

TESTVERFAHREN ZUR WIRKSAMKEITSPRÜFUNG VON FRASSGIFTKÖDERN,
REPELLENTIEN UND MONITORINGVERFAHREN GEGEN SCHABEN, AMEISEN
UND BETTWANZEN

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des

Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.)

eingereicht im Fachbereich Biologie, Chemie, Pharmazie

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

ANNE KRÜGER

aus Potsdam

2018

Die Arbeit wurde von August 2013 bis Januar 2018 unter der Anleitung von PD Dr. Erik Schmolz im Fachgebiet IV 1.4 Gesundheitsschädlinge und ihre Bekämpfung des Umweltbundesamtes in Berlin durchgeführt.

- | | |
|---------------|---|
| 1. Gutachter: | PD Dr. Erik Schmolz
Umweltbundesamt Berlin |
| 2. Gutachter: | Prof. Dr. Jens Rolff
Freie Universität Berlin
Institut für Biologie |

Disputation am 18.06.2018

Danksagung

Ganz herzlich möchte ich mich bei PD Dr. Erik Schmolz für die Vergabe des Promotionsthemas und die Möglichkeit bedanken, diese Arbeit im FG IV 1.4 schreiben zu können. Seine konstruktive Kritik, anregende Gespräche und Geduld halfen mir sehr während der gesamten Promotionszeit.

Prof. Dr. Jens Rolff möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachtens danken.

Für die vielen Anregungen bei der Erstellung der Dissertation möchte ich mich auch ganz herzlich bei Dr. Carola Kuhn bedanken. Danke, dass du dir spontan die Zeit genommen hast.

Das gesamte Team des FG IV 1.4 stand mir während der Durchführung meiner Versuche immer helfend zur Seite. Vielen Dank dafür an alle. Silvia, dir danke ich besonders, da du jederzeit tatkräftig und einsatzbereit deine Hilfe angeboten hast.

Liebe Arlette, auch dir gebührt viel Dank, da du mich jederzeit unterstützt hast, für unsere vielen anregenden Gespräche und dass du mit mir nicht nur das Büro, sondern auch eine Menge Freud und Leid geteilt hast.

Meinen Freunden gilt ebenfalls eine Menge Dank. Ihr habt immer geduldig zugehört und dazu beigetragen, dass es mir gut ging und mir auch lange Phasen von Vernachlässigung verziehen.

Ganz besonders meiner Familie möchte ich danken! Ihr seid immer für mich da und unterstützt mich. Mesi, Ole und Bosse, ihr seid einfach wunderbar und ich bin froh, dass ich euch habe!

Inhaltsverzeichnis

I.	Tabellenverzeichnis	VI
II.	Abbildungsverzeichnis	VII
III.	Abkürzungsverzeichnis	X
1	Einleitung	1
1.1	Schädlingsbekämpfung	1
1.2	Wirksamkeitsprüfungen	4
1.2.1	Fraßköder und Monitoringsysteme für Schaben	4
1.2.2	Fraßköder für tropische Ameisen	7
1.2.3	Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen	8
1.3	Einflussfaktoren auf Wirksamkeitsprüfungen	9
1.4	Schaben	11
1.5	Ameisen	14
1.6	Bettwanzen	18
1.7	Insektizide Wirkstoffklassen in Fraßködern gegen Schaben und Ameisen und ihre Wirkweise	20
1.8	Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen	22
1.9	Behördliche Vorgaben zu Schädlingsbekämpfungsmitteln	23
1.9.1	Biozidzulassung innerhalb der Europäischen Union	23
1.9.2	Infektionsschutzgesetz in Deutschland	25
1.10	Ziele dieser Arbeit	25
1.10.1	Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben	25
1.10.2	Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen	26
1.10.3	Entwicklung von Testsystemen für Wirksamkeitsprüfungen von Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen	26
2	Material und Methoden	28
2.1	Material	28
2.1.1	Prüftiere	28
2.1.1.1	Herkunft der Zuchtstämme und Zuchtbedingungen	28
2.1.1.2	Schaben	28
2.1.1.2.1	<i>Blattella germanica</i>	28
2.1.1.2.2	<i>Periplaneta americana</i> und <i>Blatta orientalis</i>	29

2.1.1.3	Ameisen	30
2.1.1.3.1	<i>Monomorium pharaonis</i> und <i>Tapinoma melanocephalum</i>	30
2.1.1.3.2	<i>Lasius niger</i>	31
2.1.1.4	<i>Cimex lectularius</i>	32
2.1.2	Versuchsmaterialien	34
2.1.2.1	Geräte	34
2.1.2.2	Chemikalien und Reagenzien	34
2.1.2.3	Mehrwegmaterialien	35
2.1.2.4	Verbrauchsmaterialien	37
2.1.2.5	Köder und Repellentien	39
2.1.2.5.1	Fraßköderversuche mit Schaben	39
2.1.2.5.2	Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen	40
2.1.2.5.3	Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen	40
2.2	Methoden	41
2.3	Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben	41
2.3.1	Umsetzen der Versuchstiere	41
2.3.2	Fraßköderversuche in 1- und 2-Kastensystemen	41
2.3.2.1	Versuchsaufbau	41
2.3.2.2	Versuchsdurchführung	43
2.3.2.3	Alter und Anzahl der Versuchstiere	45
2.3.2.4	Kontrollansätze	45
2.3.3	Monitoringsysteme zur Schabendetektion	45
2.3.3.1	Laborraum für die Prüfung von Monitoringsystemen	45
2.3.3.2	Kamerasystem	48
2.3.3.3	Klebefallen	50
2.3.4	Aktivitätsversuche	51
2.3.5	Statistische Datenanalyse	52
2.4	Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen	52
2.4.1	Versuche mit <i>T. melanocephalum</i> im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem	52
2.4.1.1	Versuchsaufbau	52
2.4.1.2	Versuchsdurchführung	55
2.4.2	Versuche mit unterschiedlich großen 1-Kammersystemen	55
2.4.2.1	Versuchsaufbau	55

2.4.2.2	Versuchsdurchführung.....	56
2.4.3	Statistische Datenanalyse.....	57
2.5	Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen	57
2.5.1	Repellentienversuche mit Ameisen.....	57
2.5.1.1	<i>Forced choice</i> -Test mit Ameisen	58
2.5.1.1.1	Versuchsaufbau	58
2.5.1.1.2	Versuchsdurchführung	60
2.5.1.2	<i>Simulated use</i> -Test mit Ameisen.....	60
2.5.1.2.1	Versuchsaufbau	60
2.5.1.2.2	Versuchsdurchführung	63
2.5.2	Repellentienversuche mit Bettwanzen	63
2.5.2.1	<i>Forced choice</i> -Test mit Bettwanzen	63
2.5.2.1.1	Versuchsaufbau	63
2.5.2.1.2	Versuchsdurchführung	64
2.5.2.2	<i>Simulated use</i> -Test mit Bettwanzen.....	65
2.5.2.2.1	Versuchsaufbau	65
2.5.2.2.2	Versuchsdurchführung	68
2.5.3	Statistische Datenanalyse.....	68
3	Ergebnisse	69
3.1	Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben.....	69
3.1.1	Vergleich der Größe der Testsysteme für Fraßködertprüfungen.....	69
3.1.1.1	Versuche mit <i>B. germanica</i>	70
3.1.1.2	Versuche mit <i>P. americana</i>	72
3.1.2	Versuche zur Populationszusammensetzung.....	75
3.1.2.1	Versuche mit <i>B. germanica</i>	75
3.1.2.2	Versuche mit <i>P. americana</i>	79
3.1.3	Streuungen in Fraßköderversuchen.....	83
3.1.3.1	<i>B. germanica</i>	83
3.1.3.2	<i>P. americana</i>	84
3.1.4	Monitoringsysteme zur Schabendetektion.....	85
3.1.5	Aktivitätsversuche.....	89
3.2	Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen.....	91
3.2.1	Versuche mit <i>T. melanocephalum</i> im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem	91

