsaggregation

Die Anforderungen der einzelnen naturnahen Verfahren sind sehr unterschiedlich. Wie in Kapitel 2 bereits beschrieben, sollen mit Allochthonen Kairomonen vor allem aggregierende Reaktionen bei natürlichen Gegenspielern der Borkenkäfer induziert werden. Analog zum Einsatz eines Insektizides, werden die natürlichen Gegenspieler folglich auch durch die Verwendung eines Allochthonen Kairomons beeinflusst. Jedoch führt der Anflug auf ein solches nicht zwangsläufig zur Dezimierung der Antagonistenpopulation, was als ökologischer Vorteil gegenüber der Insektiziapplikation verstanden werden muss. Wie in Wehnert und Müller (2012) beschrieben, muss davon ausgegangen werden, dass Antagonisten, wenn sie am Applikationsort eines Allochthonen Kairomons keine Beute finden, diesen wieder verlassen. Die Antagonisten können folglich maximal in ihrer Fitness beeinträchtigt werden. In den meisten Fällen der Applikation eines Allochthonen Kairomons wird jedoch der Anflug der bast- und holzbesiedelnden Insekten nur reduziert und nicht gänzlich verhindert, was den Antagonisten, die auf der

Rindenoberfläche jagen, weiterhin Beuteoptionen ermöglicht. Eine Aggregation von im Ausbringungshabitat allochthonen Borkenkäferarten aus umliegenden Beständen ist meist unproblematisch, da diese im Ausbringungshabitat keinen geeigneten Wirtsbaum finden können. Semiochemikalien, welche Attraktivität auf stark polyphage Borkenkäferarten induzieren, erscheinen jedoch in der Funktion als Allochthones Kairomon ungeeignet. Darüber hinaus können Allochthone Kairomone auch eine repellente Reaktion bei den im Applikationshabitat heimischen Borkenkäfern induzieren, welche wünschenswert sein kann.

Die Nicht-Wirtsbaum-Volatile und Borkenkäfer-Ablenkstoffe sind meist nur darauf ausgerichtet, eine repellente Reaktion bei den im Applikationshabitat heimischen Borkenkäfern zu induzieren und damit einen Befall an deren Wirtsbäumen zu verhindern.

Neben den in Tabelle 122 benannten Verfahren für ein naturnahes Borkenkäfermanagement sind jedoch auch Semiochemikalien von Bedeutung, die ein Monitoring der benannten Zielarten erlauben. Vor allem für ein Monitoring von bast- und holzbesiedelnden Insekten in Laubwaldhabitaten existieren bislang kaum Substanzen für eine standardisierte Anwendung.

Die Ergebnisse aus den Fallenfangexperimenten und Fangholzexperimenten werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Eignung im naturnahen Borkenkäfermanagement diskutiert und interpretiert. Dabei werden jedoch nur Substanzen berücksichtigt, von denen deutliche Effekte auf die im Habitat lebenden bast- und holzbesiedelnden Insekten beobachtet werden konnten und deren Ergebnisse eventuell eine Berechtigung für ihren Einsatz in naturnahen Managementverfahren erlauben. Ein zusammenfassender Überblick ist in Tabelle 123 dargestellt.

Tabelle 123: Übersicht der Verwendungsmöglichkeiten getesteter Semiochemikalien entsprechend der durchgeführten Freilandexperimente (* bislang nur mit Fallenfangexperimenten bestätigt bzw. Ergebnisse am Fangholz nicht deutlich genug, entsprechende Experimente am Fangholz zur abschließenden Bewertung erforderlich; ** Vermutung: experimentelle Bestätigung noch ausstehend)

	Monitoring (Fallenfang)	Nicht-Wirtsbaum- Volatil bzw. baumbürtiger Ablenkstoff	käferbürtiger Ablenkstoff	Allochthones Kairomon oder HIPV
Eigenschaft	Aggregation einer Borkenkäferart	repellente Wirkung auf Borkenkäfer	repellente Wirkung auf Borkenkäfer	repellente Wirkung auf Borkenkäfer <u>und</u> Aggregation von Prädatoren
Substanz				
Ethanol	<i>L. varius</i> <i>T. bicolor</i> ** <i>S. intricatus</i>			
Ethanol+ Essigsäure	<i>T. signatum</i> ** <i>T. domesticum</i> <i>X. germanus</i>	ggf. zur Abwehr von primären Borkenkäferarten**		
exo-Brevicommin				Kiefernhabitat*, Schutz weiterer Nadelhölzer** (<i>Restrisiko</i>), Eichenhabitat**, Rot-Buchenhabitat**
endo-Brevicommin				Kiefernhabitat*, Schutz weiterer Nadelhölzer** (<i>Restrisiko</i>), Eichenhabitat**, Rot-Buchenhabitat**, Eschenhabitat*
Nonanal		<i>L. varius</i> *		Eschenhabitat*
Nonanon-2			<i>T. domesticum</i> * <i>X. germanus</i> *	
4-Methylheptan-3-ol			<i>X. germanus</i> *	
Veratrol		<i>L. varius</i> * <i>X. germanus</i> * <i>X. saxeseni</i> *		Eschenhabitat* Rot-Buchenhabitat*
Acetophenon			<i>I. sexdentatus</i> * <i>I. acuminatus</i> *	
Lineatin	<i>T. signatum</i> <i>T. domesticum</i> <i>T. bicolor</i> ** <i>X. monographus</i> <i>X. saxeseni</i> <i>X. dispar</i> <i>H. dermestoides</i>			
Lineatin+ Typowit (resp. alpha- Pinen)	<i>T. lineatum</i>			
Sexowit®	<i>I. sexdentatus</i> <i>I. acuminatus</i>		<i>L. varius</i>	Eschenhabitat, Rot-Buchenhabitat, weitere Laubwaldhabitats** (<i>vermutlich außer Eichenhabitat*</i>), Fichtenhabitat*
Sexowit®+ Acetophenon	<i>H. attenuatus</i>			
Chalcogran	<i>P. chalcographus</i>		<i>L. varius</i> <i>X. germanus</i>	Eschenhabitat, (Rot-Buchenhabitat)*, Eichenhabitat, weitere Laubwaldhabitats**
Tomowit®	<i>T. piniperda</i> <i>H. palliatus</i>			Laubwaldhabitats**
Tyosan® oder Pheroprax®			<i>T. domesticum</i> *	Rot-Buchenhabitat*, weitere Laubwaldhabitats** Kiefernhabitat*
Pheroprax®+ Acetophenon	<i>I. typographus</i>			

Wie in Kapitel 8.4.1 und Kapitel 9.2 beschrieben, wirkt Ethanol auf sehr viele bast- und holzbesiedelnde Insekten mit Abundanz im Laubwaldhabitat aggregierend. Die

Aggregation mit Ethanol als Einzelsubstanz war im Vergleich zu vielen weiteren getesteten Semiochemikalien signifikant erhöht. Auf natürliche Gegenspieler hingegen erzeugte Ethanol kaum Attraktivität, woraus sich eine Eignung von Ethanol im Borkenkäfermonitoring ableiten lässt. Nachgewiesen werden konnte die Attraktivität des Ethanols bei bastbesiedelnden Insekten aus Laubwaldhabitaten wie *L. varius*, *S. intricatus* und *T. bicolor* sowie holzbesiedelnden Insekten wie *T. signatum*, *T. domesticum*, *X. saxeseni* und *X. germanus*. Im Kiefernhabitat konnte lediglich Attraktivität des Ethanols auf *T. lineatum* erfasst werden. Auch Klimetzek et al. (1986) beschreiben die Attraktivität des Ethanols auf eine Vielzahl von bast- und holzbesiedelnden Insekten. Bei sekundären Borkenkäferarten und Ambrosiakäfern führt nach Klimetzek et al. (1986) eine Erhöhung der Ethanol-Abgaberate auch zu einer Steigerung der Fangzahlen, hingegen hindert Ethanol aggressive Arten bei ihrer Pheromonwahrnehmung. Eine Zwischenstellung nehmen nach Klimetzek et al. (1986) Arten ein, welche frisches Wirtsmaterial benötigen, jedoch lebende Bäume in ihren Abwehrkräften nicht überwinden können. Bei diesen Arten führt eine geringe Ethanol-Abgaberate zu einer Steigerung der Fangzahlen, eine hohe Abgaberate hingegen bewirkt eine reduzierte Attraktivität.

Analog zu den Ergebnissen von Bouget et al. (2009) könnte das Ethanol im Monitoring von Ambrosiakäfern eingesetzt werden, wobei entsprechend der Ergebnisse von Klimetzek et al. (1986) hohe Abgaberraten zu empfehlen wären. Die eigenen Ergebnisse haben zudem gezeigt, dass die Kombination von Ethanol mit Essigsäure eine sehr effektive Steigerung der Fangzahlen bei den Ambrosiakäfern induziert. Nachgewiesen wurde diese Attraktivitätssteigerung für die Arten *T. domesticum* und *X. germanus*. Während der Sommermonate konnte durch Zugabe von Essigsäure eine Attraktivitätssteigerung von *T. domesticum* um das 44-fache, im Vergleich zu Ethanol per se beobachtet werden. Bei *X. germanus* konnten die Fangzahlen verdreifacht werden. Zu überprüfen bleibt ferner, ob die Attraktivitätssteigerung des Ethanols durch Essigsäure auch im Frühjahrsschwarm von *T. domesticum* induziert werden kann bzw. welche Wirkung die Kombination auf weitere bast- und holzbesiedelnde Insekten verursacht. Eine weitere Substanz, welche in Kombination mit Ethanol eine gesteigerte Effektivität im Monitoring von *T. domesticum* und *T. signatum* bewirken könnte ist Veratrol. Jedoch führt diese Kombination auch zu einer gesteigerten Attraktivität auf natürliche Gegenspieler (z. B. *R. bipustulatus* und *R. dispar*) – was sich hinsichtlich einer ökologischen Bewertung dieser Kombination nachteilig gestalten würde.

Auch im Monitoring der Arten *L. varius*, *S. intricatus*, *X. saxeseni* und *X. germanus* scheint eine Verwendung des Ethanol geeignet zu sein. Jedoch sind hier weitere Forschungen hinsichtlich einer optimalen Abgaberate notwendig. Entsprechend der Ausführungen von Klimetzek et al. (1986) wäre bei *L. varius* und *S. intricatus* ein Optimum der Fangzahlen bei niedrigen Ethanol-Emissionen zu erwarten, hingegen bei *X. saxeseni* und *X. germanus* bei sehr hohen Ethanolabgaberraten.

Der Lineatin-Dispenser könnte im Monitoring von *T. domesticum*, *T. bicolor*, *T. signatum* und *T. lineatum* verwendet werden, induzierte jedoch auch Attraktivität auf natürliche Gegenspieler wie beispielsweise *T. formicarius*, *R. depressus*, *R. bipustulatus* und *R. dispar*. Für *T. formicarius* ist zwar nachgewiesen, dass dieser im Borkenkäfermonitoring verwendete Fallentypen nach dem Anflug wieder verlassen kann (Müller et al. 2008, Martín et al. 2012), jedoch lässt sich diese Eigenschaft vermutlich nicht auf alle natürlichen Gegenspieler der Borkenkäfer übertragen. Entsprechend würde sich ein Einsatz von Ethanol im Monitoring der Nutzholzborkenkäfer als ökologisch nachhaltiger gestalten als der Einsatz des Lineatins. Zukünftig sollte zudem die Attraktivität der Kombination aus Ethanol und Essigsäure mit der Attraktivität des Lineatin-Dispensers auf die Nutzholzborkenkäfer verglichen werden. Bei Betrachtung der Ethanol-Fänge als Referenz, lässt sich eine stärkere Aggregationswirkung des Ethanol / Essigsäure-Gemisches auf *T. domesticum* vermuten, welches die 44-fachen Fangzahlen im Vergleich zu Ethanol per se erzeugte. Hingegen erreichte der Lineatin-Dispenser nur Fangzahlen von *T. domesticum*, welche im Vergleich zu den Ethanol-Fangzahlen um das 21-fache erhöht waren. Beide Werte sind zwar zu unterschiedlichen saisonalen Zeitpunkten erfasst worden, dennoch scheint die Kombination von Ethanol mit Essigsäure möglicherweise ein effektiveres und kostengünstigeres Monitoring von *T. domesticum* zu ermöglichen als die Verwendung von Lineatin-Dispensern. Darüber hinaus wäre in Zukunft die Kombination von Essigsäure mit dem Lineatin-Dispenser auf Attraktivitätssteigerung bei den Nutzholzborkenkäfern zu prüfen.

Für *T. lineatum* konnte eine höhere Attraktivität des für das Laubwaldhabitat konzipierten Lineatin-Dispensers nachgewiesen werden, als dieser mit Typosan® kombiniert wurde. Dies wird auf im Typosan® enthaltene Volatile (z. B. alpha-Pinen) zurückzuführen sein. Auch Klimetzek et al. (1980) beschreiben einen verstärkten Anflug von *T. lineatum* auf Lineatin in Kombination mit alpha-Pinen. Entsprechend sollte im Monitoring von *T.*

lineatum ein speziell für diesen konzipierter Lineatin-Dispenser verwendet werden bzw. eine Kombination von alpha-Pinen und dem für das Laubwaldhabitat konzipierten Lineatin-Dispenser erfolgen.

Neben den Nutzholzborkenkäfern wurden auch *L. varius*, *X. monographus*, *X. saxeseni*, *X. dispar*, *H. dermestoides*, *X. germanus* und *T. bicolor* vom Lineatin-Dispenser aggregiert, was jedoch vielmehr auf im Lineatin-Dispenser enthaltene Volatile, als auf das Lineatin per se zurückzuführen sein dürfte. Entsprechend wäre eine Verwendung des Lineatin-Dispensers im Monitoring der benannten Arten aufgrund der Aggregationswirkung zwar möglich, jedoch ließe sich das Monitoring durch Verwendung anderer Semiochemikalien vermutlich kostengünstiger gestalten. Beispielsweise wurde für Ethanol eine zum Lineatin vergleichbare oder sogar höhere Aggregationsleistung bei den Arten *L. varius* und *X. germanus* nachgewiesen.

Der verwendete exo-Brevicomin Dispenser könnte im Monitoring von *L. varius* Verwendung finden, obwohl dessen Attraktivität auf *L. varius* etwas geringer war als die Attraktivität des Ethanols. Jedoch beschreiben Klimetzek et al. (1986) synergistische Effekte einer Kombination von Ethanol und *exo*-Brevicom in auf *L. varius*, welche in künftigen Experimenten hinsichtlich einer Eignung dieser Kombination im Monitoring zu prüfen wären. Da das *exo*-Brevicom in auch auf Prädatoren wie *T. formicarius* eine Attraktivität bewirkte, wäre künftig dessen Eignung als Allochthones Kairomon zu prüfen. Bei einer Verwendung des *exo*-Brevicom in bei Fallenfangexperimenten im Kiefernhabitat konnte keine Attraktivität auf in diesem Habitat abundante bast- und holzbesiedelnde Insekten nachgewiesen werden, was eine Anwendung als Allochthones Kairomon im Kiefernhabitat denkbar macht. Ähnliche Ergebnisse erzeugte auch das endo-Brevicomin bei Fallenfangexperimenten im Kiefernhabitat, weshalb künftig auch dessen Eignung als Allochthones Kairomon im Kiefernhabitat näher zu prüfen wäre. Zudem konnte im Eschenhabitat eine Aggregation des Kurzflüglers *X. glabratus* auf das *endo*-Brevicom in nachgewiesen werden. Eine Aggregation von bast- und holzbesiedelnden Insekten im Eschenhabitat wurde jedoch nicht erfasst, weshalb auch im Eschenhabitat eine weitere Prüfung des *endo*-Brevicom in auf Eignung als Allochthones Kairomon zielführend erscheint. Jedoch ist das *exo*-Brevicom in auch Bestandteil des Pheromonsystems von an Gemeiner Fichte vorkommenden Arten *D. micans*, *D. autographus* und *I. typographus* (Dickens 1978 in Anonymus 1980, Tømmerås et al. 1983, Kohnle und Vité 1984b, Kohnle

1985), von denen Grüne (1979) als Nebenwirt die Gemeine Kiefer benennt. Das *endo*-Brevicommin hingegen gehört auch zum Pheromonbouquet von *D. autographus*, von dem ebenfalls ein Vorkommen an Gemeiner Kiefer als Nebenwirt bekannt ist. Letztlich schienen die Dispenser *exo*-Brevicommin und *endo*-Brevicommin entsprechend der Ergebnisse der Fallenfangexperimente alle Anforderungen an ein Allochthones Kairomon zu erfüllen, können im Kiefernhabitat aber vermutlich nicht ohne Restrisiko eingesetzt werden.

Der Sexowit®-Dispenser ist, den Ergebnissen entsprechend, sehr vielseitig im naturnahen Borkenkäfermanagement einsetzbar. Aufgrund seiner Attraktivität auf die im Kiefernhabitat abundanten Arten *I. sexdentatus*, *I. acuminatus* und *H. attenuatus* kann dieser zum Monitoring der benannten Arten verwendet werden. Beim Monitoring von *H. attenuatus* empfiehlt sich die Kombination des Sexowit® mit Acetophenon zur Attraktivitätssteigerung.

Neben einem Einsatz zum Monitoring in Kiefernhabitaten, kann das Sexowit® in Laubwaldhabitaten als Allochthones Kairomon fungieren. Das ist aufgrund der teilweise repellenten Wirkung auf in diesen Habitaten abundante Arten und der gleichzeitigen Attraktivität auf deren natürliche Gegenspieler zu empfehlen. Beispielsweise konnte in den eigenen Untersuchungen eine repellente Reaktion auf *L. varius* in Fallenfang- und Fangholzexperimenten erfasst werden. Aufgrund der hohen Attraktivität des Sexowit® auf *T. formicarius* kann ein natürlicher Schutz des Laubholzes vor Besiedlung mit bast- und holzbesiedelnden Insekten erzeugt werden. Die Ergebnisse der Fangholzexperimente an Gemeiner Esche und Rot-Buche verdeutlichen dies eindrucksvoll. Dabei konnte sowohl die Besiedlungsintensität von *L. varius* als auch die von *T. domesticum* signifikant reduziert werden. Zudem wird durch die in den Brutbildern der Borkenkäfer aktiven *Thanasimus*-Larven und durch den Sexowit®-Dispenser aggregierte Rhizophagidae, eine höhere Mortalität im Borkenkäferbrutbild erzeugt. Mit Sexowit® konnte der Befall von *L. varius* an Gemeiner Esche im Vergleich zur unbehandelten Variante um 86,3 % reduziert werden. Darüber hinaus wurde im Eschenbastkäfer-Brutbild eine Mortalität von 55,1 % erzeugt. Die Ergebnisse deuten auf eine vielversprechende Alternative zum Insektizideinsatz hin. Eine Verwendung als Allochthones Kairomon im Eichenhabitat kann entsprechend der Ergebnisse der Fangholzexperimente zunächst nicht empfohlen werden. Wie die Ergebnisse von Hellmund und Müller (2009) zeigen, lässt sich Sexowit® neben der Applikation im Laubwaldhabitat auch als Allochthones Kairomon im Nadelwaldhabitat (z. B. Fichtenhabitat) anwenden.

Auch der Pheroprax®-Dispenser kann im naturnahen Borkenkäfermanagement vielseitige Verwendung finden. Zur Verwendung im Monitoring von *I. typographus* empfiehlt sich die Kombination mit Acetophenon, welche die Attraktivität nachweislich erhöhte. Zudem eignet sich der Pheroprax®-Dispenser zur Verwendung als Allochthones Kairomon im Laubwaldhabitat. Die Ergebnisse der Fallenfangexperimente sprechen für eine erfolgreiche Anwendung im Rot-Buchenhabitat, da das Pheroprax® (bzw. Typowit®) den Anflug von *T. domesticum* auf sein arteignes Pheromon sehr stark hemmt. Zudem ist im Rot-Buchen-Habitat aus den Ergebnissen von Wehnert und Müller (2012) eine Aggregation von *T. formicarius* und *T. femoralis* auf das Pheroprax® bekannt, was dessen Eignung als Allochthones Kairomon in diesem Habitat bekräftigt. Die Aggregation von *T. femoralis* auf Pheroprax® konnte durch Kombination mit den Substanzen Acetophenon, cis-Nerolidol, 4-Methylheptan-3-ol, Nonanon-2, 3-Penten-2-ol oder Undecanon-2 deutlich erhöht werden. Eine Verwendung einer dieser Kombinationen zur Optimierung der Anwendung als Allochthones Kairomon im Rot-Buchenhabitat erfordert jedoch zunächst weitere Experimente, da die Reaktion von *T. domesticum* auf diese Kombinationen bisher unbekannt ist. Im Nadelwaldhabitat ist eine derartige Kombination jedoch nicht empfehlenswert, da diese den Anflug von *I. typographus* erhöhen würde. Die Ergebnisse der Fallenfangexperimente lassen im Kiefernhabitat jedoch eine Verwendung von Pheroprax® als Allochthones Kairomon, analog zu den Erkenntnissen von Hellmund und Müller (2009), erfolgsversprechend erscheinen.

Der Tomowit®-Dispenser scheint zum Monitoring von *T. piniperda* und *H. palliatus* geeignet. Beide Arten zeigten im Vergleich zur Reaktion auf die verwendeten Testsubstanzen den mit Abstand stärksten Anflug auf Tomowit®. Darüber hinaus ist jedoch auch eine Reaktion von *T. formicarius* auf das Tomowit® bekannt (Müller et al. 2008), welche eine Verwendung als Allochthones Kairomon ermöglichen könnte. In den eigenen Untersuchungen wurde zudem Attraktivität von Tomowit® auf Rindenglanzkäfer nachgewiesen, was bei Verwendung als Allochthones Kairomon zu erhöhten Borkenkäfermortalitäten im Brutbild führen könnte. Entsprechend der Fallenfangergebnisse und der Konzeption des Tomowit®-Dispensers für das Kiefernhabitat, wäre eine Verwendung als Allochthones Kairomon in verschiedenen Laubwaldhabitaten denkbar. Zur Absicherung der Vermutung wären jedoch zunächst weitere Experimente erforderlich.