3.2.2	Versuche mit unterschiedlich großen 1-Kammersystemen	92
3.2.2.1	Vergleich der Größe der Testsysteme.....	92
3.2.2.2	Vergleich der Wirkstoffe Imidacloprid und Indoxacarb	99
3.2.2.3	Vergleich von <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i>	101
3.3	Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen	103
3.3.1	Repellentienversuche mit Ameisen.....	103
3.3.1.1	<i>Forced choice</i> -Test	103
3.3.1.2	<i>Simulated use</i> -Test	105
3.3.1.2.1	<i>Simulated use</i> -Test mit <i>T. melanocephalum</i>	106
3.3.1.2.2	<i>Simulated use</i> -Test mit <i>M. pharaonis</i>	109
3.3.1.3	Vergleich von <i>forced choice</i> -Test und <i>simulated use</i> -Test	112
3.3.1.4	Vergleich der Ergebnisse von <i>T. melanocephalum</i> und <i>M. pharaonis</i> ...	114
3.3.2	Repellentienversuche mit <i>C. lectularius</i>	115
3.3.2.1	<i>Forced choice</i> -Test	116
3.3.2.2	<i>Simulated use</i> -Test	120
3.3.2.3	Vergleich von <i>forced choice</i> -Test und <i>simulated use</i> -Test	122
4	Diskussion	123
4.1	Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben.....	123
4.1.1	Fraßköderversuche	123
4.1.1.1	Größe der Lauffläche	124
4.1.1.2	Versuche zur Populationszusammensetzung	126
4.1.2	Monitoringversuche mit Kamerasystem und Klebefallen	129
4.1.3	Aktivitätsversuche	132
4.2	Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen.....	133
4.2.1	Versuche mit <i>T. melanocephalum</i> im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem	133
4.2.2	Versuche mit unterschiedlich großen 1-Kammersystemen	136
4.2.2.1	Vergleich der Köderwirkstoffe und Ameisenarten	138
4.3	Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen	140
4.3.1	Repellentienversuche mit Ameisen.....	140
4.3.1.1	Versuche mit <i>T. melanocephalum</i>	142
4.3.1.2	Versuche mit <i>M. pharaonis</i>	142
4.3.1.3	Vergleich von <i>forced choice</i> -Test und <i>simulated use</i> -Test	143
4.3.1.4	Vergleich von <i>T. melanocephalum</i> und <i>M. pharaonis</i>	144

4.3.2	Repellentienversuche mit Bettwanzen	146
4.3.2.1	<i>Forced choice</i> -Test	147
4.3.2.2	<i>Simulated use</i> -Test	148
4.3.2.3	Vergleich von <i>forced choice</i> -Test und <i>simulated use</i> -Test	149
4.4	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	150
4.4.1	Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben	150
4.4.2	Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen	151
4.4.3	Repellentienversuche mit Ameisen.....	151
4.4.4	Repellentienversuche mit Bettwanzen	152
5	Zusammenfassung	153
6	Summary	155
7	Literatur	157

I. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vorgaben und Empfehlungen zu Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern gegen Schaben.....	6
Tab. 2: Fraßköderversuche zum Vergleich der Größe des Testsystems mit deutschen und amerikanischen Schaben	44
Tab. 3: Fraßköderversuche zum Vergleich der Populationszusammensetzung mit deutschen und amerikanischen Schaben	45
Tab. 4: Übersicht über die vergleichenden Fraßköderversuche mit Ameisen.....	57
Tab. 5: Übersicht der Repellentienversuche mit Ameisen.	58
Tab. 6: Mortalität in den Kontrollgruppen.....	69
Tab. 7: Zusammenfassung der Detektionen in den Versuchen mit Klebefallen und Kamerasystem	86
Tab. 8: Übersicht über die toten und überlebenden Königinnen sowie überlebenden Arbeiterinnen von <i>T. melanocephalum</i> in den Replikaten, in denen die Ameisenvölker nicht getilgt wurden.	92
Tab. 9: Im <i>simulated use</i> -Test zum simulierten Wirt gelaufene <i>C. lectularius</i>	121

II. Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen, sofern nicht anders gekennzeichnet, wurden eigenständig angefertigt bzw. aufgenommen.

Abb. 1: <i>Blattella germanica</i>	12
Abb. 2: <i>Periplaneta americana</i>	13
Abb. 3: <i>Blatta orientalis</i>	14
Abb. 4: <i>Tapinoma melanocephalum</i>	15
Abb. 5: <i>Monomorium pharaonis</i>	16
Abb. 6: <i>Lasius niger</i>	17
Abb. 7: <i>Cimex lectularius</i>	19
Abb. 8: Zuchtgläser für <i>B. germanica</i>	29
Abb. 9: Zuchtgefäße für <i>P. americana</i> und <i>B. orientalis</i>	30
Abb. 10: Zuchtglas für <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i>	31
Abb. 11: Nestanlage für Großvölker von <i>L. niger</i>	32
Abb. 12: Zuchtgefäße für <i>C. lectularius</i>	33
Abb. 13: 1- und 2-Kastensysteme für Fraßköderversuche mit deutschen und amerikanischen Schaben.....	42
Abb. 14: Anordnung der Materialien im 2-Kastensystem	43
Abb. 15: Anordnung der Materialien im 1-Kastensystem	43
Abb. 16: Schematische Darstellung des Versuchsraums für die Monitoringversuche mit Kamerasystem und Klebefallen mit deutschen, orientalischen und amerikanischen Schaben.....	47
Abb. 17: Versuchsraum für die Monitoringversuche mit deutschen, orientalischen und amerikanischen Schaben.	48
Abb. 18: Kamerasystem	49
Abb. 19: Klebefallen	50
Abb. 20: Betäubte, mit Nummern markierte <i>P. americana</i>	51
Abb. 21: 3-Kammersystem	54
Abb. 22: Aufbau des 1-Kammersystems in der Kristallisierschale.....	55
Abb. 23: Aufbau der 1-Kammersysteme	56
Abb. 24: Aufbau des <i>forced choice</i> -Tests für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen <i>L. niger</i> , <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i>	59
Abb. 25: Aufbau des <i>simulated use</i> -Tests für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i>	62
Abb. 26: Aufbau des <i>forced choice</i> -Tests für die Wirksamkeitstests von Repellentien gegen <i>C. lectularius</i>	64

Abb. 27: <i>Simulated use</i> -Test für Wirksamkeitstests von Repellentien gegen <i>C. lectularius</i> ..	67
Abb. 28: Vergleich der LT_{50} der Testpopulationen von <i>B. germanica</i> im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem	71
Abb. 29: Vergleich der LT_{95} der der Testpopulationen von <i>B. germanica</i> im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem	72
Abb. 30: Vergleich der LT_{50} der Testpopulationen von <i>P. americana</i> im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem	73
Abb. 31: Vergleich der LT_{95} der Testpopulationen von <i>P. americana</i> im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem	74
Abb. 32: Vergleich der LT_{50} und LT_{95} der Gesamtpopulationen von <i>B. germanica</i> in den Wahl- und Zwangsversuchen	76
Abb. 33: LT_{50} der Männchen, Weibchen und Juvenilen von <i>B. germanica</i> , verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen	78
Abb. 34: LT_{95} der Männchen, Weibchen und Juvenilen von <i>B. germanica</i> , verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen	79
Abb. 35: Vergleich der LT_{50} und LT_{95} der Gesamtpopulationen von <i>P. americana</i> in den Wahl- und Zwangsversuchen	80
Abb. 36: LT_{50} der Männchen, Weibchen und Juvenilen von <i>P. americana</i> , verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen	81
Abb. 37: LT_{95} der Männchen, Weibchen und Juvenilen von <i>P. americana</i> , verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen	82
Abb. 38: Spannweite zwischen den Replikaten, in denen die LT_{50} bzw. LT_{95} von <i>B. germanica</i> als erstes und letztes erreicht wurde	83
Abb. 39: Spannweite zwischen den Replikaten, in denen die LT_{50} bzw. LT_{95} von <i>P. americana</i> als erstes und letztes erreicht wurde	85
Abb. 40: In den zwei kleinen Klebefallen gefangene <i>B. germanica</i> , <i>P. americana</i> und <i>B. orientalis</i> bei einem Besatz mit jeweils 15 Tieren	87
Abb. 41: Detektionen des Kamerasystems in Versuchen mit kleiner Klebefalle mit jeweils 15 Tieren der drei Schabenarten <i>B. germanica</i> , <i>P. americana</i> und <i>B. orientalis</i>	87
Abb. 42: In den zwei kleinen Klebefallen gefangene Tiere von <i>B. germanica</i> , <i>P. americana</i> und <i>B. orientalis</i> bei einem Besatz mit jeweils 3 Tieren	88
Abb. 43: Detektionen des Kamerasystems in Versuchen mit kleiner Klebefalle mit jeweils 3 Tieren der drei Schabenarten <i>B. germanica</i> , <i>P. americana</i> und <i>B. orientalis</i>	89
Abb. 44: Aktivität der unterschiedlichen Schabenstadien von <i>P. americana</i>	90
Abb. 45: Aktivität von <i>P. americana</i> abhängig von der Tageszeit	90
Abb. 46: Dauer bis zur Tilgung der Völker von <i>T. melanocephalum</i> in den einzelnen Replikaten im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem unter Anwendung eines Borsäureködern	91

Abb. 47: Dauer bis zur Tilgung der Ameisenvölker in beiden Testsystemen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern	93
Abb. 48: Mortalität der Königinnen in beiden Testsystemen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern	94
Abb. 49: Überlebende Arbeiterinnen in beiden Testsystemen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern	94
Abb. 50: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 14 Tage nach Exposition.....	96
Abb. 51: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 35 Tage nach Exposition.....	97
Abb. 52: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 56 Tage nach Exposition.....	98
Abb. 53: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 77 Tage nach Exposition.....	98
Abb. 54: Vergleichende Darstellung der Aktivität der Arbeiterinnen im Verlauf des Versuchs mit <i>M. pharaonis</i> unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern.....	100
Abb. 55: Vergleichende Darstellung der Aktivität der Arbeiterinnen im Verlauf des Versuchs mit <i>T. melanocephalum</i> unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern	101
Abb. 56: Mortalität der Königinnen und überlebende Arbeiterinnen von <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i> in Versuchen mit einem Indoxacarbköder.....	102
Abb. 57: Aktivität der Arbeiterinnen von <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i>	103
Abb. 58: Repellierte <i>T. melanocephalum</i> , <i>M. pharaonis</i> und <i>L. niger</i> im <i>forced choice</i> -Test	105
Abb. 59: Repellierte <i>T. melanocephalum</i> im <i>simulated use</i> -Test.....	108
Abb. 60: Repellierte <i>M. pharaonis</i> im <i>simulated use</i> -Test	111
Abb. 61: Vergleich der repellierten <i>T. melanocephalum</i> im <i>forced choice</i> -Test und zu den einzelnen Kontrollzeitpunkten im <i>simulated use</i> -Test	113
Abb. 62: Vergleich der repellierten <i>M. pharaonis</i> im <i>forced choice</i> -Test und zu den einzelnen Kontrollzeitpunkten im <i>simulated use</i> -Test	114
Abb. 63: Vergleich der Anteile repellierter <i>M. pharaonis</i> und <i>T. melanocephalum</i> im <i>simulated use</i> -Test	115
Abb. 64: Örtliche Verteilung von <i>C. lectularius</i> innerhalb der ersten Stunde nach Einsetzen der Tiere in den <i>forced choice</i> -Test	118
Abb. 65: Örtliche Verteilung der <i>C. lectularius</i> im <i>forced choice</i> -Test nach 24 h	120
Abb. 66: Nicht gelaufene <i>C. lectularius</i> im <i>simulated use</i> -Tests nach 24 h.....	121
Abb. 67: Vergleich der Anteile der repellierten <i>C. lectularius</i> im <i>simulated use</i> -Test und im <i>forced choice</i> -Test innerhalb der ersten 60 min und nach 24 h	122

III. Abkürzungsverzeichnis

1-KS	1-Kastensystem
2-KS	2-Kastensystem
α	Signifikanzniveau
Abb.	Abbildung
ATP	Adenosintriphosphat
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DEET	Diethyltoluamid
ECHA	European Chemicals Agency
EPA	Environmental Protection Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
fK	flüssiger Köder
GABA	γ -Aminobuttersäure
GRN	Geschmacksrezeptorneuronen
HACCP	Hazard Analysis and Critical Control Point
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IPM	Integrated Pest Management
LPM	Liter pro Minute
LT ₅₀	Mittlere Zeit bis zum Tod einer Testpopulation
LT ₉₅	Zeit bis zum Tod von 95 % der Tiere einer Testpopulation
M	Median
MW	Mittelwert
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
ORN	Olfaktorische Rezeptorneuronen
p	Signifikanzwert
p. a.	post application (nach Anwendung/Exposition)
pK	pulveriger Köder
PT	Produkttyp
px	Pixel
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
UBA	Umweltbundesamt
WHO	World Health Organization

1 Einleitung

1.1 Schädlingsbekämpfung

Schädlinge sind Organismen, die im Umfeld des Menschen vorkommen und ihn gesundheitlich oder wirtschaftlich schädigen können. Je nach Bereich, in dem sie Schäden verursachen, werden sie in Kategorien, wie Material-, Forst-, Agrar-, Vorrats- oder Gesundheitsschädlinge zusammengefasst. Gesundheitsschädlinge haben einen direkten Einfluss auf den Menschen, da sie entweder als sogenannte Vektoren Krankheitserreger auf den Menschen übertragen oder aber Allergien beim Menschen hervorrufen können. Die vektorielle Übertragung von Krankheitserregern erfolgt bei blutsaugenden Tieren durch den Einstich und bei mechanischen Vektoren durch die Verunreinigung von Lebensmitteln mit Erregern, die auf der Körperoberfläche getragen werden oder in ihrem Kot oder Speichel enthalten sein können. Ein großer Anteil der weltweit bedeutenden Vektoren sind Insekten. Die Bekämpfung von Schädlingen im Allgemeinen wird vorwiegend mit Mitteln auf chemischer Basis durchgeführt. Insektizide kommen immer gegen Insekten zum Einsatz, diese werden als Fraßgifte oder Kontaktinsektizide eingesetzt. In vielen Bereichen der Schädlingsbekämpfung wurden Konzepte zur integrierten Schädlingsbekämpfung (Integrated Pest Management - IPM) entwickelt. Hierbei geht es besonders darum, den Fokus nicht auf die schnelle und anlassbezogene Bekämpfung mit Insektiziden zu legen. Es sollen stattdessen möglichst alle Maßnahmen ergriffen werden, um auch einen neuen Schädlingsbefall zu vermeiden (MALEY et al. 2014).