Auch das Chalcogran kann im naturnahen Borkenkäfermanagement als Allochthones Kairomon für Laubwaldhabitats empfohlen werden. In Fallenfangexperimenten induzierte es repellente Reaktionen bei *L. varius* und *X. germanus*. Darüber hinaus konnte Attraktivität auf diverse Prädatoren wie *N. elongatum*, *R. dispar* und *R. bipustulatus* nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Fangholzexperimente verdeutlichen die erfolgreiche Anwendung als Allochthones Kairomon in Laubwaldhabitats. Entsprechend kann die Anwendung an den Baumarten Gemeine Esche und Eiche empfohlen werden. Die Ergebnisse der Fangholzexperimente mit Chalcogran an Rot-Buchenholz sprechen zwar auch für eine erfolgreiche Anwendung, jedoch induzierte Chalcogran in Fallenfangexperimenten leichte Attraktivität auf *T. domesticum*, was zunächst weitere experimentelle Absicherung diesbezüglich erfordert.

Das Keton Nonanon-2 reduzierte den Anflug von *T. domesticum* auf den Lineatin-Dispenser nachweislich, was die Bedeutung des Nonanon-2 als Nicht-Wirtsbaum-Volatil für *T. domesticum* vermuten lässt. Eine Erprobung dieser olfaktorischen Reaktion am Fangholz ist jedoch vor einer Empfehlung zum Einsatz im naturnahen Borkenkäfermanagement noch ausstehend. Auch auf *X. germanus* induzierte Nonanon-2 in Kombination mit 4-Methylheptan-3-ol in den Fallenfangexperimenten repellentes Verhalten. Zudem wurde bei der Erprobung dieser Substanzkombination am Eichen-Fangholz eine geringere Anzahl an Einbohrlöchern holzbesiedelnder Arten (Bohrlochdurchmesser 1 mm) erfasst. Selbiges wurde auch für 4-Methylheptan-3-ol als Einzelsubstanz beobachtet. Entsprechend der in der Literatur beschriebenen Herkunft beider Substanzen von bastbesiedelnden Borkenkäfern, scheinen diese interspezifische Wechselwirkungen mit holzbesiedelnden Arten zu induzieren. Ein Einsatz zur Abwehr von holzbesiedelnden Arten scheint denkbar, erfordert jedoch noch differenziertere experimentelle Ergebnisse zur Erhöhung der Wirksamkeit.

Die Semiochemikalien Nonanal und Veratrol erzeugten repellente Effekte auf Borkenkäfer bei gleichzeitiger Attraktivität auf Prädatoren. Das Nonanal hemmte im Eschenhabitat den Anflug von *L. varius* und wirkte stark aggregierend auf *V. ruficollis* und *R. bipustulatus*. Auch Veratrol reduzierte den Anflug von *L. varius*. Darüber hinaus wurden repellente Effekte auf *X. germanus* und *X. saxeseni* nachgewiesen. Der Rindenglanzkäfer *R. bipustulatus* hingegen konnte mit dem Veratrol aggregiert werden. Entsprechend der Ergebnisse erfüllen beide Semiochemikalien die Anforderungen eines Allochthonen Kairomons, sind jedoch vermutlich nicht als solches zu verstehen, da beide Substanzen

vermutlich baumbürtiger Natur sind. Daher muss angenommen werden, dass beide Substanzen als HIPV (herbivore induced plant volatile) zu betrachten sind, welche dem natürlichen Abwehrmechanismus des Wirtsbaumes angehören. Mit den Fangholzexperimenten an Esche ließ sich der erfasste repellente Effekt von Veratrol auf *L. varius* jedoch nicht erzeugen. Gleiches gilt für die holzbesiedelnden Arten *X. germanus* und *X. saxeseni* an den durchgeführten Fangholzexperimenten mit Rot-Buche. Für eine abschließende Bewertung und eine Verwendung im naturnahen Borkenkäfermanagement sind folglich noch weitere Erprobungen der erfassten Effekte am Fangholz essentiell.

10.2 NOTWENDIGE NATÜRLICHE RAHMENBEDINGUNGEN UND AUSBLICK

Im Kapitel 10.1 wurden aus den durchgeführten Experimenten Möglichkeiten im naturnahen Management von bast- und holzbesiedelnden Arten abgeleitet. Da die Verfahren Naturprozesse in ihrer Wirkung ausnutzen, sind diese auch an bestimmte natürliche Rahmenbedingungen gebunden, welche sich zwischen den einzelnen Verfahren stark unterscheiden können.

Bei einer Anwendung von Nicht-Wirts-Baumvolatilen, sind die natürlichen Anforderungen als gering zu bewerten. Die Semiochemikalien sollten lediglich repellente Effekte auf die zu regulierenden bast- und holzbesiedelnden Arten besitzen. Darüber hinaus existieren hinsichtlich ihrer Anwendung keine räumlichen oder zeitlichen Restriktionen. Jedoch erscheint es künftig notwendig, derartige Effekte auch am eingeschlagenen bzw. am stehenden Wirtsbaum nachzuweisen. Bisherige Experimente haben die Methode zwar erfolgreich bestätigen können, wurden jedoch ausschließlich in Verhaltensexperimenten oder am Modell Falle erprobt (Borden et al. 1998, Huber und Borden 2001, Jactel et al. 2001, Zhang 2003, Zhang und Schlyter 2003). Die vorliegenden Ergebnisse aus Fangholzexperimenten zeigen, dass sobald es wenigen Käfern gelingt, denn Wirtsbaum zu besiedeln und Pheromone zu produzieren, starke negative Überlagerungseffekte entstehen können. Entsprechend müssen sehr stark ablenkende Wirkungen vorausgesetzt werden, die einen Befall durch Pionierkäfer nahezu 100 %ig unterbinden. Darüber hinaus bleibt bislang die Frage unbeantwortet, wie sich die von einem potentiellen Applikationsort eines Nicht-Wirtsbaum-Volatils abgelenkten Borkenkäfer verhalten. Möglicherweise wird durch die Ablenkung vom Applikationsort ein höherer Besiedlungsdruck auf umliegende

Bestände induziert. Zur Abklärung entsprechender Fragen sind künftig umfangreiche Freilandexperimente notwendig.

Eine Anwendung von Allochthonen Kairomonen im naturnahen Borkenkäfermanagement stellt hingegen höhere Anforderungen an die natürlichen Bedingungen. Analog zu den Nicht-Wirtsbaum-Volatilen wären auch hier repellente Effekte der Semiochemikalien auf die im Ausbringungshabitat abundanten bast- und holzbesiedelnden Insekten vorteilhaft. Der Vorteil von Allochthonen Kairomonen gegenüber Nicht-Wirtsbaum-Volatilen ist das zusätzliche Wirken der natürlichen Gegenspieler. Entsprechend könnten vereinzelte bast- und holzbesiedelnde Insekten, welche das Holz trotz repellenter Wirkung des Allochthonen Kairomons anfliegen, durch die natürlichen Gegenspieler vor einem Einbohren in den Wirtsbaum abgehalten werden. Damit reduziert sich das Risiko von negativ überlagernden Effekten. Jedoch müssen zur Realisierung dieses natürlichen Schutzes auch ausreichend Prädatoren im Aggregationsbereich des Allochthonen Kairomons vorkommen. Entsprechend wäre es ratsam bei der Komposition eines Allochthonen Kairomones unter anderem Lockstoffe zu verwenden, welche den Prädatoren als Fernlockstoffe in der Beutelokalisierung dienen. Damit wäre der Erfolg in der Anwendung weniger von der Prädatorendichte am Applikationsort abhängig. Neben der räumlichen Restriktion existieren jedoch auch zeitliche Restriktionen im Einsatz von Allochthonen Kairomonen. Analog zu den bast- und holzbesiedelnden Arten konnten von den Prädatoren zeitliche Aktivitätsintervalle nachgewiesen werden. Entsprechend lässt sich ein durch ein Allochthones Kairomon zu bewirkender natürlicher Schutz effektiv nur in Zeiten der Schwärmphase des Antagonisten gestalten, für den das Kairomon konzipiert wurde. Eine zeitliche Differenzierung in der Anwendung eines Allochthonen Kairomons müsste damit für einen Einsatz in der Praxis beachtet werden. Nicht alle Prädatoren können ihre Beute auf der Stammoberfläche überwältigen – auch diesbezüglich resultieren differenzierte Anwendungsoptionen. Adulte Ameisenbunkkäfer überwältigen ihre Beute auf der Rindenoberfläche, weshalb Allochthone Kairomone mit Attraktivität auf *T. formicarius* überwiegend in der Vermeidung von Borkenkäferbefall einzusetzen wären. Allochthone Kairomone mit hoher Attraktivität auf *N. elongatum*, Rhizophagidae, Parasitoide oder andere in den Brutsystemen der Beute- bzw. Wirtsorganismen wirkende Gegenspieler hingegen eignen sich eher zu einer Erhöhung der Mortalität im Borkenkäferbrutbild – außer die Substanzen induzieren hohe Repellenzeffekte auf bast- und holzbesiedelnde Insekten. Derartige Repellenzeffekte auf Borkenkäfer konnten

zumindest vom Chalcogran im Eschenhabitat belegt werden. Entsprechend wäre ein Vergleich der Erfolgspotentiale von käferbürtig induzierten Repellenzeffekten zu pflanzenbürtig induzierten Repellenzeffekten in künftigen Forschungsvorhaben anzustreben, um Einsatzmöglichkeiten von Nicht-Wirtsbaum-Volatilen und Allochthonen Kairomonen besser beurteilen zu können. Hinsichtlich der käferbürtig induzierten Repellenzeffekte wären dabei autochthone (z. B. interspezifisch wirkende Semiochemikalien von Borkenkäfern die am selben Wirtsbaum konkurrieren) und allochthone Semiochemikalien (z. B. interspezifisch wirkende Semiochemikalien von Borkenkäfern die an unterschiedlichen Wirtsbäumen vorkommen) zu berücksichtigen.

Eine Anwendung von durch den Fraß der bast- und holzbesiedelnden Insekten emittierten Abwehrsemiochemikalien (HIPV) würde zu Allochthonen Kairomonen vergleichbare natürliche Rahmenbedingungen verlangen – insofern deren Einsatz eine Aggregation von Antagonisten bewirken soll. Beim Einsatz derartiger Semiochemikalien wäre jedoch eine ausreichende Fernlockwirkung zu prüfen.

Für einen künftigen Einsatz naturnaher Managementverfahren in der Praxis besteht dringender Forschungsbedarf hinsichtlich der Applikationsart der Semiochemikalien. Für eine Anwendung am Einzelbaum werden sich zwar Effekte vom Fangholz weitestgehend übertragen lassen, dennoch müssten auch hier die Schutzradien, welche erzeugt werden können, näher beleuchtet werden. Größere Unsicherheiten bestehen bislang hinsichtlich einer Applikation an stehenden Bäumen sowie am Holzpolter.

10.3 BEDEUTUNG DER IDENTIFIZIERTEN SUBSTANZEN UND DEREN WIRKUNG ALS SEMIOCHEMIKALIEN

Die Ergebnisse der Dosis-Antwort-Kurven und Verhaltensexperimente verdeutlichten, dass *T. formicarius* pflanzenbürtige und käferbürtige Semiochemikalien aus Laubwaldhabitaten wahrnehmen kann und diese als Semiochemikalien für ihn fungieren. Eine Überführung der Substanzen in Freilandexperimente brachte jedoch nicht die erhofften Erfolge. Lediglich industrielle gefertigte Dispenser erzeugten deutliche Aggregationen von Ameisenbunkkäfern. Die bei *T. formicarius* festgestellten Fangzahlen mit Semiochemikalien aus Laubwaldhabitaten waren überwiegend gering und selten signifikant verschieden zur Nullvariante. Im Vergleich zu Arbeiten anderer Forschergruppen wurden in den vorliegenden Experimenten jedoch relativ geringe Abgaberraten der getesteten

Semiochemikalien verwendet. Die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen im Labor und den Ergebnissen im Freiland könnte beispielsweise darauf zurückzuführen sein, dass die Semiochemikalien im Freiland in einer Duftlandschaft erprobt wurden, in der zur Schwärmzeit von *T. formicarius* weitaus attraktivere Substanzen oder Substanzgemische vorhanden waren. Entsprechend induziert der geringe Nachweis von *T. formicarius* mit den aus Laubwaldhabitaten stammenden Semiochemikalien, dass es sich vermutlich bei keiner der Substanzen um eines der relevanten Kairomone zum Auffinden der Beutetiere für *T. formicarius* handelt. Dennoch mag die Funktion einzelner Substanzen nicht unbedeutend in der Lokalisierung der Beute sein (z. B. Erzeugen synergistischer Effekte), konnte jedoch mit den verwendeten Testvarianten und Abgaberaten nicht nachgewiesen werden.

Durch die olfaktorischen Reaktionen von bast- und holzbesiedelnden Insekten bzw. weiteren Prädatoren konnte mit den durchgeführten Freilandexperimenten dennoch nachgewiesen werden, dass einige der verwendeten Substanzen als Semiochemikalien in Laubwald- und Nadelwaldhabitaten fungieren und zur olfaktorischen Orientierung in einer komplexen Duftlandschaft genutzt werden.

11 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Graduierungsarbeit beschreibt die Schädlingspotenziale bast- und holzbesiedelnder Insekten in den Laubbaumbeständen Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), Gemeiner Esche (*Fraxinus excelsior*) und Eiche (*Quercus spec.*). Entsprechend konnten über Einschlagterminversuche die Schädlingspotentiale und die Gefährdungszeiträume in Abhängigkeit vom Einschlagszeitpunkt an den Baumarten Rot-Buche, Gemeine Esche und Eiche für die Arten *T. domesticum*, *T. bicolor*, *X. germanus*, *L. varius*, *H. crenatus*, *T. signatum* und *S. intricatus* dargestellt werden. Aus den Ergebnissen wurden Einschlagtermine empfohlen, die eine Wahrscheinlichkeit der Besiedlung mit den benannten Arten reduzieren. Die Konzentration der Einschläge auf die angeregten Einschlagszeiträume erlaubt die Aufarbeitung und Lagerung der Rundhölzer im Waldbestand ohne weitere Managementmaßnahmen zur Borkenkäferabwehr. Jedoch muss in den meisten Waldbeständen vom zeitigen Frühjahr bis zum Spätsommer mit einem Flug von bast- und holzbesiedelnden Insekten gerechnet werden, welcher einen Holzeinschlag und eine Lagerung des eingeschlagenen Holzes im Waldbestand über diesen Zeitraum einschränkt. Während dieses Gefährdungszeitraums können dann weitere Managementmaßnahmen zur Borkenkäferabwehr notwendig werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, naturnahe Maßnahmen im Borkenkäfermanagement weiterzuentwickeln und zu erproben, die einen Schutz des eingeschlagenen Holzes mit naturnäheren Verfahren bieten, und als Alternativen zu unselektiv wirkenden Insektiziden eingesetzt werden könnten. Darüber hinaus sollten damit Möglichkeiten geschaffen werden, Managementinstrumente auch an Gefährdungsorten einsetzen zu können, an denen gesetzliche Regelungen eine Anwendung von Insektiziden unterbinden (z. B. am stehenden Holz). Die naturnahen Managementverfahren basieren auf der Ausnutzung olfaktorischer Reaktionen bast- und holzbesiedelnder Insekten und teilweise auch derer Antagonisten auf Semiochemikalien käferbürtigen und baumbürtigen Ursprungs. Verfahren, die im Rahmen der Forschungsarbeit verfolgt wurden, waren zum überwiegenden Teil das Wirkungsprinzip Allochthoner Kairomone sowie Abwehrverfahren bei denen Nichts-Wirtsbaum-Volatile zum Einsatz kommen. Von Interesse waren dabei baumbürtige Volatile, welche den bast- und holzbesiedelnden Insekten bruttaugliches Wirtsmaterial anzeigen. Derartige Volatile könnten darüber hinaus auch

synergistische Effekte auf eine Aggregation der natürlichen Gegenspieler induzieren, welche ihre Beute überwiegend über von den Beutetieren emittierte Pheromone aufspüren. Zudem existieren Arten wie *T. formicarius*, die bereits im zeitigen Frühjahr und damit noch vor der Schwärmphase ihrer Beutetiere aktiv sind. Folglich scheint *T. formicarius* in der Lage zu sein das bruttaugliche Material seiner Beutetiere von brutuntauglichem Material unterscheiden zu können. Entsprechend wurden Ansätze verfolgt, die olfaktorische Orientierung von *T. formicarius* in Laubwaldhabitaten weiter aufzuklären. Dabei wurden sowohl baumbürtige, als auch käferbürtige Semiochemikalien berücksichtigt. Als biologischer Detektor von Semiochemikalien aus Laubwaldhabitaten wurde der Ameisenbuntkäfer *T. formicarius* verwendet. Von *T. formicarius* ist eine stark generalistische Lebensweise bekannt, die zur Annahme verleitet, dass dieser auch als Prädator an diversen Laubholz besiedelnden Borkenkäferarten auftritt. Entsprechend wurden als Beuteobjekte in Laubwaldhabitaten die Arten *T. domesticum*, *T. signatum*, *L. varius* und *S. intricatus* vermutet. Sollte eine aus einem Laubwaldhabitat gewonnene Substanz eine olfaktorische induzierte Reaktion bei *T. formicarius* auslösen, dann müsste diese höchstwahrscheinlich auch für eine von dessen potentiellen Beutearten aus Laubwaldhabitaten als Semiochemikalie fungieren, da die meisten Semiochemikalien interspezifische Wirkungen besitzen. Dies wiederum würde einen Einsatz dieser Semiochemikalie in naturnahen Managementverfahren ermöglichen.

Mit GC-MS/EAD-Analysen konnte nachgewiesen werden, dass *T. formicarius* Substanzen aus den Habitaten in Wäldern von Rot-Buche, Gemeiner Esche und Eiche wahrnehmen kann.

- Die von Rot-Buche emittierten Volatile, von denen eine Wahrnehmung bei *T. formicarius* nachgewiesen werden konnte, waren: 3-Penten-2-ol, 3,3,5-trimethyl-Cylohexanon, Anisol, Decanal, beta-Caryophyllen und 2-Undecanon. Darüber hinaus wurden im Bohrmehl von *T. domesticum*, dessen vermuteter Hauptbeutearte an Rot-Buche, eine alpha-Pinen ähnliche Substanz und Hexanal nachgewiesen und von *T. formicarius* wahrgenommen.
- Volatile, welche nachweislich von der Gemeinen Esche emittiert und welche in der Antenne von *T. formicarius* ein zur Nullvariante signifikant erhöhtes Elektropotential erzeugten, waren: 3-Penten-2-ol, 3,3,5-trimethyl-Cylohexanon und Decanal. Darüber hinaus wurden an Eschenstämmen, die mit *L. varius* besiedelt waren, Substanzen erfasst, von welchen eine Wahrnehmung bei *T. formicarius*

nachgewiesen werden konnte. Dies waren die Substanzen Linalool, cis-Nerolidol und Elemicin. Vom Bohrmehl von *L. varius* an Gemeiner Esche wurde zudem eine alpha-Pinen ähnliche Substanz sowie Hexanal, d-Limonen und Nonanal von *T. formicarius* wahrgenommen.

- Auch von der Eiche emittierte Volatile konnten von *T. formicarius* gerochen werden. Dies wurde mittels Standardsubstanz jedoch nur für das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon nachgewiesen. Von Eichenholz, welches mit *S. intricatus* besiedelt war, konnten die Substanzen d-Limonen, beta-Caryophyllen, alpha-Copaen, und Thujopsen als von *T. formicarius* wahrnehmbar erfasst werden.

Für einen Teil der von *T. formicarius* wahrgenommenen Substanzen wurden Dosis-Antwort-Kurven aufgenommen, um Erkenntnisse über die Wahrnehmungsschwelle bei *T. formicarius* zu erhalten und eine mögliche Bedeutungen in der olfaktorischen Orientierung im Laubwaldhabitat abzuleiten. Zudem wurden aus der Literatur bekannte und von bast- und holzbesiedelnden Insekten aus Laubwaldhabitaten stammende Semiochemikalien in die Untersuchungen integriert, um eine Wahrnehmung von *T. formicarius* zu testen. Entsprechend wurden die Substanzen Veratrol, Acetophenon, 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-one, Lineatin, Nonanon-2, Ethanol und 4-Methylheptan-3-ol in die Untersuchungen einbezogen. Da für *T. formicarius* eine starke Lockwirkung der aus dem Nadelwaldhabitat stammenden Pheromonkomponenten (S)-(-)-Ipsenol und Ipsdienol bekannt ist, wurden auch diese als Referenzstoffe in den Untersuchungen verwendet.

- Für alle in den Dosis-Antwort-Experimenten getesteten Ketone (2-Undecanon, 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon, Nonanon-2, 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on und Acetophenon) konnte eine olfaktorische Wahrnehmung von *T. formicarius* erfasst werden. Die stärkste Sensibilität zeigte *T. formicarius* dabei auf das 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon und 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on.
- Von den getesteten Alkoholen konnte ein Nachweis der Wahrnehmung von *T. formicarius* nur für 4-Methylheptan-3-ol und 3-Penten-2-ol erfasst werden. Für Ethanol erfolgte hingegen auch in der Konzentrationsstufe 10^{-2} keine signifikante Wahrnehmung. Die stärkste Sensibilität der *Thanasimus*-Antenne wurde auf das 4-Methylheptan-3-ol beobachtet.
- Die Dosis-Antwort-Kurven von *T. formicarius* auf Terpene und deren Abkömmlinge zeigten eine sehr sensitive Wahrnehmung der Stoffe (-)-alpha-Pinen und d-Limonen. Aber auch die Substanzen (+)-alpha-Pinen, Linalool und cis-

Nerolidol wurden in höheren Konzentrationen wahrgenommen. Eine Wahrnehmung des beta-Caryophyllens wurde hingegen auch in der Konzentrationsstufe 10^{-2} nicht beobachtet.

- Für alle getesteten Aldehyde Hexanal, Decanal und Nonanal konnte Wahrnehmung von *T. formicarius* erfasst werden, wobei das Nonanal am sensitivsten gerochen wurde.
- Darüber hinaus erzeugten auch die Substanzen Anisol, Veratrol und Elemicin signifikante Antennenantworten.
- Die aus Nadelwaldhabitaten stammenden Pheromonkomponenten (S)-(-)-Ipsenol und Ipsdienol wurden mit unterschiedlicher Sensibilität von *T. formicarius* gerochen. In deutlich geringeren Konzentrationen wurde dabei das (S)-(-)-Ipsenol wahrgenommen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass *T. formicarius* neben käferbürtigen Substanzen auch eine Vielzahl von pflanzenbürtigen Volatilen wahrnehmen kann. Dabei wurden für einige dieser Substanzen sehr geringe Wahrnehmungsschwellen festgestellt, was eine besondere Bedeutung der Substanzen in der olfaktorischen Orientierung von *T. formicarius* vermuten lässt.

Substanzen, von welchen eine signifikante Wahrnehmung von *T. formicarius* erfasst werden konnte, wurden in Olfaktometerexperimenten auf verhaltensmodifizierende Wirkungen beim Ameisenbuntkäfer untersucht. Daraus sollte die Eigenschaft (aggregierend, neutral oder repellent) der Substanz für *T. formicarius* abgeleitet werden.

- Eine aggregierende Wirkung konnte von der von *L. varius* stammenden Substanz Nonanon-2 nachgewiesen werden. Zudem war das von Esche emittierte Volatil 3-Penten-2-ol, sowie das cis-Nerolidol, welches an Eschenholz mit *L. varius*-Besatz emittiert wurde, im Olfaktometer lockwirksam. Das ebenfalls an Eschenholz mit *L. varius*-Besatz emittierte Volatil Linalool induzierte hingegen keine verhaltensmodifizierende Reaktion. Die an Esche nachgewiesenen Volatile Decanal und 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon hingegen induzierten ein repellentes Verhalten von *T. formicarius*.
- Von den Volatilen, die aus Rot-Buchenholz emittiert wurden, erzeugte lediglich das 3-Penten-2-ol eine aggregierende Reaktion. Die Substanzen Veratrol, 2-Undecanon und beta-Caryophyllen waren in ihrer Wirkung indifferent. Hingegen erzeugten das

aus Rot-Buche emittierte 3,3,5-trimethyl-Cylcohexanon und das Decanal repellentes Verhalten bei *T. formicarius*. Auch das als Pheromonkomponente von *T. bicolor* bekannte Acetophenon erzeugte eine repellente Reaktion im Olfaktometer.

- Von den vom Eichenholz emittierten Substanzen wurde nur das 3,3,5-trimethyl-Cylcohexanon und das beta-Caryophyllen im Olfaktometer erprobt. Die erfassten Reaktionen sind in den vorherigen Abschnitten bereits beschrieben.
- Aggregierende Reaktionen im Olfaktometer wurden zudem von den aus Nadelwaldhabitaten stammenden Pheromonen (S)-(-)-Ipsenol und Ipsdienol nachgewiesen.

Da die Pheromonbouquets der Beutearten von *T. formicarius* aus den Laubwaldhabitaten bisher nur unvollständig bekannt sind, wurden mit *L. varius* besiedelte Eschen-, mit *S. intricatus* besiedelte Eichen- und mit *T. domesticum* besiedelte Rot-Buchenhölzer im Freiland auf einen Anflug von *T. formicarius* untersucht. Mit den Experimenten konnte lediglich *L. varius* als natürliche Beute von *T. formicarius*, sowie eine Abundanz des Prädatoren im Eschenhabitat, nachgewiesen werden. In allen anderen getesteten Laubwaldhabitaten muss weiterhin ein Anflug aus umliegenden Nadelbaumbeständen angenommen werden.

Die in Laborexperimenten auf Wahrnehmung von *T. formicarius* getesteten Substanzen wurden letztlich in Fallenfangexperimente und Fangholzexperimente eingebunden. Aus den Laborexperimenten erfasste Reaktionen von *T. formicarius* sollten dabei auf Übertragbarkeit ins Freiland untersucht werden. Zudem wurden in den Experimenten Semiochemikalien als Einzelsubstanzen und in Mixturen auf Eignung für naturnahe Borkenkäfer-Managementverfahren überprüft.

Ein Anflug von *T. formicarius* auf die in den Laborexperimenten erprobten Substanzen, konnte in Fallenfangexperimenten im Freiland, bei der Verwendung der zu erprobenden Substanzen als Einzelsubstanzen, kaum beobachtet werden. Obwohl es aus den Laborexperimenten nicht abgeleitet werden konnte, wurde lediglich vom Ethanol eine schwache Attraktivität erfasst. Auch die Kombination der Einzelsubstanzen zu Mixturen erzeugte keine nennenswerten Attraktivitäten auf *T. formicarius* und andere Prädatoren im Freiland. Dennoch schienen die Substanzen aufgrund ihrer teilweise repellenten Wirkung auf bast- und holzbesiedelnde Insekten geeignet, um zumindest in naturnahen

Managementverfahren eingesetzt zu werden. Entsprechend erzeugte das Veratrol repellente Effekte auf *L. varius*, *X. germanus* und *X. saxeseni*. Selbiger Effekt wurde von Nonanon-2 auf *X. germanus* und *T. domesticum* beobachtet und auch 4-Methylheptan-3-ol reduzierte den Anflug von *X. germanus*. Im Nadelholzhabitat schien das Acetophenon zum Erzeugen einer repellenten Reaktion von *I. sexdentatus* und *I. acuminatus* geeignet. Die repellenten Effekte ließen sich jedoch nur in Fallenfangexperimenten als signifikant bestätigen. Am Fangholz waren die Effekte überwiegend abgeschwächt, was eine Optimierung der Applikationform in künftigen Experimenten voraussetzt, um die Substanzen in künftigen Managementverfahren einsetzen zu können.

Den Ergebnissen der Fallenfang- und Fangholzexperimente entsprechend können die aus dem Nadelwaldhabitat stammenden Pheromondispenser Sexowit® und Chalcogran als Allochthone Kairomone im Laubwaldhabitat empfohlen werden. Mit den Dispensern konnte die Besiedlungsintensität am Fangholz von *T. domesticum* und *L. varius* deutlich reduziert werden. Am Eschenholz wurde die Zahl der von *L. varius* angelegten Muttergänge/m² beispielsweise um bis zu 86,3 % reduziert. Zudem konnte eine Mortalität im Brutsystem von *L. varius* von bis zu 55,1 % erzeugt werden. Für beide Dispenser wurde in Fallenfangexperimenten zudem eine repellente Wirkung auf *L. varius* nachgewiesen. Die Besiedlungsintensität des Eichensplintkäfers am Eichenfangholz wurde zumindest durch Chalcogran reduziert. Eine Anwendung des Sexowit® im Eichenhabitat und des Chalcogran im Rot-Buchenhabitat sollte jedoch nach bisherigem Erkenntnisstand vorsichtshalber vermieden werden. Die Substanzen Sexowit® und Chalcogran können auch im Nadelwaldhabitat als Allochthone Kairomone verwendet werden. Darüber hinaus scheint eine Applikation von *exo*-Brevicommin und *endo*-Brevicommin als Allochthone Kairomone im Nadelwaldhabitat denkbar, muss jedoch noch am Fangholz geprüft werden.

Aus den Fallenfangexperimenten konnten darüber hinaus Substanzen abgeleitet werden, welche sich im Monitoring von bast- und holzbesiedelnden Insekten aus Laub- und Nadelwaldhabitaten eignen.

12 VERZEICHNISSE

12.1 LITERATURVERZEICHNIS

- Achtnicht A (2008) Untersuchungen zum Fang des Jagdkäfers (*Nemosoma elongatum* L.) und des Kupferstechers (*Pityogenes chalcographus* L.) mit Allochthonen Kairomonen in Wäldern der Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.). Bachelor Arbeit, TU Dresden.
- Ahmadi L, Mirza M (1998) Volatile Constituents of the Essential Oil of *Pycnocycla spinosa* Decne. & Boiss. from Iran. Journal of Essential Oil Research 10 (2): 197-198.
- Alhmedi A, Haubruge E, Francis F (2010) Identification of limonene as a potential kairomone of the harlequin ladybird *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Eur. J. Entomol. 107: 541-548.
- Anderbrant O (1990) Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. Ecol Entomol 15 (1): 1-8.
- Anderson RF (1948) Host selection by the pine engraver. Journal of Economic Entomology 41(4): 596-602.
- Anonymus (1980) Forschungsbericht 1980, Schwerpunkt: Borkenkäferpheromone. Freiburger Waldschutz-Abhandlungen 3, Forstzoologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg i. Br. 194 Seiten.
- Anonymus (2003) Insect pheromones mastering communication to control pests. Beyond Discovery - the path from research to human benefit, National Academy of Sciences, Washington DC. 9 Seiten.
- Anonymus (2004) Rindenbrüter an Buche Kleiner Buchenborkenkäfer [*Taphrorychus bicolor* (Hrbst.)] Buchenprachtkäfer [*Agrilus viridis* L.]. Waldschutz-Info der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 4: 1-16.
- Anonymus (2008) Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 3, Universitätsdrucke Göttingen. 343 Seiten.
- Arey J, Winer AM, Atkinson R, Aschmann SM, Long WD, Lynn MC (1991) The emission of (Z)-3-hexen-1-ol, (Z)-3-hexenylacetate and other oxygenated hydrocarbons from agricultural plant species. Atmospheric Environment. Part A. General Topics 25 (5-6): 1063-1075.
- Baader EJ (1989) Comparative studies on semiochemicals in *Pityogenes* spp. (Col., Scolytidae) and their potential usage in pest management systems. Journal of Applied Entomology 107(1): 1-31.
- Bader M, Petercord R (2004) Mögliche Antagonisten holzbrütender Borkenkäfer. INTERREG IIIA, Entwicklung von Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern. Poster, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz.
- Baier P (1994) Untersuchungen zur abundanzdynamischen Relevanz der Beifänge von *Nemosoma elongatum* (L.) (Col., Ostomidae) in Chalcoprax® beköderten

- Flugbarrierrefallen für *Pityogenes chalcographus* (L.) (Col., Scolytidae). Journal of Applied Entomology 117 (1-5): 51-57.
- Baier P, Bader R, Rosner S (1999) Monoterpene content and monoterpene emission of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) bark in relation to primary attraction of bark beetles (Col., Scolytidae). In Lieutier F, Mattson WJ, Wagner MR (ed) Physiology and Genetics of Tree Phytophagous Interactions. International Symposium, Gujan, France, 31 August-5 September, 1997: 249-259.
- Bakke A (1976) Spruce bark beetle, *Ips typographus*: Pheromone production and field response to synthetic pheromones. Naturwissenschaften 63 (2): 92.
- Bakke A, Frøyen P, Skattebøl L (1977) Field response to a new pheromonal compound isolated from *Ips typographus*. Naturwissenschaften 64 (2): 98-99.
- Bakke A (1978): Aggregation pheromone components of the bark beetle *Ips acuminatus*. Oikos 31: 184-188.
- Bakke A (1981) Inhibition of the response in *Ips typographus* to the aggregation pheromone; field evaluation of verbenone and ipsenol. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 92: 172-177.
- Bakke A, Kvamme T (1981) Kairomone response in *Thanasimus* predators to pheromone components of *Ips typographus*. Journal of chemical ecology 7 (2): 305-312.
- Bakke A, Vité JP (1987) Methylbutynol no Efficient Replacement for the Natural Pheromone Component in *Ips typographus*. Naturwissenschaften 74: 292-293.
- Baraldi R, Rapparini F, Rossi F, Latella A, Ciccioli P (1999) Volatile organic compound emission from flowers of the most occurring and economically important species of fruit trees. Phys. Chem. Earth 24: 729-732.
- Barata E, Mustaparta H, Pickett J, Wadhams L, Araujo J (2002) Encoding of host and non-host plant odours by receptor neurones in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* (Coleoptera: Cerambycidae). Journal of Comparative Physiology A: Sensory, Neural, and Behavioral Physiology 188 (2): 121-133.
- Bauer ML, Fischer A, El Kateb H, Mosandl R (2008) Verjüngungsdynamik nach großflächigem Borkenkäferbefall in den Fichtenwäldern der Hochlagen des Bayerischen Waldes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 179: 43-51.
- Birch MC, Light DM (1977) Inhibition of the attractant pheromone response in *Ips pini* and *I. paraconfusus* (Coleoptera: Scolytidae): Field evaluation of ipsenol and linalool. J Chem Ecol 3 (3): 257-267.
- Blande JD, Turunen K, Holopainen JK (2009) Pine weevil feeding on Norway spruce bark has a stronger impact on needle VOC emissions than enhanced ultraviolet-B radiation. Environmental Pollution 157 (1): 174-180.
- Blaschke M, Bussler H (2012) Borkenkäfer und baumschädigende Holzpilze in einem Höhengradienten des Bayerischen Waldes. Forstschutz Aktuell 54: 10-15.
- Bletchly JD, White MG (1962) Significance and Control of Attack by the Ambrosia Beetle *Trypodendron lineatum* (Oliv.) (Col. Scolytidae) in Argyllshire Forests. Forestry 35 (2): 139-163.
- Blight MM, Henderson NC, Wadhams LJ (1983) The identification of 4-methyl-3-heptanone from *Scolytus scolytus* (F.) and *S. multistriatus* (Marsham). Absolute

- configuration, laboratory bioassay and electrophysiological studies on *S. scolytus*. Insect Biochemistry 13 (1): 27-38.
- Blight MM, Fielding NJ, King CJ, Ottridge AP, Wadhams LJ, Wenham MJ (1983b) Field response of the dutch elm disease vectors, *Scolytus multistriatus* (Marshall) and *S. scolytus* (F.) (Coleoptera: Scolytidae) to 4-methyl-3-heptanol baits containing α -, β -, δ -, or δ -multistriatin. J Chem Ecol 9 (1): 67-84.
- Böll S, Hofmann H, Niethammer M, Schwappach P (2005) Erstes Auftreten des Schwarzen Nutzholzborkenkäfers *Xylosandrus germanus* an Weinreben in Europa. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 3 (57): 57-63.
- Boland W, Ney P, Jaenicke L (1984) A „closed-loop-stripping“ technique as a versatile tool for metabolic studies of volatiles. In: Schneider P (ed.) Analysis of volatiles: methods and applications. De Gruyter, Berlin, New York: 371-380.
- Boppé M (2007) Lockstoff-Fallen für das Borkenkäfer-Management. Jean-Pierre Vité (*1923) In: Rüchardt C (ed.) Beitrag zum Biotechnischen Waldschutz. Wegweisende naturwissenschaftliche und medizinische Forschung, Bd. 4. Verlag Karl Alber, Freiburg/München: 269-273.
- Borden JH, King CJ, Lindgren S, Chong L, Gray DR, Oehlschlager AC, Slessor KN, Pierce HD (1982) Variation in response of *Trypodendron lineatum* from two continents to semiochemicals and trap form. Environmental Entomology 11 (2): 403-408.
- Borden JH, Wilson IM, Gries R, Chong LJ, Pierce HD, Gries G (1998) Volatiles from the bark of trembling aspen, *Populus tremuloides* Michx. (Salicaceae) disrupt secondary attraction by the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae). Chemoecology 8 (2): 69-75.
- Borg-Karlson AK, Ågren L, Dobson H, Bergström G (1988) Identification and electroantennographic activity of sex-specific geranyl esters in an abdominal gland of female *Agriotes obscurus* (L.) and *A. lineatus* (L.) (Coleoptera, Elateridae). Experientia 44 (6): 531-534.
- Bouget C, Brustel H, Brin A, Valladares L (2009) Evaluation of window flight traps for effectiveness at monitoring dead wood-associated beetles: the effect of ethanol lure under contrasting environmental conditions. Agricultural and Forest Entomology 11 (2): 143-152.
- Bowers WW, Gries G, Borden JH, Pierce HD (1991) 3-methyl-3-buten-1-ol: An aggregation pheromone of the four-eyed spruce bark beetle, *Polygraphus rufipennis* (Kirby) (Coleoptera: Scolytidae). J Chem Ecol 17 (10): 1989-2002.
- Brockerhoff EG, Knížek M, Bain J (2003) Checklist of indigenous and adventive bark and ambrosia beetles (Curculionidae: Scolytinae and Platypodinae) of New Zealand and interceptions of exotic species (1952-2000). New Zealand Entomologist 26 (1): 29-44.
- Buttery RG, Black DR, Haddon WF, Ling LC, Teranishi R (1979) Identification of additional volatile constituents of carrot roots. J. Agric. Food Chem 27 (1): 1-3.
- Byers JA, Wood DL (1980) Interspecific inhibition of the response of the bark beetles, *Dendroctonus brevicornis* and *Ips paraconfusus*, to their pheromones in the field. J Chem Ecol 6 (1): 149-164.
- Byers JA, Lanne BS, Löfqvist J, Schlyter F, Bergström G (1985) Olfactory recognition of host-tree susceptibility by pine shoot beetles. Naturwissenschaften 72 (6): 324-326.

- Byers JA (1989) Chemical ecology of bark beetles. *Experientia* 45 (3): 271-283.
- Byers JA, Lanne BS, Löfqvist J (1989) Host tree unsuitability recognized by pine shoot beetles in flight. *Experientia* 45 (5): 489-492.
- Byers JA (1992) Attraction of bark beetles, *Tomicus piniperda*, *Hylurgops palliatus*, and *Trypodendron domesticum* and other insects to short-chain alcohols and monoterpenes. *J Chem Ecol* 18 (12): 2385-2402.
- Byers JA, Zhang QH, Birgersson G (2000) Strategies of a bark beetle, *Pityogenes bidentatus*, in an olfactory landscape. *Naturwissenschaften* 87: 503-507.
- Campos M, Lozano C. (1994) Observations on the reproductive biology of two parasites of *Hylesinus varius* and *Phloeotribus scarabaeoides* (Col: Scolytidae): *Cheiropachus quadrum* (Hym: Pteromalidae) and *Dendrosoter protuberans* (Hym: Braconidae). *Entomophaga* 39 (1): 51-59.
- Chen Y, Whitehill JGA, Bonello P, Poland TM (2011) Feeding by emerald ash borer larvae induces systemic changes in black ash foliar chemistry. *Phytochemistry* 72 (16): 1990-1998.
- Chénier JVR, Philogène BJR (1989) Field responses of certain forest Coleoptera to conifer monoterpenes and ethanol. *J Chem Ecol* 15 (6): 1729-1745.
- Coke JL, Williams HJ, Natarajan S (1977) A new preparation of acetylenic ketones and application to the synthesis of *exo*-brevicomins, the pheromone from *Dendroctonus brevicomis*. *J. Org. Chem* 42 (14): 2380-2382.
- Conn JE, Borden JH, Scott BE, Friskie LM, Pierce Jr. AC (1983) Semiochemicals for the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae) in British Columbia: field trapping studies. *Canadian Journal of Forest Research* 13(2): 320-324.
- Costa A, Reeve J (2011) Olfactory Experience Modifies Semiochemical Responses in a Bark Beetle Predator. *Journal of chemical ecology*: 1-11.
- Cook SP, Hain FP (1986) Defensive mechanisms of loblolly and shortleaf pine against attack by southern pine beetle *Dendroctonus frontalis* Zimmerman and its fungal associate *Ceratocystis minor* (Hedgecock). *J Chem Ecol* 12: 1397-1406.
- Czokajlo D, Teale SA (1999) Synergistic Effect of Ethanol to α -Pinene in Primary Attraction of the Larger Pine Shoot Beetle, *Tomicus piniperda*. *Journal of chemical ecology* 25 (5): 1121-1130.
- Czokajlo D, Hrasovec B, Pernek M, Hilszczanski J, Kolk A, Teale S, Wickham J, Kirsch P (2003) New lure for the larger pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* - attractant/trap design combinations tested in North America and Europe. In: McManus ML, Liebhold AM (ed) *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects; 2002 September 1-5; Krakow, Poland*. Gen. Tech. Rep. NE-311. Newtown Square, PA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station: 6-9.
- Derenda H (2011) Untersuchungen zu kairomonalen Lockstoffen in Wäldern der Gemeinen Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), unter besonderer Berücksichtigung von Käfern der Gattung *Thanasimus* und deren Beutetiere. Diplomarbeit, TU Dresden.
- Derksen W (1941) Die Succession der pterygoten Insekten im abgestorbenen Buchenholz. *Z. Morph. u. Okol. Tiere* 37 (4): 683-734.

- Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, Bruin J, Posthumus MA (1990) Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: Prospects for application in pest control. *J Chem Ecol* 16 (11): 3091-3118.
- Dicke M (1999) Are herbivore-induced plant volatiles reliable indicators of herbivore identity to foraging carnivorous arthropods? *Entomologia Experimentalis et Applicata* 91 (1): 131-142.
- Dippel C (1991) Zur Biologie des Borkenkäferprädators *Nemosoma elongatum*. *Naturwissenschaften* 78 (10): 473-474.
- Dodds KJ, Miller DR (2010) Test of Nonhost Angiosperm Volatiles and Verbenone to Protect Trap Trees for *Sirex noctilio*. *Journal of Economic Entomology* 103 (6): 2094-2099.
- Doganlar M, Schopf R (1984) Some biological aspects of the European oak bark beetle, *Scolytus intricatus* (Ratz.) (Col., Scolytidae) in the northern parts of Germany (BRD). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 97 (1-5): 153-162.
- Ebel RC, Mattheis JP, Buchanan DA (1995) Drought stress of apple trees alters leaf emissions of volatile compounds. *Physiol Plant* 93 (4): 709-712.
- Eichhorn O, Graf P (1974) Über einige Nutzholzborkenkäfer und ihre Feinde. *Anzeiger für Schädlingskunde* 47 (9): 129-135.
- Eidmann HH, Weslien J (1986) A Compound Replacing a Natural Pheromone Component of the Spruce Bark Beetle. *Naturwissenschaften* 73: 629-630.
- Erbilgin N, Raffa KF (2001) Modulation of predator attraction to pheromones of two prey species by stereochemistry of plant volatiles. *Oecologia* 127 (3): 444-453.
- Erbilgin N, Powell JS, Raffa KF (2003) Effect of varying monoterpene concentrations on the response of *Ips pini* (Coleoptera: Scolytidae) to its aggregation pheromone: implications for pest management and ecology of bark beetles. *Agric Forest Ent* 5 (4): 269-274.
- Erbilgin N, Gillette NE, Mori SR, Owen DR, Wood DL (2007) Acetophenone as an Anti-attractant for the Western Pine Beetle, *Dendroctonus brevicomis* LeConte (Coleoptera: Scolytidae). *Journal of chemical ecology* 33: 817-823.
- Erbilgin N, Gillette NE, Owen DR, Mori SR, Nelson AS, Uzoh F, Wood DL (2008) Acetophenone superior to verbenone for reducing attraction of western pine beetle *Dendroctonus brevicomis* to its aggregation pheromone. *Agricultural and Forest Entomology* 10: 433-441.
- Etxebeste I, Pajares JA (2011) Verbenone protects pine trees from colonization by the six-toothed pine bark beetle, *Ips sexdentatus* Boern. (Col. Scolytinae). *Journal of Applied Entomology* 135: 258-268.
- Etxebeste I, Álvarez G, Pérez G, Pajares JA (2011b) Field response of the six-toothed pine bark beetle, *Ips sexdentatus* (Col.: Curculionidae, Scolytinae), to pheromonal blend candidates. *Journal of Applied Entomology*, pp. no.
- Faccoli M, Anfora G, Tassin M (2008) Responses of the Mediterranean Pine Shoot Beetle *Tomicus destruens* (Wollaston) to Pine Shoot and Bark Volatiles. *J Chem Ecol* 34 (9): 1162-1169.

- Flechtmann CAH, Dalusky MJ, Berisford CW (1999) Bark and Ambrosia Beetle (Coleoptera: Scolytidae) Responses to Volatiles from Aging Loblolly Pine Billets. *Environmental Entomology* 28: 638-648.
- Francke W (1973) Nachweis und Identifizierung von Aggregationssubstanzen in dem Ambrosiakäfer *Xyloterus domesticus* L. (Coleoptera Scolytidae). Dissertation, Universität Hamburg. 146 Seiten.
- Francke W, Heemann V (1974) Lockversuche bei *Xyloterus domesticus* L. und *X. lineatus* Oliv. (Coleoptera: Scolytidae) mit 3-Hydroxy-3-methylbutan-2-on. *Journal of Applied Entomology* 75: 67-72.
- Francke W, Heemann V, Gerken B, Renwick JAA, Vité JP (1977) 2-Ethyl-1,6-dioxaspiro[4.4]nonane, principal aggregation pheromone of *Pityogenes chalcographus* (L.). *Naturwissenschaften* 64 (11): 590-591.
- Francke W, Hindorf G, Reith W (1979) Alkyl-1,6-dioxaspiro[4.5]-decanes - A new class of pheromones. *The Science of Nature* 66: 618-619.
- Francke W (1991) Semiochemicals: Mevalogenins in Systems of Chemical Communication. In: Müller PM, Lamparsky D (ed) *Perfumes - Art, Science & Technology*. Blackie, London: 61-100.
- Francke W, Bartels J, Meyer H, Schröder F, Kohnle U, Baader E, Vité JP (1995) Semiochemicals from bark beetles. New results, remarks, and reflections. *Journal of chemical ecology* 21 (7): 1043-1063.
- Francke W, Schröder, F, Kohnle U, Simon M (1996) Synthesis of (1S,2R,5R)-2-Ethyl-1,5-dimethyl-6,8-dioxabicyclo[3.2.1]octane, the Aggregation Pheromone of Male Beech Bark Beetles, *Taphrorychus bicolor* (Col., Scol.). *Liebigs Ann* 1996 (10): 1523-1527.
- Francke-Grosman H (1963) Some New Aspects in Forest Entomology. *Annu. Rev. Entomol* 8 (1): 415-438.
- Fries N (1960) Nonanal as a growth factor for wood-rotting fungi. *Nature* 187: 166-167.
- Führer E, Hausmann B, Wiener L (1991) Borkenkäferbefall (Col., Scolytidae) und Terpenmuster der Fichtenrinde (*Picea abies* Karst.) an Fangbäumen. *Journal of Applied Entomology* 112 (1-5): 113-123.
- Fürstenau B, Rosell G, Guerrero A, Quero C (2012) Electrophysiological and behavioral responses of the black-banded oak borer, *Coroebus florentinus*, to conspecific and host-plant volatiles. *J Chem Ecol.* 38 (4): 378-388.
- Gabriel M (2004) Entwicklung eines EAG-Systems zur Analyse von komplexen Duftstoff-Gemischen. Dissertation, Technische Universität Kaiserslautern. 128 Seiten.
- Gandhi KJK, Cognato AI, Lightle DM, Mosley BJ, Nielsen DG, Herms DA (2010) Species Composition, Seasonal Activity, and Semiochemical Response of Native and Exotic Bark and Ambrosia Beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) in Northeastern Ohio. *Journal of Economic Entomology* 103 (4): 1187-1195.
- Gaubicher B, Proft M, Gregoire JC (2002) *Trypodendron domesticum* and *Trypodendron signatum*. Two Scolytid Species Involved in Beech Decline in Belgium. *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects*: 134-135.
- Gauss R (1954) Der Ameisenbuntkäfer *Thanasimus formicarius* Latr. als Borkenkäferfeind. In: Wellenstein G (ed) *Die grosse Borkenkäferkalamität in Südwest-Deutschland 1944-1951*: 417-429.

- Geier M, Boeckh J (1999) A new Y-tube olfactometer for mosquitoes to measure the attractiveness of host odours. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 92: 9-19.
- Geissen HP (1996) Anmerkungen zu einigen waldbewohnenden Käferarten aus dem Rhein-Mosel-Hunsrück (Col.). *Mitt. Arb.gem. Rhein. Koleopterologen (Bonn)* 6 (4): 187-196.
- González R, Campos M (1990) Evaluation of natural enemies of the *Phloeotribus scarabaeoides* (Bern.) (Col: Scolytidae) in Granada olive groves. *Acta Horticulturae* 286: 355-358.
- Graf E, Manser P (2000) Beitrag zum eingeschleppten Schwarzen Nutzholzborkenkäfer *Xylosandrus germanus*. Biologie und Schadenpotential an im Wald gelagertem Rundholz im Vergleich zu *Xyloterus lineatus* und *Hylecoetus dermestoides*. *Swiss Forestry Journal* 8: 271-281.
- Graf E, Manser P (2000b) The imported Japanese scolytid beetle *Xylosandrus germanus*. Biology and damage potential for roundwood stored in the forest compared to *Xyloterus lineatus* and *Hylecoetus dermestoides*. *Schweizerische Zeitung für Forstwesen* 151 (8): 271-281.
- Grégoire JC, Baisier M, Drumont A, Dahlsten DL, Meyer H, Francke W (1991) Volatile compounds in the larval frass of *Dendroctonus valens* and *Dendroctonus micans* (Coleoptera: Scolytidae) in relation to oviposition by the predator, *Rhizophagus grandis* (Coleoptera: Rhizophagidae). *J Chem Ecol* 17 (10): 2003-2019.
- Grégoire JC, Piel F, Proft M, Gilbert M (2001) Spatial Distribution of Ambrosia-Beetle Catches: A Possibly Useful Knowledge to Improve Mass-Trapping. *Integrated Pest Management Reviews* 6 (3/4): 237-242.
- Gregonis DE, Portwood RD, Davidson WH, Durfee DA, Levinson AS (1968) Volatile oils from foliage of coast redwood and big tree. *Phytochemistry* 7 (6): 975-981.
- Groot P, Poland TM (2002) Attraction of *Hylastes opacus* (Coleoptera: Scolytidae) to nonanal. *The Canadian Entomologist* 135 (2): 309-3011.
- Groot P, Grant GG, Poland TM, Scharbach R, Buchan L, Nott RW, Macdonald L, Pitt D (2008) Electrophysiological Response and Attraction of Emerald Ash Borer to Green Leaf Volatiles (GLVs) Emitted by Host Foliage. *J Chem Ecol* 34 (9): 1170-1179.
- Grüne S (1979) *Handbuch zur Bestimmung der europäischen Borkenkäfer*. M. & H. Schaper Verlag. Hannover. 182 Seiten.
- Gossauer A (2006) *Struktur und Reaktivität der Biomoleküle. Eine Einführung in die organische Chemie*. Zürich, Helvetica Chimica Acta. 285 Seiten.
- Guérard N, Dreyer E, Lieutier F (2000) Interactions between Scots pine, *Ips acuminatus* (Gyll.) and *Ophiostoma brunneo-ciliatum* (Math.): estimation of the critical thresholds of attack and inoculation densities and effects on hydraulic properties in the stem. *Annals of Forest Science* 57: 681-690.
- Hansen K (1983) Reception of bark beetle pheromone in the predaceous clerid beetle, *Thanasimus formicarius* (Coleoptera. Cleridae). *Journal of Comparative Physiology A: Neuroethology, Sensory, Neural, and Behavioral Physiology* 150: 371-378.
- Harring CM (1978) Aggregation pheromones of the European fir engraver beetles *Pityokteines curvidens*, *P. spinidens* and *P. vorontzovi* and the role of juvenile hormone in pheromone biosynthesis. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 85 (1-4): 281-317.

- Harz B, Topp W (1999) Totholz im Wirtschaftswald: eine Gefahrenquelle zur Massenvermehrung von Schadinsekten? Forstwissenschaftliches Zentralblatt - Tharandter Forstliches Jahrbuch 118 (5): 302-313.
- Heidger CM (1994) Die Ökologie und Bionomie der Borkenkäferantagonisten *Thanasimus formicarius* L. (Cleridae) und *Scoloposcelis pulchella* Zett. (Anthororidae): Daten zur Beurteilung ihrer prädatorischen Kapazität und Effekte beim Fang in Pheromonfallen. Dissertation, Philipps-Universität-Marburg. 317 Seiten.
- Hellmund M, Müller M (2009) Abschlussbericht (2005 bis 2008) zum Projekt: Naturnahe Regulation von Borkenkäferpopulationen (Coleoptera, Scolytidae) durch Aggregation von Prädatoren mit Hilfe Allochthoner Kairomone. Unveröffentlicht: 65 Seiten.
- Hellrigl K, Schwenke W (1985) Begleitinsekten in Buchdrucker-Pheromonfallen in Südtirol. Anz. Schadlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 58 (3): 47-50.
- Henin JM, Huart O, Rondeux J (2003) Biogeographical observations on four scolytids (Coleoptera, Scolytidae) and one lymexylonid (Coleoptera, Lymexylonidae) in Wallonia (Southern Belgium). Belg. J. Zool. 133 (2): 175-180.
- Henin JM, Versteirt V (2004) Abundance and distribution of *Xylosandrus germanus* (Blandford 1894) (Coleoptera, Scolytidae) in Belgium: new observations and an attempt to outline its range. Journal of Pest Science 77 (1): 57-63.
- Heuer HG, Vité JP (1984) Chalcogran: unique kairomone-governed predator-prey relations among ostomid and scolytid beetles. Naturwissenschaften 71:214-215.
- Hofstetter RW, Mahfouz JB, Klepzig KD, Ayres MP (2005): Effects Of Tree Phytochemistry On The Interactions Among Endophloedic Fungi Associated With The Southern Pine Beetle. J Chem Ecol 31 (3): 539-560.
- Holighaus G, Schütz S (2006) Strategie der olfaktorischen Wirtsfindung von *Trypodendron domesticum* L. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 59: 119-128.
- Holighaus G (2012) Odour signals relevant to beetles in deadwood habitats - odorants, olfaction and behaviour. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. 175 Seiten.
- Holopainen JK, Gershenzon J (2010) Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. In Trends in Plant Science 15 (3): 176-184.
- Holzke C, Dindorf T, Kesselmeier J, Kuhn U, Koppmann R (2006) Terpene emissions from European beech (*Fagus sylvatica* L.): Pattern and Emission Behaviour over two Vegetation Periods. J Atmos Chem 55 (1): 81-102.
- Hong RL, Sommer RJ (2006) Chemoattraction in *Pristionchus* Nematodes and Implications for Insect Recognition. Current Biology 16 (23): 2359-2365.
- Hosking GP (1973) *Xyleborus saxeseni*, its life-history and flight behaviour in New Zealand. New Zealand Journal of Forestry Science 3: 37-53.
- Hovorka O, Kindl J, Kalinová B, Knížek M, Vrkočová P, Koutek B (2005) The role of beetle and host volatiles in host colonization in the European oak bark beetle, *Scolytus intricatus* (Ratzeburg) (Col., Scolytidae). Journal of Applied Entomology 129 (4): 221-226.
- Howse PE, Stevens IDR, Jones OT (1998): Insect Pheromones and their use in pest management. Chapman & Hall, London: 369.

- Huber DPW, Gries R, Borden JH, Pierce Jr. HD (2000) A survey of antennal responses by five species of coniferophagous bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) to bark volatiles of six species of angiosperm trees. *Chemoecology* 10 (3): 103-113.
- Huber DPW, Borden JH, Stastny M (2001) Response of the pine engraver, *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae), to conophthorin and other angiosperm bark volatiles in the avoidance of non-hosts. *Agric Forest Ent* 3 (3): 225-232.
- Hughes PR (1974) Myrcene: A precursor of pheromones in *Ips* beetles. *Journal of Insect Physiology* 20 (7): 1271-1275.
- Hui Ye, Bakke A (1997) Development and reproduction of *Thanasimus formicarius* (L.) (Coleoptera: Cleridae) at three constant temperatures. *The Canadian Entomologist* 129 (3): 579-583.
- Hulcr J, Ubik K, Vrkoc J (2006) The role of semiochemicals in tritrophic interactions between the spruce bark beetle *Ips typographus*, its predators and infested spruce. *Journal of Applied Entomology* 130 (5): 275-283.
- Huss J (1987) Mischwald zwischen Wunsch und Wirklichkeit. *Forstw Cbl* 106 (1): 114-132.
- Ibrahim MA, Kainulainen P, Aflatuni A, Tiilikkala K, Holopainen JK (2001) Insecticidal, repellent, antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: With special reference to limonene and its suitability for control of insect pests. *Agricultural and Food Science* 10: 243-259.
- Ichiki RT, Kainoh Y, Kugimiya S, Takabayashi J, Nakamura S (2008) Attraction to Herbivore-induced Plant Volatiles by the Host-foraging Parasitoid Fly *Exorista japonica*. *J Chem Ecol* 34 (5): 614-621.
- Jactel H (1991) Dispersal and flight behaviour of *Ips sexdentatus* (Coleoptera: Scolytidae) in pine forest. *Ann. For. Sci* 48 (4): 417-428.
- Jactel H, van Halder I, Menassieu P, Zhang QH, Schlyter F (2001) Non-Host Volatiles Disrupt the Response of the Stenographer Bark Beetle, *Ips sexdentatus* (Coleoptera. Scolytidae), to Pheromone-Baited traps and Maritime Pine Logs. *Integrated Pest Management Reviews* 6 (3): 197-207.
- Jiang J (1995) Volatile metabolites produced by *Kluyveromyces lactis* and their changes during fermentation. *Process Biochemistry* 30 (7): 635-640.
- Johne AB, Weißbecker B, Schütz S (2006) Microorganisms on *Aesculus hippocastanum* – olfactory perspective of *Cameraria ohridella* (Deschka & Dimic). *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 15: 147-152.
- Jordão AM, Ricardo-da-Silva JM, Laureano O, Adams A, Demyttenaere J, Verhé R, Kimpe N (2006) Volatile composition analysis by solid-phase microextraction applied to oak wood used in cooperage (*Quercus pyrenaica* and *Quercus petraea*): effect of botanical species and toasting process. *J Wood Sci* 52 (6): 514-521.
- Jung B, Roffael E (2002) Über die Acidität einheimischer Holzarten. *Holz als Roh- und Werkstoff* 60 (2): 154.
- Kamp H (1951) Beobachtungen über die Biologie des Eichensplintkäfers, *Scolytus intricatus* Rtz. *Journal of Pest Science* 24 (6): 85.
- Kangas E, Oksanen H, Perttunen V (1970) Responses of *Blastophagus piniperda* L. (Coleoptera, Scolytidae) to trans-verbenol, cis-verbenol, and verbenone, known to be

- population pheromones of some American bark beetles. *Acta Entomologica Fennica*, 36: 75-83.
- Kännaste A, Vongvanich N, Borg-Karlson AK (2008) Infestation by a *Nalepella* species induces emissions of α - and β -farnesenes, (-)-linalool and aromatic compounds in Norway spruce clones of different susceptibility to the large pine weevil. *Arthropod-Plant Interactions* 2 (1): 31-41.
- Keiper F (2012) Untersuchungen zur olfaktorischen Reaktion des Ameisenbuntkäfers (*Thanasimus formicarius* L.) auf ausgewählte Semiochemikalien in Olfaktometerversuchen. Bachelorarbeit, TU Dresden.
- Kegge W, Pierik R (2010) Biogenic volatile organic compounds and plant competition. *Trends in Plant Science* 15 (3): 126-132.
- Kenis M, Wermelinger B, Grégoire JC (2004) Research on Parasitoids and Predators of Scolytidae – A Review. In Lieutier F, Day KR, Battisti A, Grégoire JC, Evans HF (ed.) *Bark and Wood Boring Insects in Living Trees in Europe, a Synthesis*: 237-290.
- Kennedy AA, McCullough DG (2002) Phenology of the Larger European Pine Shoot Beetle *Tomicus piniperda* (L.) (Coleoptera: Scolytidae) in Relation to Native Bark Beetles and Natural Enemies in Pine Stands. *Environmental Entomology* 31 (2): 261-272.
- Kerck K (1972) Äthylalkohol und Stammkontur als Komponenten der Primäranlockung bei *Xyloterus domesticus* L. (Col.: Scolytidae). *Naturwissenschaften* 59 (9): 423.
- Kesselmeier J, Staudt M (1999) Biogenic Volatile Organic Compounds (VOC). An Overview on Emission, Physiology and Ecology. *Journal of Atmospheric Chemistry* 33 (1): 23-88.
- Klepzig KD, Kruger EL, Smalley EB, Raffa KF (1995) Effects of biotic and abiotic stress on induced accumulation of terpenes and phenolics in red pines inoculated with bark beetle-vectored fungus. *J Chem Ecol* 21 (5): 601-626.
- Klimetzek D, Vité JP und Mori K (1980) Zur Wirkung und Formulierung des Populationslockstoffes des Nutzhholzborkenkäfers *Trypodendron (=Xyloterus) lineatum*. *Journal of Applied Entomology* 89: 57-63.
- Klimetzek D, Vité JP, König E (1981) Über das Verhalten mitteleuropäischer *Trypodendron*-Arten gegenüber natürlichen und synthetischen Lockstoffen. *Mitt. Dt. Ges. allg. angew. Entomologie* 2: 303-306.
- Klimetzek D (1984) Grundlagen einer Überwachung und Bekämpfung der Nutzhholzborkenkäfer (*Trypodendron* spp.) mit Lock- und Ablenkstoffen. *Freiburger Waldschutz-Abhandlungen* 5: 227 Seiten.
- Klimetzek D, Köhler J, Vité JP, Kohnle U (1986) Dosage response to ethanol mediates host selection by secondary bark beetles. *Naturwissenschaften* 73 (5): 270-272.
- Klimetzek D, Bartels J, Francke W (1989) Das Pheromon-System des Buntten Ulmenbastkäfers *Pteleobius vittatus* (F.) (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology* 107 (1-5): 518-523.
- Kohnle U, Vité JP (1984) Bark beetle predators: Strategies in the olfactory perception of prey species by clerid and trogositid beetles. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 98 (1-5): 504-508.