Für lebensmittelverarbeitende Betriebe wurde das HACCP-Konzept (Hazard Analysis and Critical Control Point) entwickelt (FAO und WHO 1997). Die Vermeidung von jeglichen Risiken und Gefahren für die zu produzierenden, zu verarbeitenden und zu vertreibenden Lebensmittel ist hierbei das entscheidende Kriterium. Darunter fällt auch, dass bei einem Schädlingsbefall in diesen Betrieben eine Bekämpfung stattfinden muss. Seit 1998 ist HACCP im deutschen Recht durch die Lebensmittelhygiene-Verordnung¹ integriert. Innerhalb der Europäischen Union (EU) trat 2004 die Verordnung (EG) Nr. 852/2004 zur Lebensmittelsicherheit in Kraft. Die Dokumentation eines Schädlingsmonitorings und –managements ist damit vorgeschrieben.

¹ Verordnung über die Anforderungen an die Hygiene beim Herstellen, Behandeln und Inverkehrbringen von bestimmten Lebensmitteln tierischen Ursprungs (Tierische Lebensmittelhygieneverordnung – Tier-LMHV), Tier-LMVH vom 08.08.2007. Vollzitat: „Tierische Lebensmittel-Hygieneverordnung vom 8. August 2007 (BGBl. I S. 1816, 1828) die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. November 2011 (BGBl. I S. 2233) geändert worden ist“. Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 V v. 10.11.2011 I 2233.

Schaben sind häufige Schädlinge in Lebensmittelbetrieben. Die Bekämpfung von Schaben in Innenräumen kann anhand unterschiedlicher Methoden durchgeführt werden, es gibt Spray, Nebel oder Staub und/oder Köder in trockener oder gelartiger Form. Zur Befallsfeststellung, Überwachung sowie als begleitende Maßnahme bei der Bekämpfung werden Klebefallen genutzt (WILLIAMS et al. 2005, WANG und BENNETT 2006a, TEE und LEE 2014).

Die konventionelle Schädlingsbekämpfung bei einem Befall mit Schädlingen wie Schaben mit ausschließlichem Einsatz von Insektiziden jeglicher Form wird immer seltener angewandt (RADCLIFFE et al. 2009). Der Einsatz von Kontaktinsektiziden kann dazu führen, dass ein Schabenbefall als getilgt eingestuft wird, jedoch einige Schaben durch die häufig auch repellierende Wirkung der Mittel vertrieben werden. Diese siedeln sich an anderen Stellen an und kommen zu einem späteren Zeitpunkt möglicherweise zurück, wodurch keine langfristige Tilgung erwirkt wird (RUST und REIERSON 1978, MILLER und MEEK 2004). Konzepte zur integrierten Schädlingsbekämpfung haben in den letzten Jahrzehnten auch bei der Schabenbekämpfung immer mehr an Bedeutung gewonnen (RADCLIFFE et al. 2009). Dies bedeutet, bauliche oder hygienische Mängel zu erkennen und diese möglichst zu beheben. Essentiell ist ein permanentes Monitoring, um Befälle frühestmöglich zu erkennen. So ist dies zum Beispiel durch erhöhte Aufmerksamkeit der Bewohner oder Mitarbeiter oder mit Klebefallen und regelmäßigen Kontrollen derselben möglich. Auch sich bietende Nahrungsquellen und Verstecke für Schaben müssen beseitigt werden. Die Bewohner oder Mitarbeiter in betroffenen Gebäuden müssen geschult werden, um aktiv an diesen Maßnahmen mitzuwirken (RIVAULT und CLOAREC 1995). Nur bei Feststellung eines Befalls wird die Bekämpfung vor allem mit Hilfe von Ködern mit insektiziden Wirkstoffen vorgenommen (MALEY et al. 2014). Diese Art der Bekämpfung ist mit höherem Aufwand verbunden. Die Kosten wurden in vergleichenden Studien aber vor allem langfristig als etwa gleich oder sogar geringer bewertet als konventionelle und wiederholte anlassbezogene Bekämpfungen (BRENNER et al. 2003, WANG und BENNETT 2009). Durch die Kombination aus Behandlung, Prävention und Monitoring beim IPM lässt sich der Insektizideinsatz stark reduzieren (MILLER und MEEK 2004, WANG und BENNETT 2006a). So können durch ein begleitendes Monitoring von den Schaben hochfrequentierte Bereiche sehr viel effizienter mit Ködern versehen werden. DURIER und RIVAULT (2000a) haben in Versuchen mit der deutschen Schabe *Blattella germanica* gezeigt, dass die Attraktivität und Effektivität eines Köders gegen deutsche Schaben erhöht werden kann, wenn dieser dichter am Versteck platziert ist als das alternative Futter. Es wurde außerdem nachgewiesen, dass ohne die Unterstützung durch Monitoringmaßnahmen bei einer Bekämpfung unnötig viele Bereiche mit Insektiziden behandelt werden, die von Schaben gar nicht aufgesucht werden (WILLIAMS et al. 2005).

Ameisen wie die Pharaoameise *Monomorium pharaonis* und die Schwarzkopfameise *Tapi-noma melanocephalum* sind in vielen Teilen der Erde, vor allem in Asien und Südamerika, bedeutende Gesundheitsschädlinge (LEE 2002, CAMPOS-FARINHA 2005). Aber auch in anderen Teilen der Erde haben verschiedene, vor allem invasive, Ameisenarten als Gesundheits- und Materialschädlinge einen großen ökonomischen Einfluss (KLOTZ et al. 2008, OI 2008, RUST und SU 2012). Infestationen mit Ameisen wie der Pharaoameise und der Schwarzkopfameise werden meist erst festgestellt, wenn der Befall bereits groß ist (KLOTZ et al. 2008). Das liegt zum einen an ihrer geringen Körpergröße, aber auch an dem für Ameisen typischen Verhalten, sich vorwiegend an Ritzen und Ecken entlang zu bewegen (KLOTZ et al. 2008, HÖLLDOBLER und WILSON 2013).