- Kohnle U, Vité JP (1984b) Bicyclic Ketals in the chemical communication of European bark beetles. *Naturwissenschaften* 71 (1): 47-48.
- Kohnle U (1985) Untersuchungen über die Pheromonsysteme sekundärer Borkenkäfer (Col., Scolytidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 100 (1-5): 197-218.
- Kohnle U, Kopp S, Francke W (1986) Inhibition of the attractant pheromone response in *Ips acuminatus* (Gyll.) by *I. sexdentatus* (Boerner) (Coleoptera, Scolytidae). *Journal of Applied Entomology* 101 (1-5): 316-319.
- Kohnle U, Mussong M, Dubbel V, Francke W (1987) Acetophenone in the aggregation of the beech bark beetle, *Taphrorychus bicolor* (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology* 103: 249-252.
- Kohnle U, Densborn S, Kölsch P, Meyer H, Francke W (1992) E-7-Methyl-1,6-dioxaspiro[4-5]decane in the chemical communication of European Scolytidae and Nitidulidae (Coleoptera). *J. Appl. Entomol.* 114: 187-192.
- Kohnle U, Densborn S, Duhme D, Vité JP (1992b) Bark beetle attack on host logs reduced by spraying with repellents. *Journal of Applied Entomology* 114 (1-5): 83-90.
- König G, Brunda M, Puxbaum H, Hewitt CN, Duckham SC, Rudolph J (1995) Relative contribution of oxygenated hydrocarbons to the total biogenic VOC emissions of selected mid-European agricultural and natural plant species. *Atmospheric Environment* 29, 861-874.
- Kostova I, Iossifova T (2007) Chemical components of *Fraxinus* species. *Filoterapia* 78: 85-106.
- Kotte S (2004) Untersuchungen zur Anlockung der Prädatoren von Borkenkäfern mit ausgewählten habitatfremden Kairomonen. Diplomarbeit, TU Dresden.
- Kou R, Chen SC, Chen YR, Ho HY (2006) 3-hydroxy-2-butanone and the first encounter fight in the male lobster cockroach, *Nauphoeta cinerea*. *Naturwissenschaften* 93: 286-291.
- Kubisz D (1992) Occurrence of predators from the genus *Rhizophagus* Herbst (Col., Rhizophagidae) in pheromone traps. *Journal of Applied Entomology* 113 (1-5): 525-531.
- Kühnholz S, Borden JH, Uzunovic A (2001) Secondary Ambrosia Beetles in Apparently Healthy Trees: Adaptations, Potential Causes and Suggested Research. *Integrated Pest Management Reviews* 6 (3/4): 209-219.
- Kunca A, Leontovyč R, Zúbrik M, Gubka A (2011) Bark beetle outbreak on weakened ash trees and applied control measures. *EPPO Bulletin* 41 (1): 11-13.
- Kurz WA, Dymond CC, Stinson G, Rampley GJ, Neilson ET, Carroll AL, Ebata T, Safranyik L (2008) Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature* 452: 987-990.
- Langewald J (1989) Ein Beitrag zur Habitatselektion des Ameisenbuntkäfers, *Thanasimus formicarius* L. (Col., Cleridae). *Anzeiger für Schädlingskunde* 62 (5): 88-90.
- Lanne BS, Schlyter F, Byers JA, Löfqvist J, Leufven A, Bergström G, Van Der Pers JNC, Unelius R, Bäckström P, Norin T (1987) Differences in attraction to semiochemicals present in sympatric pine shoot beetles, *Tomicus minor* and *T. piniperda*. *Journal of Chemical Ecology* 13: 1045-1067.

- Lassauce A, Larrieu L, Paillet Y, Lieutier F, Bouget C, Leather SR, Quicke D (2012) The effects of forest age on saproxylic beetle biodiversity: implications of shortened and extended rotation lengths in a French oak high forest. *Insect Conserv Divers*, pp. n/a.
- Leitner M, Boland W, Mithöfer A (2005) Direct and indirect defences induced by piercing-sucking and chewing herbivores in *Medicago truncatula*. *New Phytologist* 167 (2): 597-606.
- Leroy PD, Heuskin S, Sabri A, Verheggen FJ, Farmakidis J, Lognay G, Thonart P, Wathelet JP, Brostaux Y, Haubruge E (2012) Honeydew volatile emission acts as a kairomonal message for the Asian lady beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Insect Science* 19 (4): 498-506.
- Li SQ, Zhang ZN (2006) Influence of larval frass extracts on the oviposition behaviour of *Monochamus alternatus* (Col., Cerambycidae). *J Appl Entomology* 130 (3): 177-182.
- Li SQ, Fang YL, Zhang ZN (2007) Effects of volatiles of non-host plants and other chemicals on oviposition of *Monochamus alternatus* (Coleoptera: Cerambycidae). *J Pest Sci* 80 (2): 119-123.
- Linton CJ, Wright SJL (1993) Volatile organic compounds: microbiological aspects and some technological implications. *J Appl Microbiol* 75 (1): 1-12.
- López S, Iturrondobeitia JC, Goldarazena A (2007) Primera cita la Península Ibérica de *Gnathotrichus materiarius* (Fitch, 1858) y *Xylosandrus germanus* (Blanford, 1894) (Coleoptera: Scolytinae). *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa* 40: 527-532.
- Loreto F, Sharkey TD (1993) Isoprene emission by plants is affected by transmissible wound signals. *Plant, Cell and Environment* (16): 563-570.
- Løyning MK, Kirkendall LR (1999) Notes on the mating system of *Hylesinus varius* (F.)(Col., Scolytidae), a putatively bigynous bark beetle. *Journal of Applied Entomology* 123 (2): 77-82.
- Lozano C, Campos M (1993) Colonization and the estimation of population size in the bark-beetle *Hylesinus varius*. *International Journal of Pest Management* 39 (3): 277-280.
- Lynen F (1964) Der Weg von der aktivierten Essigsäure zu den Terpenen und Fettsäuren. Nobel-Vortrag, gehalten anlässlich der Verleihung des Nobelpreises, 11. Dezember 1964. *Angewandte Chemie* 21: 929-944.
- Macconnell JG, Silverstein RM (1973) Neue Ergebnisse der Chemie von Insektenpheromonen. *Angew. Chem* 85 (15): 647-657.
- Macconnell JG, Borden JH, Silverstein RM, Stokkink E (1977) Isolation and tentative identification of lineatin, a pheromone from the frass of *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae). *J Chem Ecol* 3 (5): 549-561.
- Macías-Sámamo JE, Borden JH, Gries R, Pierce HD, Gries G, King GGS (1998) Primary Attraction of the Fir Engraver, *Scolytus ventralis*. *Journal of chemical ecology* 24 (6), 1049-1075.
- Maes K, Debergh PC (2003) Volatiles emitted from in vitro grown tomato shoots during abiotic and biotic stress. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 75 (1): 73-78.
- Maga JA (1981) Mushroom flavor. *J. Agric. Food Chem* 29 (1): 1-4.

- Markalas S, Kalapanida M (1997) Flight pattern of some Scolytidae attracted to flight barrier traps baited with ethanol in an oak forest in Greece. *Anz. Schadlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 70 (3): 55-57.
- Markovic I, Norris DM, Phillips JK, Webster FX (1996) Volatiles Involved in the Nonhost Rejection of *Fraxinus pennsylvanica* by *Lymantria dispar* Larvae. *J. Agric. Food Chem* 44: 929-935.
- Martikainen P, Siitonen J, Kaila L, Punttila P, Rauh J (1999) Bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) and associated beetle species in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 116 (1-3): 233-245.
- Martikainen P (2001) Non-target beetles (Coleoptera) in *Trypodendron* pheromone traps in Finland. *Journal of Pest Science* 74: 150-154.
- Martín A, Etxebeste I, Pérez G, Álvarez G, Sánchez E, Pajares J (2012) Modified pheromone traps help reduce bycatch of bark-beetle natural enemies. *Agricultural and Forest Entomology*: pp. no.
- Mason S, Cortes D, Horner WE (2010) Detection of Gaseous Effluents and By-Products of Fungal Growth that Affect Environments (RP-1243). *HVAC&R Res* 16 (2): 109-121.
- McDowell PG, Lwande W, Deans SG, Waterman PG (1988): Volatile resin exudate from stem bark of *Commiphora rostrata*: Potential role in plant defence. *Phytochemistry* 27 (8): 2519-2521.
- Miller RH, Berryman AA, Ryan CA (1986) Biotic elicitors of defense reactions in lodgepole pine. *Phytochemistry* 25:611-612.
- Miller DR, Rabaglia RJ (2009) Ethanol and (-)- α -Pinene: Attractant Kairomones for Bark and Ambrosia Beetles in the Southeastern US. *J Chem Ecol* 35 (4): 435-448.
- Mills NJ (1991) Searching strategies and attack rates of parasitoids of the ash bark beetle (*Leperisinus varius*) and its relevance to biological control. *Ecol Entomol* 16 (4): 461-470.
- Moeck HA (1970) Ethanol as the primary attractant for the ambrosia beetle *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae). *The Canadian Entomologist* 102 (8): 985-995.
- Montgomery ME, Wargo PM (1983) Ethanol and other host-derived volatiles as attractants to beetles that bore into hardwoods. *J Chem Ecol* 9 (2): 181-190.
- Mori K (1977) Absolute configuration of (-)-4-methylheptan-3-ol, a pheromone of the smaller european elm bark beetle, as determined by the synthesis of its (3R,4R)-(+)- and (3S,4R)-(+)-isomers. *Tetrahedron* 33 (3): 289-294.
- Mori K, Seu YB (1985) Synthesis of both the enantiomers of *endo*-brevicommin, the aggregation pheromone of *Dryocoetes autographus*. *Tetrahedron* 41 (16): 3429-3431.
- Mori K, Hazra BG, Pfeiffer RJ, Gupta AK, Lindgren BS (1987) Synthesis and bioactivity of optically active forms of 1-methyl-2-cyclohexen-1-ol. An aggregation pheromone of *Dendroctonus pseudotsugae*. *Tetrahedron* 43 (10): 2249-2254.
- Moser JC, Brownlee RC, Silverstein R (1968) Alarm pheromones of the ant *Atta texana*. *Journal of Insect Physiology* 14 (4): 529-535.

- Moukhtar S, Bessagnet B, Rouil L, Simon V (2005) Monoterpene emissions from Beech (*Fagus sylvatica*) in a French forest and impact on secondary pollutants formation at regional scale. *Atmospheric Environment* 39 (19): 3535-3547.
- Mühle H (2007) Die Eiche – EI Dorado für Insekten. *LWF aktuell* 60: 56-57.
- Müller M (1993) Untersuchungen zur Attraktion und Repulsion des Großen Braunen Rüsselkäfers, *Hylobius abietis* L. (Coleoptera, Curculionidae). Dissertation, TU Dresden.
- Müller M (2004) Steuerung von Borkenkäferprädatoren durch art- und habitatfremde Kairomone. *Mitt. der Biol. Bundesanstalt* 396: 237-238.
- Müller M, Schua K, Kotte S, Vetter S (2008) Die tatsächliche Frequentierung von Borkenkäferschlitzfallen durch die Ameisenbuntkäfer *Thanasimus formicarius*, *Thanasimus rufipes* und *Thanasimus pectoralis* (Cleridae) sowie Borkenkäfer (Scolytidae). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 179: 51-56.
- Mumm R, Dicke M (2010) Variation in natural plant products and the attraction of bodyguards involved in indirect plant defense. *Can. J. Zool* 88 (7): 628-667.
- Mustaparta H (2002) Encoding of plant odour information in insects: peripheral and central mechanisms. *Entomologia experimentalis et applicata* 104: 1-13.
- Nakládal O, Turčáni M (2007) Contribution to knowledge of *Hylesinus fraxini* (Panzer, 1779) (Coleoptera, Scolytidae) natural enemies from Northern Moravia (Czech Republic). *Journal of forest science* 53: 53-56.
- Oliver JB, Mannion CM (2001) Ambrosia Beetle (Coleoptera: Scolytidae) Species Attacking Chestnut and Captured in Ethanol-Baited Traps in Middle Tennessee. *Environmental Entomology* 30 (5): 909-918.
- Owen SM, Peñuelas J (2005) Opportunistic emissions of volatile isoprenoids. *Trends in Plant Science* 10 (9): 420-426.
- Paine TD, Stephen FM, Cates RG (1988) Phenology of an induced response in loblolly pine following inoculation of fungi associated with the southern pine beetle. *Can J For Res* 18: 1556-1562.
- Paine TD, Raffa KF, Harrington TC (1997) Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi and live host conifers. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 179-206.
- Paiva MR, Kiesel K (1985) Field responses of *Trypodendron* spp. (Col., Scolytidae) to different concentrations of lineatin and α -pinene. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 99 (1-5): 442-448.
- Parini C, Petercord R (2006) Der Laubnutzholzborkenkäfer *Trypodendron domesticum* L. als Schädling der Rotbuche. In: Petercord R, Block J (ed) Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern, Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 59: 63-78.
- Payne TL, Klimetzek D, Kohnle U, Mori K (1983) Electrophysiological and field responses of *Trypodendron* spp. to enantiomers of lineatin. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 95 (1-5): 272-276.
- Pearce GT, Gore WE, Silverstein RM, Peacock JW, Cuthbert RA, Lanier GN, Simeone JB, (1975) Chemical attractants for the smaller european elm bark beetle *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae). *J Chem Ecol* 1: 115-124.

- Pedrosa-Macedo JH (1979) Zur Bionomie, Ökologie und Ethologie des Eschenbastkäfers, *Leperisinus varius* F. (Col., Scolytidae). Zeitschrift für Angewandte Entomologie 88 (1-5): 188-204.
- Petercord R (2006) The broadleaved ambrosia beetle *Trypodendron domesticum* L. as a harmful insect of European beech. IUFRO Working Party 7.03.10 Proceedings of the Workshop 2006, Gmunden/Austria: 60-67.
- Petercord R (2006b) Die Buchenwollschilddlaus (*Cryptococcus fagisuga* LIND.) als Auslöser der Buchenrindennekrose. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 59: 53-62.
- Petercord R (2008) Borkenkäfer und deren Antagonisten in rheinland-pfälzischen Buchenwäldern. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie 16: 229-232.
- Pfeiffer R (2011) Untersuchungen zur Wirkung ausgewählter Semiochemikalien in Wäldern der Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) und deren Aggregationswirkung auf autochthone Scolytidae und deren Prädatoren unter besonderer Berücksichtigung der Cleridae, Trogossitidae und Rhizophagidae. Diplomarbeit, TU Dresden.
- Podlaski R (1996) The effect of microhabitat and trophic conditions on the colonization density of cambio- and xylophagous insects in fir stumps (*Abies alba* Mill.) in selected stands of the świętokrzyskie mountains (Poland). Anz. Schadlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 69 (8): 186-189.
- Pokorska O, Dewulf J, Amelynck C, Schoon N, Joó É, Šimpraga M, Bloemen J, Steppe K, Van Langenhove H (2011) Emissions of biogenic volatile organic compounds from *Fraxinus excelsior* and *Quercus robur* under ambient conditions in Flanders (Belgium). International Journal of Environmental Analytical Chemistry 92 (15): 1-13.
- Poland TM, Groot P, Burke S, Wakarchuk D, Haack RA, Nott R, Scarr T (2003) Development of an improved attractive lure for the pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Coleoptera: Scolytidae). Agric Forest Ent 5 (4): 293-300.
- Poland TM, Groot P, Haack RA, Czokajlo D (2004) Evaluation of semiochemicals potentially synergistic to alpha-pinene for trapping the larger European pine shoot beetle, *Tomicus piniperda* (Col., Scolytidae). J Appl Entomology 128 (9-10): 639-644.
- Poland TM, Rodriguez-Saona C, Grant G, Buchan L, De Groot P, Miller J, McCullough DG (2005) Trapping and Detection of Emerald Ash Borer: Identification of stress-induced volatiles and tests of attraction in the lab and field. In: Mastro V, Reardon R, Parra G (ed) Emerald Ash Borer research and technology development meeting. Pittsburgh, Pennsylvania: 64-65.
- Prouvost O, Tralalon M, Papke M, Schulz S (1999) Contact sex signals on web and cuticle of *Tegenaria atrica* (Araneae, Agelenidae). Arch. Insect Biochem. Physiol 40 (4): 194-202.
- Pureswaran DS, Gries R, Borden JH, Pierce Jr. HD (2000) Dynamics of pheromone production and communication in the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins, and the pine engraver, *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae). Chemoecology 10 (4): 153-168.
- Pureswaran DS, Borden JH (2004) New repellent semiochemicals for three species of *Dendroctonus* (Coleoptera: Scolytidae). Chemoecology 14 (2): 67-75.

- Pyysalo H (1976) Identification of Volatile Compounds in Seven Edible Fresh Mushrooms. *Acta Chemica Scandinavica B* 30: 235-244.
- Raffa KF, Berryman AA, Simasko J, Teal W, Wong BL (1985) Effects of Grand Fir Monoterpenes on the Fir Engraver, *Scolytus ventralis* (Coleoptera: Scolytidae), and its Symbiotic Fungus. *Environm. Entomology* 14 (5):552-556.
- Raffa KF (1991) Induced defensive reactions in conifer-bark beetle systems. In: Tallarny DW, Raupp MJ (ed) *Phytochemical induction by herbivores*. Academic Press, New York: 245-276
- Ramisch H, Bombosch S (1986) Ein Beitrag zur Brutbaumerkennung von *Trypodendron lineatum* (Ol.) und *Trypodendron domesticum* (L.). *Journal of Applied Entomology* 102 (1-5): 422-431.
- Ranger CM, Reding ME, Schultz PB, Oliver JB (2012) Influence of flood-stress on ambrosia beetle host-selection and implications for their management in a changing climate. *Agricultural and Forest Entomology*, S. no.
- Rasmann S, Köllner TG, Degenhardt J, Hiltbold I, Toepfer S, Kuhlmann U, Gershenzon J, Turlings T (2005) Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature* 434 (7034): 732-737.
- Reddemann J, Schopf R (1996) The importance of monoterpenes in the aggregation of the spruce bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae: Ipinae). *Entomologia Generalis* 21(1-2): 69-80.
- Rennwick JAA, Vité JP (1980) Biology of Pheromones. In: Wegler R (ed) *Chemie der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel* 6, Springer Berlin und Heidelberg: 1-28.
- Riddick EW, Aldrich JR, Milo A, Davis JC (2000) Potential for Modifying the Behavior of the Multicolored Asian Lady Beetle (Coleoptera: Coccinellidae) with Plant-Derived Natural Products. *Annals of the Entomological Society of America* 93: 1314-1321.
- Risholm-Sundman M, Lundgren M, Vestin E, Herder P (1998) Emissions of acetic acid and other volatile organic compounds from different species of solid wood. *Holz als Roh-und Werkstoff* 56 (2): 125-129.
- Rodriguez-Saona C, Poland T, Miller J, Stelinski L, Grant G, Groot P, Buchan L, MacDonald L (2006) Behavioral and electrophysiological responses of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, to induced volatiles of Manchurian ash, *Fraxinus mandshurica*. *Chemoecology* 16 (2): 75-86.
- Roffael E (1989) Abgabe von flüchtigen organischen Säuren aus Holzspänen und Holzspanplatten. *Holz als Roh-und Werkstoff* 47 (11): 447-452.
- Rudinsky JA, Novák V, Švihra P (1971) Attraction of the Bark Beetle *Ips typographus* L. to Terpenes and a Male-Produced Pheromone. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 67 (1-4): 179-188.
- Rudinsky JA, Vallo V (1978) The ash bark beetles *Leperisinus fraxini* and *Hylesinus oleiperda*: stridulatory organs, acoustic signals, and pheromone production. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 87: 417-429.
- Ruther J (2000) Retention index database for identification of general green leaf volatiles in plants by coupled capillary gas chromatography–mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 890 (2): 313-319.

- Ruther J, Reinecke A, Hilker M (2002): Plant volatiles in the sexual communication of *Melolontha hippocastani*: response towards time-dependent bouquets and novel function of (Z)-3-hexen-1-ol as a sexual kairomone. *Ecol Entomol* 27 (1): 76-83.
- Rachow C (2010) Olfaktorische Reaktion und Verhalten des Abendpfauenauges sowie des Gabelschwanzes auf ausgewählte Duftstoffe. Masterarbeit, Georg-August-Universität-Göttingen. 102 Seiten.
- Ramisch H (1986) On the mechanism of orientation to the host of *Trypodendron domesticum* and *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae). *Zeitschrift für Angewandte Zoologie* 73 (2): 159-197.
- Ranger CM, Reding ME, Persad AB, Herms DA (2010) Ability of stress-related volatiles to attract and induce attacks by *Xylosandrus germanus* and other ambrosia beetles. *Agricultural and Forest Entomology* 12 (2): 177-118.
- Ranger CM, Reding ME, Schultz PB, Oliver JB (2012) Influence of flood-stress on ambrosia beetle host-selection and implications for their management in a changing climate. *Agricultural and Forest Entomology*: pp. no.
- Rauleder H (2003) Beobachtungen zum Flugverlauf des Kleinen und des Ungleichen Holzbohrers (*Xyleborus saxeseni* und *dispar*). *Gesunde Pflanzen* 55 (3): 53-61.
- Roling MP, Kearby WH (1975) Seasonal flight and vertical distribution of Scolytidae attracted to ethanol in an oak-hickory forest in Missouri. *Canadian Entomologist* 107 (12): 1315-1320.
- Ruano F, Campos M, Sánchez-Raya J., Peña A (2008) Deltamethrin application on colonized olive logs: Effect on the emergence of the olive bark beetle *Phloeotribus scarabaeoides* Bernard 1788 (Coleoptera: Scolytidae) and its associated parasitoids. *Crop Protection* 27 (3-5): 614-621.
- Rubner K, Rubner H, Rittershofer F (1968) Grundlagen des naturnahen Waldbaues in Europa. *Forstw Cbl* 87 (1): 8-36.
- Rudinsky JA, Novák V, Svihra P (1971) Attraction of the bark beetle *Ips typographus* to terpenes and male produced pheromone. *J. Appl. Ent.* 67: 179-188.
- Rudinsky JA, Vallo V (1978) The ash bark beetles *Leperisinus fraxini* and *Hylesinus oleiperda*. stridulatory organs, acoustic signals, and pheromone production (1-4): 417-429.
- Schedl W (1963) Biologie des gehöckerten Eichenholzbohrers, *Xyleborus monographus* Fab. (Scolytidae, Coleoptera). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 53 (1-4): 411-428.
- Schlyter F, Byers JA, Löfqvist Jan (1987) Attraction to pheromone sources of different quantity, quality, and spacing: Density-regulation mechanisms in bark beetle *Ips typographus*. *J Chem Ecol* 13 (6): 1503-1523.
- Schlyter F, Birgersson G, Leufvén A (1989) Inhibition of the attraction to the aggregation pheromone by verbenone and ipsenol: density regulation mechanisms in bark beetle *Ips typographus*. *J. Chem. Ecol.* 15: 2263-2277.