Zur Bekämpfung von Ameisen gibt es IPM-Strategien, die im ersten Schritt auf Inspektion und Identifikation der Schädlinge setzen und ein umfassendes Monitoring während und nach der erfolgten Behandlung verlangen (RUST und SU 2012). Zur Bekämpfung von Ameisen, die in Gebäuden nisten, werden vorwiegend Fraßköder eingesetzt. Kontaktinsektizide mit sofortiger Wirkung werden selten angewandt, da durch sie nur ein geringer Teil eines Ameisenvolkes getötet werden kann. Die Teile des Volkes, die im Nest verbleiben, wie Königinnen und Brut sowie Arbeiterinnen, die nicht über die insektizidbehandelte Fläche laufen, werden nicht getötet und damit wird nur die Größe des Volkes minimiert, eine Tilgung und langfristige Bekämpfung ist so aber nicht möglich. Als Spray ausgebrachte Kontaktinsektizide mit verzögerter Wirkung können hingegen, aufgebracht an viel belauften Stellen, zusätzlich zu Fraßködern sinnvoll sein, da der Wirkstoff auf der Körperoberfläche ins Nest getragen wird, wo er Nestgenossinnen kontaminiert (OI et al. 1996, BUCZKOWSKI et al. 2005). Besonders häufig werden Fraßköder eingesetzt, die durch die Arbeiterinnen durch Trophallaxis auch an andere Arbeiterinnen, Brut und Königinnen verteilt werden. Die in den Ködern enthaltenen Wirkstoffe müssen eine verzögerte Wirkung haben (WILLIAMS und VAIL 1994, RUST et al. 2004), damit die Rekrutierung weiterer Arbeiterinnen zum Fraßköder nicht unterbrochen wird. Der Wirkstoff muss aber nicht nur verzögert, sondern auch dann ausreichend wirken, wenn er stark verdünnt ist. Durch Trophallaxis werden von einer futterbringenden Arbeiterin der argentinischen Ameise *Linepithema humile* bis zu 156 weitere Arbeiterinnen innerhalb von 48 h mit Nahrung versorgt, da die Arbeiterin zwischen vier und zwölf Arbeiterinnen füttert, welche die Nahrung wiederum an vier bis zwölf Ameisen weitergeben (MARKIN 1970). So kann durch einen gut wirkenden Köder eine Vielzahl an Ameisen eines Volkes durch den Eintrag einer Sammlerin getötet werden.

Befälle mit der Bettwanze *Cimex lectularius* nehmen weltweit in Industrieländern in Gemeinschaftseinrichtungen und privaten Wohnräumen seit etwa 20 Jahren wieder verstärkt zu (HWANG et al. 2005, LEE et al. 2008, LEVY BENCHETON et al. 2011). Gegen Bettwanzen werden vorwiegend Kontaktinsektizide eingesetzt. Diese werden aber häufig als problematisch für die menschliche Gesundheit angesehen (LANDRIGAN et al. 1999, GILDEN et al. 2010) und Betroffene lehnen ihren Einsatz teilweise ab. Zusätzlich sorgt die Ausbildung von Resistenzen bei Bettwanzen gegen die vorhandenen Wirkstoffe für den Bedarf an alternativen Kontrollmethoden (HAYNES und POTTER 2012). Alternativen zur chemischen Bekämpfung von Bettwanzen sind u. a. Wärmebehandlungen, die immer häufiger vorgenommen werden (HAYNES und POTTER 2012).

Das generelle Interesse an der Entwicklung von alternativen Behandlungsstrategien und der Einsatz von biologischen Kontrollmethoden von Schädlingen steigt zudem zunehmend (LEWIS et al. 1997, PEREIRA und STIMAC 1997, ISMAN 2000, RADCLIFFE et al. 2009, ISHAAYA et al. 2012). Auch die Prävention von Schädlingsbefällen gewinnt für den privaten Anwender an Bedeutung. So werden gegen Bettwanzen Produkte wie beispielsweise mit Permethrin imprägnierte Materialien und andere Mittel dieser Art zum Schutz vor der Mitnahme von Bettwanzen im Gepäck z. B. bei Reisen angeboten. Gegen Ameisen, die bei ihrer Futtersuche ins Haus eindringen, wenden private Anwender auch gerne Hausmittel an, so sollen z. B. Backpulver oder Salz Ameisen repellieren.

Zur Schädlingsbekämpfung sind Repellentien nicht geeignet. Bei einem Befall mit Gesundheitsschädlingen müssen Insektizide oder wirksame biozidfreie Verfahren zum Einsatz kommen, damit eine möglichst schnelle Tilgung erreicht wird. Repellentien können möglicherweise einen Befall mit Schädlingen vermeiden und daher als Präventionsmaßnahme angewendet werden. Bei einem schon vorhandenen Befall können auch sensible Bereiche zusätzlich mit Repellentien geschützt werden.

1.2 Wirksamkeitsprüfungen

1.2.1 Fraßköder und Monitoringsysteme für Schaben

In dem Dokument „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B+C)” (ECHA 2017) gibt es keine konkreten Vorgaben zu Schabenfraßköderprüfungen, es wird jedoch u. a. auf das OECD „Guidance Document on Assays for Testing the Efficacy of Baits against Cockroaches“ verwiesen (OECD 2013). Die Grundlage für dieses Dokument ist

die Prüfrichtlinie für die Wirksamkeitsprüfung nach § 18 des Infektionsschutzgesetzes (IfSG) im UBA (UMWELTBUNDESAMT 2001).

Die in dem OECD Guidance Document genannten Testsysteme (Tab. 1) sind Vorschläge für die Hersteller. Auch das Testsystem aus der UBA-Prüfrichtlinie, bestehend aus 2 Kästen (eine Versteckbox und eine Futterbox) wird in die Vorschläge eingeschlossen. 2-Kastensysteme ermöglichen es, auf einer kleineren Grundfläche im Labor eine ebenso große Lauffläche wie in großen 1-Kastensystemen für die Testtiere bereitzustellen. In den 2-Kastensystemen wie im 1-Kastensystem wird zwischen Verstecken und Futter die maximale Distanz vorgegeben, d. h. jeweils Standorte an den entgegengesetzten Enden der Systeme. Testdesigns können als Wahl- oder Zwangsversuch gestaltet werden. In Zwangsversuchen wird den Zielorganismen keine ungiftige alternative Futterquelle zur Verfügung gestellt. Mit dieser Art eines Versuchs kann festgestellt werden, ob der Köder eine attraktive oder repellierende Wirkung hat, aber auch ob der Anteil des Wirkstoffs ausreichend groß ist, um die Tiere zu töten. In Wahlversuchen wird den Zieltieren eine alternative nicht-toxische Futterquelle angeboten und so kann im Test gezeigt werden, wie attraktiv der Köder gegen alternatives Futter ist. Die US-amerikanische Umweltbehörde Environmental Protection Agency (EPA) hat ebenfalls einen Leitfaden für die Wirksamkeitsprüfung von Schabenködern herausgegeben: „Product Performance Test Guidelines OPPTS 810.3500 Premises Treatments“ (EPA 1998). Die Testarena besteht aus einer Box, die optisch auf der Längsseite mit einem Strich geteilt ist, so dass zwei gleich große Kompartimente zu erkennen sind. Beide Teile sollen mit je einem Versteck und einer Wassertränke ausgestattet werden. Auf einer Seite wird der Köder und auf der anderen Seite, als nicht-toxische Alternative, Hundefutter angeboten. Die verfügbaren Leitfäden (Tab. 1) fordern Tierfutter als Alternative zu den zu testenden Ködern, die Dauer der Versuche ist gleich. Die Anzahl der Testorganismen je Replikat ist ebenfalls ähnlich. Unterschiede gibt es bei den Abständen zwischen Verstecken und Ködern bzw. Futter und auch die Zeiten der Mortalitätskontrollen variieren.

Tab. 1: Vorgaben und Empfehlungen zu Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern gegen Schaben. A – Adulte, J – Juvenile, WV – Wahlversuch, ZV - Zwangsversuch

	OECD	UBA	EPA
Anzahl, Form der Kästen	1, quadratisch oder rechteckig 2, rechteckig, mit Röhre verbunden 2, rund, mit Röhre verbunden	2, rechteckig, mit Röhre verbunden	1, rechteckig
Lauffläche	mindestens 1 m ²	1,12 m ²	1,11 m ²
Alternativfutter	Ratten-, Katzen-, Hundefutter	Hundefutter	Hundefutter
Geforderte Replikatanzahl	3 bis 5 + 2 Kontrollen	Keine Angabe	3 + 1 Kontrolle
Anzahl der Versuchstiere	A: 50 (Geschlechterverhältnis 1:1)		50 A oder J (letztes Stadiums)
	A + J (spätes Stadium) gemischt: - 40 A + 40 J (<i>B. germanica</i> , <i>S. longipalpa</i>) - 30 A + 30 J (<i>P. americana</i>), - 30 A + 40 A (<i>B. orientalis</i>)		
	J (frühes Stadium): - 100 (<i>B. germanica</i> , <i>S. longipalpa</i>) - 80 (<i>B. orientalis</i>) bzw. - 50 (<i>P. americana</i>)		
Versuchsdauer	21 Tage + 7 Tage Nachbeobachtung		21 Tage
Mortalitätskontrollen	arbeitstäglich		Nach 1, 3, 5, 7, 10, 14 und 21 Tagen
Wirksamkeitskriterien	WV: 90 % Mortalität ZV: 95 % Mortalität	WV und ZV: 100 % Mortalität (für § 18 IfSG -Listung)	Keine Angabe
Dokument	Guidance Document on Assays for Testing the Efficacy of Baits against Cockroaches (OECD 2013)	Prüfrichtlinie zur Wirksamkeitsprüfung nach § 18 des Infektionsschutzgesetzes (IfSG) (UMWELTBUNDESAMT 2001)	Product Performance Test Guidelines OPPTS 810.3500 Premises Treatments (EPA 1998)

Darüber hinaus werden in der Literatur vergleichende Versuche mit Ködern beschrieben. In allen Tests wird Tierfutter als alternatives ungiftiges Futter genutzt. Die Anzahl der eingesetzten Tiere ist in den Studien sehr unterschiedlich, auch die Zusammensetzung der Versuchstierpopulation, die Versuchsdauer und –systeme variieren stark. WANG und BENNETT (2006c) testeten in einer Arena mit einer Grundfläche von 1 m x 1 m die Wirksamkeit von Noviflumuron und setzten 500 deutsche Schaben (250 Juvenile 2. und 3. Stadium, 125 Juvenile 4. und 5. Stadium, 65 Männchen und 60 Weibchen) ein. Die Verstecke waren in der Mitte der Arena

platziert und zusätzlich zum Rattenfutter wurden Erdnussöl und Traubengel angeboten. In einer Arena gleicher Größe wurden Versuche zum Vergleich von verschiedenen Ködern mit nur 24 Tieren (16 Juvenile 2. und 3. Stadium, 8 Adulte) jeweils deutscher und australischer Schaben durchgeführt (SÜSS et al. 2014). APPEL (2003) führte in einem 2-Kastensystem Köderversuche an 20 Männchen deutscher Schaben durch. In diesem System diente eine Box (dunkel) als Versteckbox und die andere Box war als Aktivitätsbox mit dem ungiftigen Futter und Wasser versehen. Die Köder wurden dabei in der Versteckbox platziert.

Für den Vertrieb von Monitoringsystemen sind Hersteller zu keiner Wirksamkeitsprüfung verpflichtet, sofern diese Produkte nicht unter das Biozidrecht fallen. Für die Tests zum Wirksamkeitsnachweis von Lockstoffen gibt es keine Vorgaben in den „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B+C)“. Bei der Prüfung auf Wirksamkeit wäre es sinnvoll, die Lockstoffe mit den Klebefallen, mit denen sie zusammen verwendet werden sollen, gemeinsam zu testen, möglichst in einer überwachten Simulation der realen Bedingungen. In den letzten Jahren wurden außerdem neue Verfahren zum Schädlingsmonitoring entwickelt, anhand derer Schädlinge digital erfasst werden. Eine Nachweispflicht für die Effektivität solcher Monitoringsysteme existiert ebenfalls nicht. Derartige Nachweise sind aber beispielsweise im Lebensmittelbereich im Rahmen der Anwendung von HACCP von Bedeutung.

1.2.2 Fraßköder für tropische Ameisen

In dem Dokument „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B+C)“ der Biozidverordnung werden nur wenige Vorgaben für die Hersteller zur Durchführung gemacht. In Ermangelung von nationalen oder internationalen Testrichtlinien gibt es keine genaueren standardisierten Spezifikationen für Wirksamkeitsversuche. Es werden keine Spezifikationen für die Testdauer oder die Art und Größe der Testarena festgelegt. Nur Empfehlungen zu einer Eingewöhnungszeit von einer Woche und eine mögliche Hungerperiode von vier Tagen vor Versuchsbeginn werden gegeben.

In Deutschland existiert eine Prüfrichtlinie für die Prüfung von Fraßköderprodukten gegen Pharaoameisen zur Listung nach § 18 des IfSG (UMWELTBUNDESAMT 1998). Die aktuell gültige Prüfrichtlinie sieht die Prüfung von Ködern in einem Mehrkastensystem vor, in dem die einzelnen Kompartimente des Prüfsystems über Laufröhren miteinander verbunden sind. Hierbei soll die Praxis nachgestellt werden, d. h. es bestehen ein Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsgefälle zwischen Nest- und Außenbereich, dazu lange Wege zwischen Nest und Nahrung und der zu prüfende Köder wird zwischen Nest und Nahrungsquelle positioniert. Die Eingewöhnungszeit

für das eingesetzte Ameisenvolk beträgt mindestens eine Woche und die Expositionsdauer 45 bis 50 Tage, dazu kommt eine Nachbeobachtungszeit von maximal 14 Tagen, in denen der Köder weiterhin angeboten wird. In Versuchen, in denen dieses Testsystem gegen ein kleineres 1-Kammersystem verglichen wurde, wurde festgestellt, dass die Größe des Testsystems in Verbindung mit der Positionierung des Köders einen Unterschied im Testergebnis hervorruft (KRÜGER et al. 2014). Das zeigt, dass genauere Standards im Testdesign helfen, vergleichbarere Ergebnisse für die zulassenden Behörden zu erhalten. Auch für die Hersteller von Fraßködern gegen Ameisen können diese Erkenntnisse in der Produktentwicklung von Vorteil sein.

1.2.3 Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen

Ein vorgegebenes Versuchsdesign für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen gibt es im Leitfaden „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B+C)” (ECHA 2017) nicht. Auch wird nicht, wie in anderen Fällen, auf andere internationale oder nationale Richtlinien für solche Tests verwiesen.