- Schlyter F (1992) Sampling range, attraction range, and effective attraction radius: Estimates of trap efficiency and communication distance in coleopteran pheromone and host attractant systems. *Journal of Applied Entomology* 114:439-454.
- Schlyter F, Zhang QH, Anderson P, Byers JA, Wadhams LJ, Löfqvist J, Birgersson G (2000) Electrophysiological and behavioural responses of *Tomicus piniperda* and *Tomicus minor* (Coleoptera: Scolytidae) to non-host leaf and bark volatiles. *Can. Entomol* 132 (6): 965-981.
- Schmidt GH, Schmidt L, Mucha H (1999) Fängigkeit von differenziert bestückten Borkenkäferpheromonfallen in einem niedersächsischen Forstgebiet bei Hannover während der Jahre 1992 und 1993. *Anzeiger für Schädlingskunde* 72: 137-152.
- Schneider I (1991) Einige ökologische Aspekte der Ambrosiasymbiose. *Anzeiger für Schädlingskunde* 64 (3): 41-45.
- Schnitzler JP, Steinbrecher R, Zimmer I, Steigner D, Fladung M (2004) Hybridization of European oaks (*Quercus ilex* x *Q. robur*) results in a mixed isoprenoid emitter type. *Plant Cell Environ* 27 (5): 585-593.
- Schönherr J (1970) Evidence of an aggregating pheromone in the ash-bark beetle, *Leperisinus fraxini* (Coleoptera : Scolytidae). *Contributions, Boyce Thompson Institute for Plant Research* 24 (13): 305-307.
- Schönherr J (1972) Pheromon beim Kiefern-Borkenkäfer "Waldgärtner", *Myelophilus piniperda* L. (Coleopt., Scolytidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 71 (1-4): 410-413.
- Schönherr J, Krautwurst K (1979) Beobachtungen über den Buchenborkenkäfer *Taphrorychus bicolor* Hbst. (Col., Scolytidae). *Anzeiger für Schädlingskunde* 52 (11): 161-163.
- Schönherr J, Vité JP, Serez M (1983) Überwachung von *Ips sexdentatus*-Populationen mit synthetischem Lockstoff. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 95 (1-5): 51-53.
- Schroeder LM, Lindelöw Å (1989) Attraction of scolytids and associated beetles by different absolute amounts and proportions of α -pinene and ethanol. *Journal of chemical ecology* 15 (3): 807-817.
- Schroeder LM (1992) Olfactory recognition of nonhosts aspen and birch by conifer bark beetles *Tomicus piniperda* and *Hylurgops palliatus*. *J Chem Ecol* 18 (9): 1583-1593.
- Schroeder LM, Weslien J (1994) Interactions between the phloem-feeding species *Tomicus piniperda* (Col.: Scolytidae) and *Acanthocinus aedilis* (Col.: Cerambycidae), and the predator *Thanasimus formicarius* (Col.: Cleridae) with special reference to brood production. *Entomophaga* 39 (2): 149-157.
- Schroeder LM (1996) Interactions between the predators *Thanasimus formicarius* (Col.: Cleridae) and *Rhizophagus depressus* (Col.: Rhizophagidae), and the bark beetle *Tomicus piniperda* (Col.: Scolytidae). *Entomophaga* 41 (1): 63-75.
- Schroeder LM (1999) Prolonged development time of the bark beetle predator *Thanasimus formicarius* (Col.: Cleridae) in relation to its prey species *Tomicus piniperda* (L.) and *Ips typographus* (L.) (Col.: Scolytidae). *Agricultural and Forest Entomology* 1 (2): 127-135.

- Schroeder LM (2003) Differences in responses to alpha-pinene and ethanol, and flight periods between the bark beetle predators *Thanasimus femoralis* and *Thanasimus formicarius* (Col. Cleridae). *Forest Ecology and Management* 177 (1-3): 301-311.
- Schuh G, Heiden AC, Hoffmann Th, Kahl J, Rockel P, Rudolph J, Wildt J (1997) Emissions of Volatile Organic Compounds from Sunflower and Beech: Dependence on Temperature and Light Intensity. *Journal of Atmospheric Chemistry* 27 (3): 291-318.
- Schulz S (ed) (2005) *The chemistry of pheromones and other semiochemicals*. Springer Berlin, Heidelberg, New York. 333 Seiten.
- Schumacher J, Pohris V (2000) Der kleine Buchenborkenkäfer als relevanter Rindenbrüter in Schwarzerlen-Beständen. *AFZ/Der Wald* 55 (14): 760-763.
- Schurig V, Weber R, Klimetzek D, Kohnle U, Mori K (1982) Enantiomeric composition of lineatin in three sympatric ambrosia beetles. *Naturwissenschaften* 69 (12): 602-603.
- Schütz S (2001) *Der Einfluss verletzungsinduzierter Emissionen der Kartoffelpflanze (*S. tuberosum*) auf die geruchliche Wirtspflanzenfindung und -auswahl durch den Kartoffelkäfer (*L. decemlineata*)*. Justus Liebig Universität, Gießen. Habilitationsschrift, Justus Liebig University, Gießen.
- Scutareanu P, Bruin J, Posthumus MA, Drukker B (2003) Constitutive and herbivore-induced volatiles in pear, alder and hawthorn trees. *Chemoecology* 13 (2): 63-74.
- Seybold SJ, Quilici DR, Tillman JA, Vanderwel D, Wood DL, Blomquist GJ (1995) De novo biosynthesis of the aggregation pheromone components ipsenol and ipsdienol by the pine bark beetles *Ips paraconfusus* Lanier and *Ips pini* (Say) (Coleoptera: Scolytidae). *Biochemistry* 92: 8393-8397.
- Sharkey TD, Yeh S (2001) Isoprene emission from plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol* 52 (1): 407-436.
- Silverstein RM, Rodin JO, Wood DL (1966) Sex Attractants in Frass Produced by Male *Ips confusus* in Ponderosa Pine. *Science* 154: 509-510.
- Späth E (1937) Die natürlichen Cumarine. In: *Ber. dtsh. Chem. Ges. A/B* 70: 83-117.
- Spathelf P, Bolte A (2009) Integration natürlicher Störungen in den Waldbau – ein Schlüssel für die Schaffung resilienter Waldökosysteme? In: Spathelf P, Kätzel R (ed.) *Wald im Klimawandel – Risiken und Anpassungsstrategien*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihen 42: 118-125.
- Speight MR, Lawton JH (1976) The influence of weed-cover on the mortality imposed on artificial prey by predatory ground beetles in cereal fields. *Oecologia* 23 (3): 211-223.
- Steinbrecher R, Ziegler H, Eichstädter G, Fehsenfeld U, Gabriel R, Kolb C, Rabong R, Schönwitz R, Schürmann W (1997) Monoterpene and Isoprene Emission in Norway Spruce Forests. In: Slanina S (ed) *EUROTRAC: Biosphere-Atmosphere exchange of pollutants and trace substances*. Springer Berlin: 352-365.
- Strom BL, Roton LM, Ingram LL Jr. (1994) Repellent properties of the host compound 4-allylanisole to the southern pine beetle. *J. Chem. Ecol.* 20:1579-1615.
- Strom BL, Roton LM, Goyer RA, Meeker JR (1999) Visual and semiochemicals disruption of host finding in the southern pine beetle. *Ecological Applications* 9: 1028-1038.

- Stoakley JT, Bakke A, Renwick JAA, Vité JP (1978) The aggregation pheromone system of the larch bark beetle, *Ips cembrae* Heer. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 86 (1-4): 174-177.
- Sullivan BT (2005) Electrophysiological and Behavioral Responses of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) to Volatiles Isolated from Conspecifics. *Journal of Economic Entomology* 98 (6): 2067-2078.
- Sweeney J, De Groot J, Humble L, MacDonald L, Price J, Mokrzycki T, Gutowski JM (2007) Detection of wood-boring species in semiochemicals-baited traps. In: Evans H, Oszako T (ed) *Alien Invasive Species and International Trade*, Forest Research Institute: 139-144.
- Szuman-Szumski KJ, Pena A, Kelly DR, Campos M (1998) Identification of chemicals attractive to the olive bark beetle, *Phloeotribus scarabaeoides*, in laboratory bioassays. *Biocontrol* 43 (3): 345-355.
- Tapia T, Perich F, Pardo F, Palma G, Quiroz A (2007) Identification of volatiles from differently aged red clover (*Trifolium pratense*) root extracts and behavioural responses of clover root borer (*Hylastinus obscurus*) (Marsham) (Coleoptera: Scolytidae) to them. *Biochemical systematics and ecology* 35 (2): 61-67.
- Thakeow P, Weißbecker B, Schütz S (2006) Volatile organic compounds emitted from fungal-rotting beech (*Fagus sylvatica*). *Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent.* 16: 157-160.
- Thakeow P, Holighaus G, Schütz S (2007) Volatile compounds for wood assessment. In: Kües U (ed) *Wood production, wood technology and biotechnological impacts*. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen: 197-228.
- Tollsten L, Müller PM (1996) Volatile organic compounds emitted from beech leaves. *Phytochemistry* 43 (4): 759-762.
- Tømmerås BÅ, Mustaparta H, Gregoire JC (1984) Receptor cells in *Ips typographus* and *Dendroctonus micans* specific to pheromones of the reciprocal genus. *J Chem Ecol* 10 (5): 759-769.
- Tømmerås BÅ (1985): Specialization of the olfactory receptor cells in the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius* to bark beetle pheromones and host tree volatiles. *J. Comp. Physiol* 157 (3): 335-341.
- Tømmerås BÅ, Mustaparta H (1985) Olfactory receptor cells of *Thanasimus formicarius* specialized to single prey pheromone compounds. *Naturwissenschaften* 72 (11): 604-606.
- Tømmerås BÅ (1988) The clerid beetle, *Thanasimus formicarius*, is attracted to the pheromone of the ambrosia beetle, *Trypodendron lineatum*. *Cellular and Molecular Life Sciences* 44: 536-537.
- Triebenbacher C, Immler T (2008) In Deutschland Zugelassene Insektizide gegen holz- und rindenbrütende Borkenkäfer. *Forstschutz Aktuell* 43: 12-13.
- Tschuch G (2000) Abwehrsignale bei Insekten am Beispiel der Mutillidae (Hymenoptera). Habilitation Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg: 132 Seiten.
- Vetter S (2006) Untersuchungen zur Steuerung der Antagonisten des Großen achtzähligen Fichtenborkenkäfers (*Ips typographus* L.) durch Allochthone Kairomone. Diplomarbeit, TU Dresden.

- Vité JP, Renwick JAA (1971) Inhibition of *Dendroctonus frontalis* response to frontalin by isomers of brevicomin. *Naturwissenschaften* 58 (8): 418.
- Vité JP, Bakke A, Hughes PR (1974) Ein Populationslockstoff des zwölfzähligen Kiefernborckenkäfers *Ips sexdentatus*. *Naturwissenschaften* 61 (8): 365-366.
- Vité JP, Francke W (1976) The aggregation pheromones of bark beetles: Progress and problems. In *Naturwissenschaften* 63 (12): 550-555.
- Vité JP, Bakke A (1979) Synergism between chemical and physical stimuli in host colonization by an ambrosia beetle. *Naturwissenschaften* 66 (10): 528-529.
- Vité JP (1984) Biotechnischer Waldschutz gegen Borkenkäfer. *Spektrum der Wissenschaft* August-Heft: 73.
- Vité JP, Francke W (1985) Waldschutz gegen Borkenkäfer. Vom Fangbaum zur Falle. *Chemie in unserer Zeit* 19 (1): 11-21.
- Vogt H (1967) Rhizophagidae. In: Freude H, Harde KW, Lohse GA (ed.) *Die Käfer Mitteleuropas*. Bd. 7, Krefeld.
- Voigt D (2005) Untersuchungen zur Morphologie, Biologie und Ökologie der räuberischen Weichwanze *Dicyphus errans* Wolff (Heteroptera, Miridae, Bryocorinae). *Disseration, TU Dresden*.
- Vrkocová P, Valterová I, Vrkoc J, Koutek B (2000) Volatiles released from oak, a host tree for the bark beetle *Scolytus intricatus*. *Biochemical systematics and ecology* 28: 933-947.
- Vrkočová P, Kalinová B, Valterová I, Koutek B (2003) Analysis of European oak bark beetle (*Scolytus intricatus*) extracts using hyphenated and chiral chromatography techniques. *Talanta* 59: 107-114.
- Warzée N, Grégoire GC (2003) *Thanasimus formicarius* (Coleoptera: Cleridae): Why a Large Range of Prey for a Specialized Predator? *Proceedings: IUFRO Kanazawa 2003 "Forest Insect Population Dynamics and Host Influences"*: 16-18.
- Warzée N (2005) Prey unpredictability and unfavourable host trees influence the spatial distribution of the polyphagous predator *Thanasimus formicarius* (L.) (Coleoptera :Cleridae). *PhD thesis, Université Libre de Bruxelles*.
- Wehnert M (2009) Untersuchungen zur Wirkung Allochthoner Kairomone in Wäldern der Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) unter besonderer Berücksichtigung von Käfern der Gattung *Thanasimus* und deren Beutetiere. *Diplomarbeit, TU Dresden*.
- Wehnert M, Müller M (2011) *Thanasimus formicarius* (Coleoptera: Cleridae) as a natural predator of ash bark beetle (*Hylesinus fraxini*, Coleoptera: Scolytidae) – appearance and potentials of controlling by use of allochthonous kairomones. *DGaaE Nachrichten*, 25 (2): 73.
- Wehnert M, Müller M (2012) ‘Allochthonous Kairomones’ in stands of European beech (*Fagus sylvatica*) – Approach for nature-based bark beetle management with clerid beetles (*Thanasimus* spp.). *Biological Control* 62 (1): 16-23.
- Weiss B (2009) Die radiale Diffusion rotkernspezifischer Substanzen durch das Holz von *Fagus sylvatica* L. *Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen*.
- Weissbecker B, Holighaus G, Schütz S (2004) Gas chromatography with mass spectrometric and electroantennographic detection: analysis of wood odorants by direct

- coupling of insect olfaction and mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1056 (1-2): 209-216.
- Wenzel E (2006) Koleopterologische Bestandserhebung im Schloßpark Düsseldorf-Benrath mit dem Schwerpunkt der Erfassung xylobionter und xylophiler Käferarten (Ins., Coleoptera). *Coleo* 6: 41-49.
- Werner RA (1995) Toxicity and Repellency of 4-Allylanisole and Monoterpenes from White Spruce and Tamarack to the Spruce Beetle and Eastern Larch Beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology* 24 (2): 372-379.
- Weslien J, Regnander J (1992) The influence of natural enemies on brood production in *Ips typographus* (Col. Scolytidae) with special reference to egg-laying and predation by *Thanasimus formicarius* (Col. Cleridae). *Biocontrol* 37 (2): 333-342.
- Weslien J (1994) Interactions within and between species at different densities of the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 71 (2): 133-143.
- Wichmann H (1967) Die Wirkungsbreite des Ausstoßreflexes bei Borkenkäfern. *Anzeiger für Schädlingskunde* 40 (12): 184-187.
- Wigger H (1993) Ökologische Bewertung von Räuber-Beifängen in Borkenkäfer-Lockstofffallen. *Anz. Schädlingkunde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 66 (4): 68-72.
- Wigger H (1995) Ethologische und oekologische Aspekte der Räuber-Beute-Beziehung zwischen dem Borkenkäfer *Nemosoma elongatum* L. (Coleoptera: Ostomidae) und dem Kupferstecher *Pityogenes chalcographus* L. (Coleoptera: Scolytidae). Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. 194 Seiten.
- Wildt J, Kobel K, Schuh-Thomas G, Heiden AC (2003) Emissions of Oxygenated Volatile Organic Compounds from Plants Part II: Emissions of Saturated Aldehydes. *Journal of Atmospheric Chemistry* 45 (2): 173-196.
- Wilson IM, Borden JH, Gries R, Gries G (1996) Green leaf volatiles as antiaggregants for the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera: Scolytidae). *J Chem Ecol* 22 (10): 1861-1875.
- Yates MG (1984) The biology of the oak bark beetle, *Scolytus intricatus* (Ratzeburg) (Coleoptera: Scolytidae), in southern England. *Bulletin of Entomological Research* 74 (04): 569-579.
- Young JC, Brownlee RG, Rodin JO, Hildebrand DN, Silverstein RM, Wood DL, Birch MC, Browne LE (1973) Identification of linalool produced by two species of bark beetles of the genus *Ips*. *Journal of Insect Physiology* 19 (8): 1615-1622.
- Youssef NN, Oliver JB, Ranger CM, Reding ME, Moyseenko JJ, Klein MG, Pappas RS (2009) Field Evaluation of Essential Oils for Reducing Attraction by the Japanese Beetle (Coleoptera: Scarabaeidae). *Journal of Economic Entomology* 102: 1551-1558.
- Zahradnik J (1985) Käfer Mittel- und Nordwesteuropas. Ein Bestimmungsbuch für Biologen und Naturfreunde. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 498 Seiten.
- Zimmermann G (1973) The fungus flora of some wood-inhabiting bark-beetles. *Material und Organismen* 8 (2): 121-131.
- Zhang QH, Birgersson G, Zhu J, Löfstedt C, Löfqvist J, Schlyter F (1999) Leaf Volatiles from Nonhost Deciduous Trees: Variation by Tree Species, Season and Temperature,

- and Electrophysiological Activity in *Ips typographus*. Journal of chemical ecology 25: 1923-1943.
- Zhang QH, Birgersson G, Schlyter F, Chen GF (2000) Pheromone Components in the Larch Bark Beetle, *Ips cembrae*, from China: Quantitative Variation among Attack Phases and Individuals. Journal of chemical ecology 26 (4): 841-858.
- Zhang QH (2003) Interruption of aggregation pheromone in *Ips typographus* (L.) (Col. Scolytidae) by non-host bark volatiles. Agricultural and Forest Entomology 5 (2): 145-153.
- Zhang QH, Schlyter F (2003) Redundancy, synergism, and active inhibitory range of non-host volatiles in reducing pheromone attraction in European spruce bark beetle *Ips typographus*. Oikos 101 (2): 299-310.
- Zhang QH, Ma JH, Zhao FY, Song LW, Sun JH (2009) Aggregation Pheromone of the Qinghai Spruce Bark Beetle, *Ips nitidus* Eggers. In J Chem Ecol 35 (5): 610-617.
- Zhang QH, Schlyter F (2010) Inhibition of Predator Attraction to Kairomones by Non-Host Plant Volatiles for Herbivores. A Bypass-Trophic Signal. PLoS ONE 5: e11063.
- Zhang QH, Ma JH, Zhao FY, Song LW, Sun JH, Cognato AI (2011) Aggregation pheromone of the Oriental spruce engraver *Pseudips orientalis*. In Agricultural and Forest Entomology 13 (1): 67-75.
- Zhang QH, Schlyter F, Birgersson G (2012) 2-methyl-3-buten-2-ol: A Pheromone Component of Conifer Bark Beetles Found in the Bark of Nonhost Deciduous Trees. Psyche: A Journal of Entomology 2012: 1-7.
- Zumr V (1983) The use of Lineatin against the lineate bark beetle, *Trypodendron lineatum* (Ol.) (Coleoptera, Scolytidae). Zeitschrift für Angewandte Entomologie 96 (1-5): 391-396.

12.2 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Übersicht der bast- und holzbesiedelnden Zielarten der Untersuchungen.....	13
Tabelle 2: Einschlagtermine und deren Nummerierung am Stamm	22
Tabelle 3: Regressionen der Anzahl an Einbohrlöchern von <i>T. bicolor</i> , <i>X. germanus</i> und <i>T. domesticum</i> in Abhängigkeit der Merkmale Alter und Durchmesser der Rot-Buchenstammabschnitte. Regression in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde nur an den Hölzern des Einschlagterminversuches durchgeführt, welche von der jeweiligen Art am stärksten besiedelt wurden: <i>T. bicolor</i> (Stämme III 1-4), <i>X. germanus</i> und <i>T. domesticum</i> (Stämme I 1-4).	27
Tabelle 4: Regressionen der Anzahl an Einbohrlöchern von <i>L. varius</i> , <i>H. crenatus</i> und <i>T. signatum</i> in Abhängigkeit der Merkmale Alter und Durchmesser der Eschenstammabschnitte. Regression in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde nur an den Hölzern des Einschlagterminversuches durchgeführt, welche von der jeweiligen Art am stärksten besiedelt wurden: <i>L. varius</i> (Stämme IV 1-4), <i>H. crenatus</i> (Stämme V 1-4) und <i>T. signatum</i> (Stämme II 1-4).	30
Tabelle 5: Regressionen der Anzahl an Einbohrlöchern von <i>S. intricatus</i> und <i>X. germanus</i> in Abhängigkeit der Merkmale Alter und Durchmesser der Eichenstammabschnitte. Regression in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde nur an den Hölzern des Einschlagterminversuches durchgeführt, welche von der jeweiligen Art am stärksten besiedelt wurden: <i>S. intricatus</i> (Stämme I 1-4) und <i>X. germanus</i> (Stämme II 1-4).	33
Tabelle 6: Auflistung der verwendeten Stammproben	46
Tabelle 7: Überblick über die mittels SPME-Absorption beprobten Holzstücke	49
Tabelle 8: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eschenstammstücken im April 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	55
Tabelle 9: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eschenstammstücken im August 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	55
Tabelle 10: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eichenstammstücken im April 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	56
Tabelle 11: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eichenstammstücken im August 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	56
Tabelle 12: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Buchenstammstücken im April 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	57
Tabelle 13: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Buchenstammstücken im August 2010 nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	58
Tabelle 14: Übersicht der erfassten Semiochemikalien aus den CLSA-Absorptionen von Eschenholz besiedelt mit <i>L. varius</i> nach der Analyse mit dem GC-MS/EAD	59
Tabelle 15: Übersicht der aus den chemischen Analysen von 2010 ausgewählten Semiochemikalien mit Verdacht auf olfaktorische Wahrnehmung durch <i>T. formicarius</i>	60
Tabelle 16: GC-MS/EAD-Analyse des Bohrmehls von <i>L. varius</i> (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 1,5 h)	61
Tabelle 17: GC-MS/EAD-Analyse des Bohrmehls von <i>T. domesticum</i> (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 1,5 h).....	61
Tabelle 18: GC-MS/EAD-Analyse von Eschenholz künstlich besiedelt mit <i>L. varius</i> im Mai 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 15 h)	62
Tabelle 19: GC-MS/EAD-Analyse von Eschenholz künstlich besiedelt mit <i>L. varius</i> im Juli 2011 (Probe-nahme erfolgte mittels SPME-Faser über 16 h)	63
Tabelle 20: GC-MS/EAD-Analyse von Eichenholz natürlich besiedelt mit <i>S. intricatus</i> im Juli 2011 (Probe-nahme erfolgte mittels SPME-Faser über 16 h)	64
Tabelle 21: GC-MS/EAD-Analyse von Buchenholz natürlich besiedelt mit <i>T. bicolor</i> im Juli 2011 (Probe-nahme erfolgte mittels SPME-Faser über 15 h)	65

Tabelle 22: Analyse von Buchenholz natürlich besiedelt mit <i>X. germanus</i> im Juli 2011 (Probenahme erfolgte mittels SPME-Faser über 15 h)	67
Tabelle 23: Übersicht der aus den chemischen Analysen von 2011 ausgewählten Semiochemikalien mit Verdacht auf olfaktorische Wahrnehmung durch <i>T. formicarius</i>	67
Tabelle 24: Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> auf ausgewählte Ketone in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin ...	98
Tabelle 25: Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> auf ausgewählte Alkohole in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin.	99
Tabelle 26: Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> auf ausgewählte Kairomone aus Nadelwaldhabitaten in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin	100
Tabelle 27: Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> auf ausgewählte Terpene und deren Abkömmlinge in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin	101
Tabelle 28: Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> auf ausgewählte Aldehyde in mV als Differenz zur Null-variante Paraffin	102
Tabelle 29: Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> auf ausgewählte sonstige Substanzen in mV als Differenz zur Nullvariante Paraffin	102
Tabelle 30: Prozentuale Anzahl aktivierter <i>T. formicarius</i> in den Nullversuchen in Abhängigkeit von der Versuchszeit und dem Versuchsaufbau	103
Tabelle 31: Anzahl aktivierter Käfer in den Langlock®-Versuchen während der Versuchszeit	107
Tabelle 32: Anzahl aktivierter Käfer in den Positivversuchen während der Versuchszeit	109
Tabelle 33: Überblick der Ergebnisse der EAG- und Olfaktometerexperimente mit <i>T. formicarius</i>	122
Tabelle 34: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2010 verwendeten Substanzen	138
Tabelle 35: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2011a verwendeten Substanzen	140
Tabelle 36: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2011b verwendeten Substanzen	141
Tabelle 37: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2011c verwendeten Substanzen	142
Tabelle 38: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-1 verwendeten Substanzen	143
Tabelle 39: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-2 verwendeten Substanzen	144
Tabelle 40: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-3 verwendeten Substanzen	145
Tabelle 41: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-4 verwendeten Substanzen	146
Tabelle 42: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012a-5 verwendeten Substanzen	147
Tabelle 43: Übersicht der Anzahl der Einbohrlöcher der in die nPhero-Fallen eingehangenen Hölzer	148
Tabelle 44: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012b-2 verwendeten Substanzen	149
Tabelle 45: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012c-1 verwendeten Substanzen	150
Tabelle 46: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012c-2 verwendeten Substanzen	151
Tabelle 47: Auflistung der für das Fallenfangexperiment 2012d verwendeten Substanzen	152
Tabelle 48: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit <i>L. varius</i> besiedelte Eschenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 20.04.2010 – 17.08.2010 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)	155
Tabelle 49: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit <i>S. intricatus</i> besiedelte Eichenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 31.05.2010 – 17.08.2010 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)	156
Tabelle 50: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit <i>T. bicolor</i> besiedelte Buchenholzstücke, Nullfallen und mit Chalcogran beköderte Fallen vom 27.04.2010 – 17.08.2010 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Ch: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)	157
Tabelle 51: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit <i>L. varius</i> besiedelte Eschenhölzer, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 28.03.2012 – 24.05.2012 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test)	158

Tabelle 52: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit <i>T. domesticum</i> besiedelte Buchenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 28.03.2012 – 24.05.2012 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test).....	159
Tabelle 53: Anflug von Antagonisten und bast- und holzbesiedelnden Insekten auf mit <i>S. intricatus</i> besiedelte Eichenholzstücke, Nullfallen und mit Sexowit® beköderte Fallen vom 13.06.2012 – 04.07.2012 (Statistik nPhero-Null und nPhero-Sex: ALM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Mann-Whitney-U-Test).....	160
Tabelle 54: Erfasste Individuenfangzahl im Versuchszeitraum (23.03.2010 – 17.08.2010) differenziert nach Versuchsflächen (Summe über alle Testvarianten + Nullvariante; Fangzahlen mit nPhero sind nicht mit berücksichtigt; MW = mittlere Fangzahl pro Falleninsel)	162
Tabelle 55: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2010 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	163
Tabelle 56: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2010 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	164
Tabelle 57: Erfasste Individuenfangzahl im Versuchszeitraum (23.03.2010 – 17.08.010) differenziert nach Versuchsflächen (Summe über alle Testvarianten + Nullvariante; Fangzahlen mit nPhero sind nicht mit berücksichtigt)	165
Tabelle 58: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2010 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	166
Tabelle 59: Erfasste Individuenfangzahl im Versuchszeitraum (23.03.2010 – 17.08.010) differenziert nach Versuchsflächen (Summe über alle Testvarianten + Nullvariante; Fangzahlen mit nPhero sind nicht mit berücksichtigt)	168
Tabelle 60: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2010 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung).....	169
Tabelle 61: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung; als Standard bis 24.05.2011 wurde Sexowit®, ab 30.05.2011 wurde Chalcogran verwendet)	170
Tabelle 62: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011a bis 24.05.2011 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)	171
Tabelle 63: Reaktion der Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a im ersten Teil des Experimentes bis 24.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung).....	172
Tabelle 64: Reaktion der Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011a im zweiten Teil des Experimentes beginnend am 30.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung).....	173
Tabelle 65: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011a im ersten Teil des Experimentes bis 24.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung).....	175

Tabelle 66: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011a im zweiten Teil des Experimentes beginnend am 30.05.2011 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test) bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	176
Tabelle 67: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011b (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test).....	177
Tabelle 68: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011b (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	178
Tabelle 69: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011b (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	179
Tabelle 70: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011b (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	180
Tabelle 71: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011c (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	181
Tabelle 72: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011c (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	181
Tabelle 73: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2011c (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	182
Tabelle 74: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2011c (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	184
Tabelle 75: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw.).....	185
Tabelle 76: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	185
Tabelle 77: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	187
Tabelle 78: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-2 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	188
Tabelle 79: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-3 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test)	189
Tabelle 80: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-3 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	189
Tabelle 81: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-4 (Signifikanztest zur Pheroprax®-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test)	190

Tabelle 82: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-4 (Signifikanz zur Pheroprax®-Variante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)	191
Tabelle 83: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012a-5 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	192
Tabelle 84: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-5 (Signifikanz zur Pheroprax®-Variante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)	192
Tabelle 85: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	193
Tabelle 86: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	194
Tabelle 87: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-3 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	195
Tabelle 88: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-4 (Signifikanztest zur Pheroprax®-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	196
Tabelle 89: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012a-5 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	196
Tabelle 90: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	197
Tabelle 91: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	198
Tabelle 92: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-3 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	199
Tabelle 93: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-4 (Signifikanztest zur Pheroprax®-Variante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	200
Tabelle 94: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012a-5 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	201
Tabelle 95: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	202
Tabelle 96: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)	202

Tabelle 97: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	204
Tabelle 98: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	205
Tabelle 99: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012b-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test).....	206
Tabelle 100: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012b-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	207
Tabelle 101: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012b-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	208
Tabelle 102: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	209
Tabelle 103: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012c-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben)	210
Tabelle 104: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test)	212
Tabelle 105: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012c-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test).....	213
Tabelle 106: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012c-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: ALM mit post hoc Fisher`s-LSD-Test).....	214
Tabelle 107: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012c-1 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	215
Tabelle 108: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfang-experimentes 2012c-2 (Signifikanztest zur Nullvariante: GLM mit post hoc LSD-Test).....	216
Tabelle 109: Reaktion der Zielarten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012d (Signifikanztest zur Ethanol-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	218
Tabelle 110: Fangzahlen der Geschlechter von <i>T. formicarius</i> auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012c-1 (Signifikanz zur Nullvariante getestet mit ALM und post hoc LSD-Test, Signifikanz zwischen den Geschlechtern getestet mit t-Test für gepaarte Stichproben).....	218
Tabelle 111: Reaktion weiterer Prädatoren auf die Testsubstanzen im Fallenfangexperiment 2012d (Signifikanztest zur Ethanol-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung)	219
Tabelle 112: Reaktion weiterer bast- und holzbesiedelnder Arten auf die Testsubstanzen des Fallenfangexperimentes 2012d (Signifikanztest zur Ethanol-Variante: ALM mit post hoc Fisher`s LSD-Test bzw. (*) Kruskal-Wallis-Test mit Mann-Whitney-U-Test zur paarweisen Differenzierung).....	219
Tabelle 113: Verwendete Semiochemikalien im Fangholzexperiment 2010.....	268
Tabelle 114: Verwendete Semiochemikalien im Fangholzexperiment 2011.....	268

Tabelle 115: <i>Verwendete Semiochemikalien im Fangholzexperiment 2012</i>	269
Tabelle 116: <i>Summierte Länge der angelegten Muttergänge und Mortalität von L. varius in den einzelnen Entwicklungsstufen</i>	272
Tabelle 117: <i>Summierte Länge der angelegten Muttergänge und Mortalität von L. varius in den einzelnen Entwicklungsstufen</i>	275
Tabelle 118: <i>Summierte Länge der angelegten Muttergänge und Mortalität von L. varius in den einzelnen Entwicklungsstufen an parasitierten Eschenhölzern vom Juni 2011</i>	276
Tabelle 119: <i>Anzahl der sich in den Fanghölzern im Eklektor entwickelten bast- und holzbesiedelnden Insekten und derer potentieller Antagonisten</i>	282
Tabelle 120: <i>Anzahl der sich in den Fanghölzern im Eklektor entwickelten bast- und holzbesiedelnden Insekten und derer potentieller Antagonisten</i>	289
Tabelle 121: <i>Anzahl der sich in den Fanghölzern im Eklektor entwickelten Borkenkäfer und derer Antagonisten</i>	294
Tabelle 122: <i>Anwendungsbeispiele naturnaher Borkenkäfermanagementverfahren in Abhängigkeit von den Zielsetzungen</i>	306
Tabelle 123: <i>Übersicht der Verwendungsmöglichkeiten getesteter Semiochemikalien entsprechend der durchgeführten Freilandexperimente (* bislang nur mit Fallenfangexperimenten bestätigt bzw. Ergebnisse am Fangholz nicht deutlich genug, entsprechende Experimente am Fangholz zur abschließenden Bewertung erforderlich; ** Vermutung: experimentelle Bestätigung noch ausstehend)</i>	308

12.3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: <i>Schematische Darstellung des Schwerpunktes der Forschungsarbeit</i>	14
Abbildung 2: <i>Lage der Versuchsfläche Rot-Buche im Tharandter Wald mit Kennzeichnung der Forstabteilungen, Quelle: Sachsenatlas, bearbeitet mit Quantum GIS 1.7.3</i>	16
Abbildung 3: <i>Versuchsfläche Gemeine Esche bei Zwenkau / Leipzig mit Kennzeichnung der Forstabteilungen, Quelle: Sachsenatlas, bearbeitet mit Quantum GIS 1.7.3</i>	17
Abbildung 4: <i>Versuchsfläche Eiche bei Wermsdorf mit Kennzeichnung der Forstabteilungen, Quelle: Sachsenatlas, bearbeitet mit Quantum GIS 1.7.3</i>	18
Abbildung 5: <i>Versuchsfläche Eiche bei Luckau, Quelle: Geoportallandesbetrieb Forst Brandenburg</i>	19
Abbildung 6: <i>Versuchsfläche Gemeine Kiefer bei Baruth / Mark, Quelle: Geoportallandesbetrieb Forst Brandenburg</i>	20
Abbildung 7: <i>Vermessung der Kontrollfenster am Einzelstamm (A = Stammfuß; B = Kronenansatz; Länge der Kontrollfenster F1, F2 und F3 = 1 m; o = Oberseite; u = Unterseite)</i>	23
Abbildung 8: <i>Anzahl der pro m² durchschnittlich pro Kontrollfenster erfassten Einbohrlöcher von T. domesticum, X. germanus und T. bicolor in Abhängigkeit vom Kontrolldatum und dem Einschlagtermin (ET) des Rot-Buchen-Holzes</i>	25
Abbildung 9: <i>Summierte Anzahl an Einbohrlöchern/m² der Arten T. bicolor, X. germanus und T. domesticum (Statistik: Chi-Quadrat-Test: p < 0,05 = * = signifikant) an den Kontrollfenstern (* in Säulen beschreiben signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Kontrollfensters)</i>	26
Abbildung 10: <i>Anzahl der pro m² durchschnittlich pro Kontrollfenster erfassten Einbohrlöcher von L. varius, H. crenatus und T. signatum in Abhängigkeit vom Kontrolldatum und dem Einschlagtermin des Eschen-Holzes</i>	28
Abbildung 11: <i>Summierte Anzahl an Einbohrlöchern/m² der Arten L. varius, H. crenatus und T. signatum (Statistik: Chi-Quadrat-Test: p < 0,05 = * = signifikant) an den Kontrollfenstern (* in Säulen beschreiben signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Kontrollfensters)</i>	30

Abbildung 12: Anzahl der pro m ² durchschnittlich pro Kontrollfenster erfassten Einbohrlöcher von <i>S. intricatus</i> und <i>X. germanus</i> in Abhängigkeit vom Kontrolldatum und dem Einschlagtermin des Eichen-Holzes.....	32
Abbildung 13: Summierte Anzahl an Einbohrlöchern/m ² der Arten <i>S. intricatus</i> und <i>X. germanus</i> (Statistik: Chi-Quadrat-Test: $p < 0,05 = * = \text{signifikant}$ an den Kontrollfenstern (* in Säulen beschreiben signifikante Unterschiede zwischen Ober- und Unterseite des Kontrollfensters).....	33
Abbildung 14: (links) Schematischer Aufbau der Versuchsapparatur (1 – CLSA-Röhrchen, 2 – durch Bratschlauch gebildete Beprobungskammer, 3 – Spanngurt mit darunter befindlichem Isoliermaterial, 4 – Teflon-Flansch, 5 – PET-Schlauch, 6 – synthetische Luft bzw. Freilandluft (rechts) Bildhafte Darstellung der Absorptionskammer	45
Abbildung 15: (links) Übersicht der Proben (rechts oben) Überblick über die vollständige Versuchs-apparatur (rechts unten) Ansicht einer einzelnen Beprobungskammer	50
Abbildung 16: Schematischer Aufbau des verwendeten GC-MS-EAD nach Weissbecker et al. (2004).....	51
Abbildung 17: (links) Antennenhalter (rechts) Schematische Darstellung des Antennenhalters nach Weissbecker et al. (2004). Die Antenne (1) wird hier über einen zentralen Spalt gelegt während die Enden der Antenne Kontakt mit der Elektrolytenflüssigkeit der Elektrolyten-Flüssigkeits-Reservoirs (2) haben. Die Ag/AgCl Elektroden (3) waren mit Mikrostöpseln über Silberdraht verbunden (Weissbecker et al. 2004).	52
Abbildung 18: Schematischer Aufbau eines Y-Rohr-Olfaktometers (1 = Test-Endgefäß, 2 = synthetische Luft, 3 = Testarm, 4 = Kontrollarm, 5 = Schieber, 6 = Korkstopfen, 7 = Luftstrommesser, 8 = Kohlenstofffilter).....	92
Abbildung 19: Geschlechterbestimmung bei <i>T. formicarius</i> (Bildquelle: Dr. Angelika Mann)	93
Abbildung 20: Versuchsdurchführung des Nullversuches.....	94
Abbildung 21: EAG Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Ketone, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichproben: $n.s. = p > 0,05$; $* = p < 0,05$; $** = p < 0,01$)	97
Abbildung 22: EAG Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Alkohole, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichproben: $n.s. = p > 0,05$; $* = p < 0,05$; $** = p < 0,01$)	98
Abbildung 23: EAG Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Kairomone aus Nadelwaldhabitaten, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichprobe: $n.s. = p > 0,05$; $* = p < 0,05$; $** = p < 0,01$)	99
Abbildung 24: EAG Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Terpene und deren Abkömmlinge, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichprobe: $n.s. = p > 0,05$; $* = p < 0,05$; $** = p < 0,01$).....	100
Abbildung 25: EAG Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> (♂♂+♀♀) auf ausgewählte Aldehyde, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichprobe: $n.s. = p > 0,05$; $* = p < 0,05$; $** = p < 0,01$)	101
Abbildung 26: EAG Dosis-Antwort von <i>T. formicarius</i> (♂♂+♀♀) auf ausgewählte sonstige Substanzen, dargestellt als relative Mittelwerte (\pm SD) der Mittelwerte aller drei Messungen einer Antenne (Statistik: Signifikanz der Testsubstanz zu Paraffin mit t-Test für gepaarte Stichprobe: $n.s. = p > 0,05$; $* = p < 0,05$; $** = p < 0,01$)	102
Abbildung 27: Anteil aktivierter Ameisenbunkkäfer im Testarm im Nullversuch ohne Abdeckung (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; $n.s. = p \geq 0,05$; $* = p > 0,01$; $** = p \leq 0,01$)	103
Abbildung 28: Anteil aktivierter weiblicher Ameisenbunkkäfer im Testarm im Nullversuch ohne Abdeckung (Signifikanzprüfung mit t-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „Ja“ und Licht „Nein“)	104
Abbildung 29: Anteil aktivierter männlicher Ameisenbunkkäfer im Testarm im Nullversuch ohne Abdeckung (Signifikanzprüfung mit t-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „Ja“ und Licht „Nein“)	104
Abbildung 30: Anteil aktivierter Ameisenbunkkäfer im Testarm im Nullversuch mit Abdeckung (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; $n.s. = p \geq 0,05$; $* = p > 0,01$; $** = p \leq 0,01$)	105

Abbildung 31: Anteil aktivierter weiblicher Ameisenbunkäfer im Testarm im Nullversuch mit Abdeckung (Signifikanzprüfung mit t-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „Ja“ und Licht „Nein“)	105
Abbildung 32: Anteil aktivierter männlicher Ameisenbunkäfer im Testarm im Nullversuch mit Abdeckung (Signifikanzprüfung mit t-Test für gepaarte Stichproben zwischen Licht „ja“ und Licht „nein“).....	106
Abbildung 33: Anteil aktivierter Ameisenbunkäfer im Testarm im Positivversuch mit Langlock® mit Abdeckung (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	107
Abbildung 34: Anteil aktivierter männlicher Ameisenbunkäfer im Testarm im Positivversuch mit Sexowit® mit und ohne Abdeckung (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	108
Abbildung 35: Anteil aktivierter weiblicher Ameisenbunkäfer im Testarm im Positivversuch mit Langlock® mit und ohne Abdeckung (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	108
Abbildung 36: Reaktion von <i>T. formicarius</i> im Olfaktometer auf von <i>L. varius</i> besiedeltes Eschenholz sowie Bohrmehl von <i>L. varius</i> (Bohrmehl gewonnen von Stämmen, an welchen Muttergänge fertig entwickelt und Einischen angelegt waren, teilweise schon begonnene Larvengänge) (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p >$ $0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	110
Abbildung 37: Reaktion von <i>T. formicarius</i> im Olfaktometer auf von <i>T. domesticum</i> besiedeltes Buchenholz sowie Bohrmehl von <i>T. domesticum</i> (Bohrmehl gewonnen von Stämmen 14 Tage nach der Besiedlung) (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	110
Abbildung 38: Reaktion von <i>T. formicarius</i> im Olfaktometer auf von <i>S. intricatus</i> besiedeltes Eichenholz sowie Bohrmehl von <i>S. intricatus</i> (Bohrmehl gewonnen von Stämmen 14 Tage nach der Besiedlung) (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	111
Abbildung 39: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Nonanon-2 im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	112
Abbildung 40: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Acetophenon im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	112
Abbildung 41: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf 3,3,5-trimethyl-Cyclohexanon im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	113
Abbildung 42: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf 2-Undecanon im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	113
Abbildung 43: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	113
Abbildung 44: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf 4-Methylheptan-3-ol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	114
Abbildung 45: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf 3-Penten-2-ol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	114
Abbildung 46: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf (S)-(-)-Ipsenol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$) Anmerkung: in der höchsten Verdünnungsstufe setzte sich die Zahl der Wiederholungen wie folgt zusammen: ♂♂: n = 3, ♀♀: n = 3, ♂♂+♀♀: n = 6	115
Abbildung 47: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Ipsdienol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	115
Abbildung 48: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf beta-Caryophyllen im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	116
Abbildung 49: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf cis-Nerolidol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$).....	116
Abbildung 50: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Linalool im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	117