Es gibt keine Leitfäden, die für Wirksamkeitsprüfungen von Repellentien gegen Ameisen herangezogen werden können. In den USA wurde inzwischen von der EPA ein Dokument zur Prüfung von Bettwanzenmitteln herausgegeben, in dem in einem kurzen Abschnitt auch die Durchführung der Prüfung zur repellierenden Wirkung von Produkten auf dem amerikanischen Markt vorgegeben wird (EPA 2017). Hier werden ein Zwangsversuch und ein Wahlversuch für Sprays vorgegeben. In beiden Varianten soll die repellierende Wirkung des Mittels in Anwesenheit eines Menschen oder einer Simulation des Menschen mit Wärme und CO₂ überprüft werden. Für den Zwangsversuch werden fünf Replikate mit je zehn Bettwanzen vorgeschrieben. Zusätzliche Informationen, die das Testdesign oder den -verlauf präzisieren, gibt es für diesen nicht. Im Wahlversuch wird als Versuchsarena eine Adaption des „still-air olfactometer“ nach WEEKS et al. (2013) mit einer Lauffläche für Bettwanzen vorgeschlagen. In dieser Lauffläche befinden sich Aussparungen, an denen zwei durch Gaze getrennte Kammern die Geruchszonen darstellen. In einer der beiden Kammern wird das zu testende Mittel auf Filterpapier ausgebracht. Beide Geruchszonen, eine behandelt, die andere unbehandelt, können von den Bettwanzen, die durch die simulierte Anwesenheit eines Wirtes angelockt werden, angelaufen werden. Die Bewegungen der Bettwanzen, hin zu diesen Zonen oder davon weg, werden beobachtet. Als andere Variante wird ein Y-Rohr vorgeschlagen, so dass die Bettwanzen entweder über die Kontrollseite oder die Seite mit dem Repellent hin zum simulierten Wirt laufen können. Außerdem sollen Kontrollen ohne den Einsatz des Mittels durchgeführt werden. Hier

werden keine weiteren Vorgaben zu Versuchsdesign und auch nicht zur Anzahl der Tiere oder der Replikate gemacht.

1.3 Einflussfaktoren auf Wirksamkeitsprüfungen

Je nach Art und Anwendung des Biozidprodukts müssen unterschiedliche Prüfungen zur Wirksamkeit durchgeführt werden. So sind bei Fraßköderprüfungen andere Testdesigns anzuwenden als bei Kontaktinsektiziden, Attraktantien oder Repellentien. Grundsätzlich müssen aber bei der Wirksamkeitsprüfung aller Produktarten artspezifische Verhaltens- und Lebensweisen der Zieltiere berücksichtigt werden. Besonders bei eusozialen Insekten wie Ameisen oder in sozialen Gemeinschaften lebenden Insekten wie Schaben spielen Interaktionen zwischen den Individuen eine große Rolle. So sind Pheromone von großer Bedeutung in der Kommunikation, u. a. bei der Informationsweitergabe zu Nahrungsquellen. Das muss besonders bei Fraßköderprüfungen, aber auch Prüfungen zu Attraktantien, die auf Pheromonbasis anlocken, berücksichtigt werden, z. B. bei der Dauer einer Eingewöhnungszeit vor Versuchsbeginn.

In manchen Fällen werden aus Gründen der Praktikabilität anstatt der eigentlichen Zielorganismen Stellvertreterarten eingesetzt, die dann für eine Vielzahl von Arten stehen, obwohl nicht unbedingt davon ausgegangen werden kann, dass alle Wirkstoffe bzw. Produkte immer das gleiche Wirkspektrum bei verwandten Arten haben, so z. B. bei Biozidprodukten gegen Ameisen. Diese müssen, um für Ameisen zugelassen zu werden, in Wirksamkeitsprüfungen mit *Lasius niger* getestet werden. Um für tropische Ameisen zugelassen zu werden, werden Tests mit *M. pharaonis* und *L. humile* verlangt. Die Anwendung eines Hydramethylnonköders bei den drei Ameisenarten *M. pharaonis*, *T. melanocephalum* und *L. humile* zeigte aber unterschiedliche Erfolgsraten bei der Reduktion von Arbeiterinnen, Brut und Königinnen dieser Ameisenarten, wohingegen mit einem Borsäureköder vergleichbare Ergebnisse erzielt wurden (KLOTZ et al. 1996). Unterschiedliche Ergebnisse zur Wirkdauer der gleichen Formulierung eines Köders beruhen u. a. auf Unterschieden im Testverfahren, wie z. B. in verschiedenen Versuchen mit *L. humile* und einem Borsäureköder, in denen durch die Gabe von Alternativfutter der Anteil der toten Arbeiterinnen innerhalb der gleichen Zeit geringer war (HOOPER-BUI und RUST 2000, RUST et al. 2004). Außerdem kann die Zusammensetzung der Testpopulation hinsichtlich der eingesetzten Stadien und der Anzahl sowie das Alter der jeweiligen Tiere das Versuchsergebnis beeinflussen. Beispielsweise waren unbegattete weibliche *B. germanica* weniger empfindlich für verschiedene topikal aufgetragene Insektizide als Männchen und begattete Weibchen, verschiedene Juvenilstadien unterschiedlich sensitiv (DEWEY 1942, ABD-ELGHAFAR et al. 1990) und selbst für das Alter der jeweiligen Juvenilen wurde ein Einfluss auf

die Empfindlichkeit nachgewiesen (VALLES et al. 1996). Verschiedene Ergebnisse mit ein und derselben Tierart und dem gleichen Mittel können u. a. dadurch zustande kommen, dass Testdesigns unterschiedliche Situationen für die Tiere simulieren, wie Versuche mit *B. germanica* und unterschiedlichen Insektiziden zeigten (SCHNEIDER und BENNETT 1985).

In Fraßköderprüfungen kann die Attraktivität des Köders durch mehrere Faktoren beeinflusst werden. Ein besonders unattraktives Alternativfutter kann, weil nicht auf die Bedürfnisse der Zielorganismen abgestimmt, die Aufnahme des Köders erhöhen. DURIER und RIVAULT (2001) haben nachgewiesen, dass die über Tage hinweg gegebene einseitige Nahrung *B. germanica* beeinflusst, mehr nach alternativen neuen Nahrungsquellen zu suchen. Werden in Fraßköderprüfungen den Schaben also während der Eingewöhnungszeit nur Futterquellen angeboten, welche nicht auf deren Nahrungsbedürfnisse abgestimmt sind, so ist die Annahme eines neu ins Testsystem gegebenen Köders deutlich wahrscheinlicher und ein eigentlich unattraktiver Köder wird eher angenommen. Auch Pharaoameisen ändern nach Phasen mit einseitiger Nahrungsquelle ihre Ansprüche (EDWARDS und ABRAHAM 1990). Trotz der omnivoren Lebensweise von Ameisen, bevorzugen unterschiedliche Arten oft anderes Futter, so z. B. *M. pharaonis* Honig, wohingegen *T. melanocephalum* dem Honig Erdnussbutter vorzieht (LEE 2002). Andere Untersuchungen zeigten dagegen, dass *M. pharaonis* gleichermaßen kohlenhydrat- und proteinhaltige Nahrungsquellen wählt (EDWARDS und ABRAHAM 1990), während wieder andere eine ausgeglichene Wahl von protein- und ölhaltigen Ressourcen nachwiesen (EOW und LEE 2007). Diese Präferenzen können jedoch auch auf Grund des Entwicklungsstatus des Nests innerhalb einer Art variieren (LEE 2002), was für Pharaoameisen allerdings als nicht zutreffend gezeigt wurde (EOW und LEE 2007). Die Annahme eines Köders kann auch durch den Fütterungszustand der Zielorganismen vor Versuchsbeginn beeinflusst werden: Bei Pharaoameisen wird die Köderaufnahme durch Hungern erhöht (CHONG et al. 2002). Die Größe des Testsystems sowie die dichtere Positionierung des Köders am Nest als das Alternativfutter kann hier ebenfalls das Ergebnis einer Köderprüfung beeinflussen und die Wirkung des Köders beschleunigen (KRÜGER et al. 2014). Für deutsche Schaben wurde gezeigt, dass sie einen Köder dem alternativen Futter bevorzugen, wenn sich der Köder dichter an ihrem Versteck befindet (DURIER und RIVAULT 2002). Als weitere beeinflussende Faktoren können die Anzahl von Ködern bzw. das Verhältnis von Ködern zu alternativen Futterquellen, wirken. Das zeigten Feldstudien, in denen die gleiche Menge Köder aufgeteilt an 12 bzw. 50 verschiedenen Stellen appliziert wurde. Eine schnellere Tilgung wurde in den Wohnungen mit den 50 Köderstellen erreicht (APPEL und BENSON 1995).