Abbildung 51: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Decanal im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	117
Abbildung 52: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Veratrol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	118
Abbildung 53: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Anisol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	118
Abbildung 54: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Veratrol kombiniert mit A) 0,01 % Ethanol und B) 1 % Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	119
Abbildung 55: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf Nonanon-2 kombiniert mit A) 0,01 % Ethanol und B) 1 % Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	120
Abbildung 56: Reaktion von <i>T. formicarius</i> auf 4-Methylheptan-3-ol kombiniert mit A) 0,01 % Ethanol und B) 1 % Ethanol im Y-Olfaktometer (Statistik: t-Test für gepaarte Stichproben; n.s. = $p \geq 0,05$; * = $p > 0,01$; ** = $p \leq 0,01$)	
121	
Abbildung 57: (Links) Schematischer Aufbau der THEYSON®-Schlitzfalle (Rechts) schematischer Aufbau der Falle nPhero	136
Abbildung 58: Exemplarischer Aufbau einer Falleninsel im Fallenexperiment 2010: Substanzen innerhalb der Falleninseln wurden in THEYSON®-Schlitzfallen eingehangen; außerhalb der Falleninsel befindet sich nPhero-Falle mit besiedeltem Holzstück	139
Abbildung 59: Exemplarischer Aufbau einer Falleninsel im Fallenexperiment 2011a	140
Abbildung 60: Saisonales Auftreten von <i>T. formicarius</i> und dessen potentiellen Beutetieren im Eschenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetische Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010).....	220
Abbildung 61: Saisonales Auftreten von <i>T. formicarius</i> und dessen potentiellen Beutetieren im Rot-Buchen-habitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010).....	221
Abbildung 62: Saisonales Auftreten von <i>T. formicarius</i> und dessen potentiellen Beutetieren im Eichenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010).....	221
Abbildung 63: Anflug von <i>T. formicarius</i> , <i>L. varius</i> und parasitoiden Hymenoptera auf mit <i>L. varius</i> besiedelte Eschenhölzer im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen aus den nPhero-Fallen im Fallenfangexperiment 2010 auf der Eschenversuchsfläche; schwarze vertikale Linie symbolisiert den Zeitpunkt der Aktivierung der nPhero-Fallen mit den besiedelten Eschenhölzern)	223
Abbildung 64: Saisonales Auftreten von weiteren Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnden Insekten im Eschenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfangexperiment 2010)	224
Abbildung 65: Saisonales Auftreten von weiteren Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnden Insekten im Rot-Buchenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfang-experiment 2010).....	225
Abbildung 66: Saisonales Auftreten von weiteren Prädatoren sowie bast- und holzbesiedelnden Insekten im Eichenhabitat im Versuchsjahr 2010 (Fangzahlen über alle synthetischen Lockstoffe im Fallenfang-experiment 2010)	225
Abbildung 67: (links) Schematischer Aufbau eines Fangholzes (rechts) Schlupfvektor.....	266
Abbildung 68: Aufnahmeparameter bei der Besiedlungsanalyse für <i>Leperisinus spec.</i>	267
Abbildung 69: links: Mittlere Anzahl an Muttergängen von <i>L. varius</i> pro m ² dargestellt für die verwendeten Varianten (ALM: $SQ = 0,148$; $df = 3$; $MQ = 0,049$; $F = 1,880$; $p = 0,211$) rechts: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch <i>L. varius</i> (ALM: $SQ = 0,005$; $df = 3$; $MQ = 0,002$; $F = 3,579$; $p = 0,066$)	270

Abbildung 70: Anzahl der aus den Eschenhölzern im Eklektor geschlüpften <i>L. varius</i> (ALM: $QS = 0,077$; $df = 3$; $MQ = 0,0256$; $F = 1,483$; $p = 0,291$) und <i>T. formicarius</i> (ALM: $QS = 0,530$; $df = 3$; $MQ = 0,177$; $F = 0,670$; $p = 0,594$)	271
Abbildung 71: Korrelation zwischen der Anzahl an Muttergängen pro m ² und der prozentual besiedelten Mantelfläche	272
Abbildung 72: links: Mittlere Anzahl an Muttergängen/m ² von <i>L. varius</i> (ALM: $SQ = 5,168$; $df = 5$; $MQ = 1,034$; $F = 3,351$; $p = 0,040$) und rechts: berechnetes Besiedlungsprozent der einzelnen Fangholzvarianten (ALM: $SQ = 0,139$; $df = 5$; $MQ = 0,028$; $F = 4,970$; $p = 0,011$)	273
Abbildung 73: Anzahl der aus den Eschenhölzern im Eklektor geschlüpften <i>L. varius</i> (ALM: $SQ = 7,357$; $df = 5$; $MQ = 1,472$; $F = 1,956$; $p = 0,158$) und <i>T. formicarius</i> (ALM: $SQ = 2,515$; $df = 5$; $MQ = 0,503$; $F = 1,066$; $p = 0,426$)	274
Abbildung 74: Regression zwischen Anzahl der von <i>L. varius</i> angelegten MG/m ² und der Anzahl abgelegter Eier von <i>L. varius</i> pro cm MG	276
Abbildung 75: Übersicht gefundener Parasitoide an mit <i>L. varius</i> besiedelten Eschenhölzern	277
Abbildung 76: Mittlere Anzahl der erfassten Muttergänge pro m ² von <i>T. domesticum</i> (ALM: $SQ = 0,960$; $df = 5$; $MQ = 0,192$; $F = 1,272$; $p = 0,337$), Einbohrlöcher ϕ 1 mm (ALM: $SQ = 1,411$; $df = 5$; $MQ = 0,060$; $F = 0,513$; $p = 0,762$) und Rammelkammern von <i>T. bicolor</i> (ALM: $SQ = 1,148$; $df = 5$; $MQ = 0,230$; $F = 1,123$; $p = 0,399$)	278
Abbildung 77: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch <i>T. bicolor</i> (ALM: $SQ = 0,0002$; $df = 5$; $MQ = 3,73E-5$; $F = 1,109$; $p = 0,406$)	278
Abbildung 78: Anzahl der aus den Rot-Buchen-Hölzern im Eklektor geschlüpften <i>T. bicolor</i> (ALM: $SQ = 4,668$; $df = 5$; $MQ = 0,934$; $F = 0,634$; $p = 0,678$) und <i>X. germanus</i> (ALM: $SQ = 1,214$; $df = 5$; $MQ = 0,243$; $F = 1,159$; $p = 0,383$)	279
Abbildung 79: Anzahl der aus den Rot-Buchen-Hölzern im Eklektor geschlüpften Staphilinidae mit Körperdurchmesser $\emptyset < 0,5$ mm (ALM: $SQ = 6,116$; $df = 5$; $MQ = 1,223$; $F = 2,021$; $p = 0,148$)	279
Abbildung 80: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Rot-Buchen-Fanghölzer mit <i>Cerambycidae</i> (ALM: $SQ = 9,000$; $df = 5$; $MQ = 1,800$; $F = 1,662$; $p = 0,195$)	280
Abbildung 81: A) Mittlere Anzahl der erfassten Rammelkammern pro m ² von <i>T. bicolor</i> (ALM: $SQ = 1,285$; $df = 5$; $MQ = 0,257$; $F = 1,300$; $p = 0,307$) und Muttergänge pro m ² von <i>T. domesticum</i> (ALM: $SQ = 8,475$; $df = 5$; $MQ = 1,695$; $F = 29,276$; $p < 0,001$) und B) Mittlere Anzahl der erfassten Einbohrlöcher von Imm Durchmesser pro m ² (ALM: $SQ = 3,504$; $df = 5$; $MQ = 0,701$; $F = 2,917$; $p = 0,042$)	281
Abbildung 82: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch <i>T. bicolor</i> (ALM: $SQ = 0,042$; $df = 5$; $MQ = 0,008$; $F = 0,638$; $p = 0,673$)	281
Abbildung 83: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Rot-Buchen-Fanghölzer mit <i>Cerambycidae</i> (ALM: $SQ = 1,708$; $df = 5$; $MQ = 0,342$; $F = 0,665$; $p = 0,655$) und <i>Buprestidae</i> (ALM: $SQ = 0,833$; $df = 5$; $MQ = 0,167$; $F = 0,353$; $p = 0,874$)	282
Abbildung 84: links: Mittlere Anzahl an Muttergängen von <i>S. intricatus</i> pro m ² dargestellt für die verwendeten Varianten (ALM: $SQ = 0,563$; $df = 5$; $MQ = 0,113$; $F = 1,046$; $p = 0,421$) rechts: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch <i>S. intricatus</i> auf Grundlage einer durchschnittlichen Brutbildgröße von 35,71 cm ² (ALM: $SQ = 0,003$; $df = 5$; $MQ = 0,001$; $F = 0,522$; $p = 0,757$)	283
Abbildung 85: A) Durchschnittlich aufsummierte Länge der Muttergänge pro m ² von <i>S. intricatus</i> an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 0,425$; $df = 5$; $MQ = 0,085$; $F = 0,856$; $p = 0,529$) B) Durchschnittliche Längen der Muttergänge von <i>S. intricatus</i> an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 0,008$; $df = 5$; $MQ = 0,002$; $F = 0,499$; $p = 0,773$)	284
Abbildung 86: Besiedlungsprozent der Mantel-fläche der Eichenfanghölzer mit <i>Cerambycidae</i> (ALM: $SQ = 1,000$; $df = 5$; $MQ = 0,200$; $F = 0,109$; $p = 0,989$)	285

- Abbildung 87: links: Anzahl der aus den Eschenhölzern im Eklektor geschlüpften *S. intricatus* (ALM: $SQ = 8,315$; $df = 5$; $MQ = 0,309$; $F = 0,669$; $p = 0,652$) und rechts: Staphilinidae mit Körperdurchmesser $\varnothing < 0,5$ bis 1 mm (ALM: $SQ = 10,432$; $df = 5$; $MQ = 2,086$; $F = 2,262$; $p = 0,092$)..... 285
- Abbildung 88: Mittlere Anzahl an Muttergängen bast- und holzbesiedelnder Scolytidae pro m^2 dargestellt für die verwendeten Varianten (ALM: *S. intricatus*: $QS = 3,564$; $df = 6$; $MQ = 0,594$; $F = 1,512$; $p = 0,22$; Bohrlöcher \varnothing 1mm: $QS = 4,460$; $df = 6$; $MQ = 0,743$; $F = 4,461$; $p = 0,005$; Bohrlöcher \varnothing 2mm: $QS = 0,372$; $df = 6$; $MQ = 0,062$; $F = 0,558$; $p = 0,759$)..... 286
- Abbildung 89: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche durch *S. intricatus* auf Grundlage einer durchschnittlichen Brutbildgröße von 25,10 cm^2 (ALM: $SQ = 0,152$; $df = 6$; $MQ = 0,025$; $F = 1,625$; $p = 0,190$). 287
- Abbildung 90: A) Durchschnittlich aufsummierte Länge der Muttergänge pro m^2 von *S. intricatus* an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 5,184$; $df = 6$; $MQ = 0,864$; $F = 2,329$; $p = 0,070$), B) Durchschnittliche Längen der Muttergänge von *S. intricatus* an den einzelnen Varianten (ALM: $SQ = 0,151$; $df = 6$; $MQ = 0,025$; $F = 0,755$; $p = 0,612$)..... 287
- Abbildung 91: Besiedlungsprozent der Mantelfläche der Eichenfanghölzer mit Buprestidae (ALM: $QS = 5,714$; $df = 6$; $MQ = 0,952$; $F = 0,952$; $p = 0,480$) und Cerambycidae (ALM: $SQ = 3,929$; $df = 6$; $MQ = 0,655$; $F = 0,466$; $p = 0,826$)..... 288
- Abbildung 92: Mittlere Anzahl an Muttergängen von *T. piniperda* (ALM Borke: $SQ = 0,478$; $df = 3$; $MQ = 0,159$; $F = 2,515$; $p = 0,108$; ALM Spiegel: $SQ = 1,030$; $df = 3$; $MQ = 0,343$; $F = 1,839$; $p = 0,194$) und *T. minor* (ALM Borke: $SQ = 0,151$; $df = 3$; $MQ = 0,050$; $F = 0,378$; $p = 0,770$; ALM Spiegel: $SQ = 0,649$; $df = 3$; $MQ = 0,216$; $F = 1,118$; $p = 0,380$) pro m^2 dargestellt für die verwendeten Varianten (Spiegel = Fanghölzer mit Spiegelrinde, Borke = Fanghölzer mit borkiger Rinde)..... 289
- Abbildung 93: Mittlere Anzahl an Muttergängen von *O. laricis* (ALM Spiegel: $SQ = 0,150$; $df = 3$; $MQ = 0,050$; $F = 0,141$; $p = 0,934$), *C. cinereus* (ALM Spiegel: $SQ = 0,433$; $df = 3$; $MQ = 0,144$; $F = 0,633$; $p = 0,608$) und *H. palliatus* (ALM Spiegel: $SQ = 0,452$; $df = 3$; $MQ = 0,151$; $F = 0,752$; $p = 0,542$) pro m^2 dargestellt für die verwendeten Varianten (Spiegel = Fanghölzer mit Spiegelrinde, Borke = Fanghölzer mit borkiger Rinde) 290
- Abbildung 94: Mittlerer Anteil der besiedelten Stammoberfläche (ALM Spiegel: $SQ = 0,001$; $df = 3$; $MQ = 0,0002$; $F = 0,642$; $p = 0,603$; ALM Borke: $SQ = 0,005$; $df = 3$; $MQ = 0,002$; $F = 1,089$; $p = 0,391$)..... 291
- Abbildung 95: Prozentualer Anteil der erfassten Borkenkäferarten am Gesamtbesiedlungsprozent der Stammoberfläche 292
- Abbildung 96: Regression zwischen Zahl angelegter Muttergänge pro m^2 und dem prozentualen Anteil der besiedelten Stammfläche durch *T. piniperda*..... 293

A.13 Signifikanztabellen *Tillus elongatus*

Anlage Tabelle 55: Signifikanztabelle der Fallenfänge von *T. elongatus* für das Fallenfangexperiment 2010

<i>Tillus elongatus</i>											
	Σ	Null	Eth	Ace	MB-one	Mhept	Non	Ver	Ch	Lin	Sex
3 Wochen	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29
Null	1	1	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	< 0,001
Eth	0	0	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	< 0,001
Ace	0	0	0	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	< 0,001
MB-one	0	0	0	0	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	< 0,001
Mhept	0	0	0	0	0	1	1,000	1,000	1,000	1,000	< 0,001
Non	0	0	0	0	0	0	1	1,000	1,000	1,000	< 0,001
Ver	0	0	0	0	0	0	0	1	1,000	1,000	< 0,001
Ch	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,000	< 0,001
Lin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	< 0,001
Sex	29	1	0	0	0	0	0	0	0	0	29

A.14 Signifikanztabellen *Rhizophagus dispar*

Anlage Tabelle 56: Signifikanztabelle der Fallenfänge von *R. dispar* für das Fallenfangexperiment 2010

<i>Rhizophagus dispar</i>											
	Σ	Null	Eth	Ace	MB-one	Mhept	Non	Ver	Ch	Lin	Sex
3 Wochen	0	4	0	0	0	0	0	0	1	104	36
Null	0	0	0,361	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,817	< 0,001	< 0,001
Eth	4	0	1	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361	0,495	< 0,001	< 0,001
Ace	0	0	0	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,817	< 0,001	< 0,001
MB-one	0	0	0	0	1	1,000	1,000	1,000	0,817	< 0,001	< 0,001
Mhept	0	0	0	0	0	1	1,000	1,000	0,817	< 0,001	< 0,001
Non	0	0	0	0	0	0	1	1,000	0,817	< 0,001	< 0,001
Ver	0	0	0	0	0	0	0	1	0,817	< 0,001	< 0,001
Ch	1	0	0	0	0	0	0	0	1	< 0,001	< 0,001
Lin	104	0	0	0	0	0	0	0	0	1	< 0,001
Sex	36	0	4	0	0	0	0	0	1	104	36

Anlage Tabelle 67: Signifikanztabelle der Fallenfänge von *R. depressus* für das Fallenfangexperiment 2012a-5

<i>Rhizophagus depressus</i>										
	Σ	Null	Eth	Eth+aP	Eth+aP+Ipsdienol	Eth+aP+Ipsenol	Eth+aP+Mhept	Eth+aP+Non	Eth+aP+Pe	Sex
		0	1	0	1	1	2	1	2	30
Null	0	1,000	0,527	1,000	0,527	0,527	0,325	0,622	0,207	< 0,001
Eth	1	0,527	1,000	0,527	1,000	0,723	0,889	0,527	< 0,001	
Eth+aP	0	1,000	0,527	0,527	0,527	0,325	0,622	0,207	< 0,001	
Eth+aP+Ipsdienol	1	0,527	1,000	0,527	1,000	0,723	0,889	0,527	< 0,001	
Eth+aP+Ipsenol	1	0,527	0,527	1,000	0,723	1,000	0,889	0,527	< 0,001	
Eth+aP+Mhept	2	0,325	0,622	0,527	0,723	0,723	1,000	0,622	0,780	< 0,001
Eth+aP+Non	1	0,622	0,527	0,622	0,889	0,527	0,622	1,000	0,440	< 0,001
Eth+aP+Pe	2	0,207	0,527	0,207	0,527	0,207	0,527	0,440	1,000	< 0,001
Sex	30									

Anlage Tabelle 68: Signifikanztabelle der Fallenfänge von *R. depressus* für das Fallenfangexperiment 2012c-1

<i>Rhizophagus depressus</i>												
	Σ	Null	Eth	Eth+Ver(2)	Lin	Lin+Ace	Lin+Non	Lin+Mhept	Lin+Ver	Lin+Ver (2)	Lin+Sex	Lin+Typ
		0	0	2	0	0	0	2	6	3	14	4
Null	0	1,000	0,617	1,000	1,000	1,000	1,000	0,038	0,169	0,307	0,008	0,024
Eth	0	0,617	1,000	0,617	1,000	1,000	1,000	0,038	0,169	0,307	0,008	0,024
Eth+Ver(2)	2	0,617	0,617	1,000	0,617	0,617	0,113	0,379	0,601	0,029	0,077	
Lin	0	1,000	1,000	0,617	1,000	1,000	0,038	0,169	0,307	0,008	0,024	
Lin+Ace	0	1,000	1,000	0,617	1,000	1,000	0,038	0,169	0,307	0,008	0,024	
Lin+Non	0	1,000	1,000	0,617	1,000	1,000	0,038	0,169	0,307	0,008	0,024	
Lin+Mhept	2	0,038	0,169	0,307	0,038	0,169	0,038	1,000	0,476	0,286	0,537	0,848
Lin+Ver	6	0,169	0,307	0,307	0,169	0,307	0,169	0,476	1,000	0,721	0,185	0,366
Lin+Ver (2)	3	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,307	0,286	0,721	1,000	0,094	0,209
Lin+Sex	14	0,008	0,008	0,029	0,008	0,008	0,008	0,537	0,185	0,094	1,000	0,670
Lin+Typ	4	0,024	0,024	0,077	0,024	0,024	0,024	0,848	0,366	0,209	0,670	1,000

A.19 Signifikanztabellen *Salpingus ruficollis*

Anlage Tabelle 73: Signifikanztabelle der Fallenfänge von *S. ruficollis* für das Fallenfangexperiment 2011c

<i>Salpingus ruficollis</i>										
	Σ	Null	Lim	Lim+aP	VOC	Eth	Eth+Non	Eth+Mhept	Eth+Non/Mhept	Eth+Non/Mhept+VOC
	3 Wochen	0	1	0	0	5	2	2	4	1
Null	0	1,000	0,776	1,000	1,000	0,009	0,444	0,444	0,009	0,336
Lim	1		1,000	0,776	0,776	0,018	0,630	0,630	0,018	0,497
Lim+aP	0			1,000	1,000	0,009	0,444	0,444	0,009	0,336
VOC	0				1,000	0,009	0,444	0,444	0,009	0,336
Eth	5					1,000	0,057	0,057	1,000	0,087
Eth+Non	2						1,000	0,057	0,843	0,843
Eth+Mhept	2							1,000	0,057	0,843
Eth+Non/Mhept	4								1,000	0,087
Eth+Non/Mhept+VOC	1									1,000

Anlage Tabelle 74: Signifikanztabelle der Fallenfänge von *S. ruficollis* für das Fallenfangexperiment 2012b-1

<i>Salpingus planirostris</i>										
	Σ	Null	endoB	endoB+Non	endoB+Non+Na	exoB	exoB+Non	exoB+Non+Na	Sex	Eth
		0	0	0	1	0	0	0	5	0
Null	0	1,000	1,000	1,000	0,145	1,000	1,000	1,000	< 0,001	1,000
endoB	0		1,000	1,000	0,145	1,000	1,000	1,000	< 0,001	1,000
endoB+Non	0			1,000	0,145	1,000	1,000	1,000	< 0,001	1,000
endoB+Non+Na	1				1,000	0,145	0,145	0,145	0,006	0,145
exoB	0					1,000	1,000	1,000	< 0,001	1,000
exoB+Non	0						1,000	1,000	< 0,001	1,000
exoB+Non+Na	0							1,000	< 0,001	1,000
Sex	5								< 0,001	< 0,001
Eth	0									< 0,001

Erklärung:

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als diese kenntlich gemacht worden. Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgenden Personen erhalten:

.....

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe eines oder mehrerer Promotionsberater(s) in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zwecke der Promotion vorgelegt.

Ich bestätige, dass ich die Promotionsordnung der Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden anerkenne.

Ort, Datum, Unterschrift

Die Dissertation ist im Rahmen der Promotionsförderung des Europäischen Sozialfonds (ESF) als Landesinnovationspromotion entstanden



Bei den Sachmitteln wurde das Projekt unterstützt durch:

Hans-Sauer-Stiftung



Innovationsstiftung Ulrike Sauer



Witasek Pflanzenschutz GmbH

Carl Roth GmbH & Co. KG

ABCR GmbH & Co. KG

Kalle GmbH

CS - Chromatographie Service GmbH

elringklinger Kunststofftechnik GmbH