Vorstellbare Einsatzgebiete für Repellentien wären Gegenstände oder Bereiche vor einem Befall oder den Menschen direkt vor Blutsaugern wie der Bettwanze zu schützen. Mögliche Einflüsse auf das Ergebnis bei Tests mit Repellentien sind die Dauer der Eingewöhnungszeit sowie der Prüfung, der Fütterungszustand der Testtiere, alternative Wege zur Nahrungsquelle, die nicht über die mit dem Repellent behandelten Fläche führen, die eingesetzte Population und ob die Testsituation die Praxis simuliert.

Mögliche Einflüsse bei Tests von Attraktantien können u. a. sein, ob sie mit oder ohne eine in der Praxis verwendete Klebefläche getestet werden. So ist es möglich, dass der Lockstoff auf Klebefallen weniger attraktiv wirkt, da die Klebefläche ebenfalls einen Geruch abgibt und die Zielorganismen daher nicht auf die Klebefläche gehen. Auch bei einer Bewegung zum Lockstoff hin kann der initiale Kontakt mit dem Klebstoff repellierend wirken. So wurde gezeigt, dass die Lockstoffe (in diesem Fall verschiedene auf dem US-Markt erhältliche Schabenlockstoffe sowie Futterlockstoffe und Pheromone) unabhängig von der Falle attraktiv auf deutsche Schaben wirkten, im Praxistest in Verbindung mit der Falle jedoch wenig effektiv bzw. genauso effektiv wie die Falle ohne Lockstoffe waren (NALYANYA und SCHAL 2001).

1.4 Schaben

Von den zurzeit beschriebenen 4600 Schabenarten (BECCALONI 2014), gelten nur wenige Arten, wie zum Beispiel die deutsche Schabe *B. germanica* (Abb. 1), die amerikanische Schabe *Periplaneta americana* (Abb. 2) und die orientalische Schabe *Blatta orientalis* (Abb. 3) als Gesundheitsschädlinge für den Menschen. Sie wurden durch den Menschen weltweit verschleppt und haben sich an menschliche Siedlungsbereiche angepasst. Schaben sind mechanische Vektoren und können verschiedene Krankheitserreger wie Bakterien (z. B. *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Streptococcus aureus* etc.), Pilze, Helminthen, Protozoen und Viren auf der Körperoberfläche tragen und verschleppen (ASH und GREENBERG 1980, PAI et al. 2003a, PAI et al. 2003b). Auch multiresistente Bakterien wurden dabei nachgewiesen (FATHPOUR et al. 2003, PAI et al. 2005, PAI 2013). Außerdem kann besonders bei stärkeren Befällen ihr Kot Allergien und Asthma auslösen (HUSS et al. 2001, GORE und SCHAL 2005). In Privathaushalten wird die Wahrscheinlichkeit eines Befalls mit Schaben vor allem in großen Wohnhäusern mit geringen Hygienestandards und unzureichenden sanitären Anlagen, schlechten baulichen Zuständen der Gebäude, offenen Müllablageplätzen, Versorgungsschächten und vielen dort auf engem Raum lebenden Menschen größer (SCHAL 1988).

Schaben sind hemimetabole Insekten und gehören zur Ordnung der Blattodea. Weibliche Schaben tragen Ootheken, in denen sich je nach Art eine unterschiedliche Anzahl befruchteter Eier befindet. Schaben haben keine einheitliche Anzahl von Häutungen, selbst innerhalb einer Art variiert dies je nach Klimabedingen und Nahrungsangebot (COCHRAN 1999).

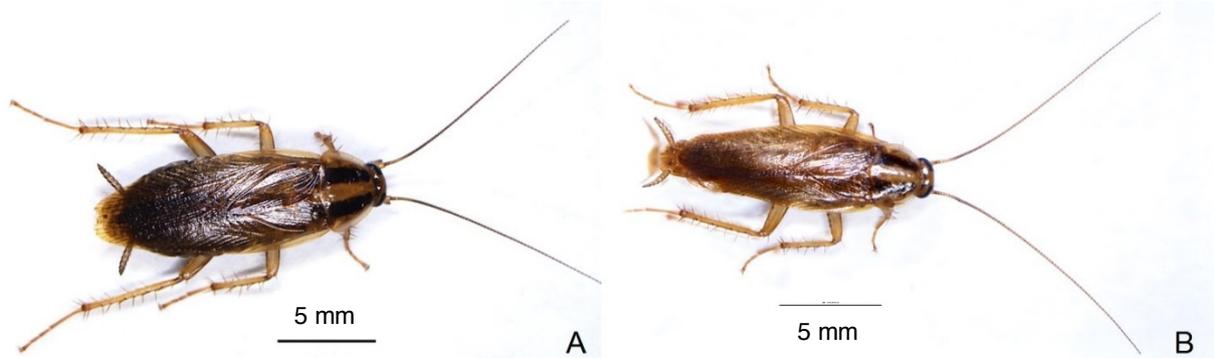


Abb. 1: *Blattella germanica*. **A** Weibchen. **B** Männchen.

Mit dem Menschen assoziierte Schaben leben in sozialen Gemeinschaften stadienübergreifend zusammen, dies sind hauptsächlich *B. germanica*, *P. americana* und *B. orientalis*. Typisch für diese Schaben ist ihr ausgeprägtes Aggregationsverhalten. Dieses Verhalten wird durch speziell abgegebene und besonders auf Artgenossen sehr attraktiv wirkende Aggregationspheromone (durch die Kutikula ausgeschiedene Kohlenwasserstoffe) hervorgerufen, wie zum Beispiel bei *P. americana* (BELL et al. 1972) und *B. germanica* (RIVAULT und CLOAREC 1998). Aggregation ist ein sehr ausgeprägtes Verhalten bei vielen Schabenarten, so wurde für *B. germanica* gezeigt, dass bei mehreren sich bietenden Verstecken Tiere, unabhängig von hoher Dichte im schon bestehenden Versteck, kein neues aufsuchen (AME et al. 2004). Es werden Verstecke mit Tieren der eigenen Population bevorzugt geteilt, aber ein Versteck wird auch mit Tieren einer anderen Population gemeinsam genutzt und einem zusätzlichen Versteck bevorzugt (AME et al. 2004). Der Vorteil gemeinsamer Verstecke liegt unter anderem in einem geringeren Wasserverlust, so zeigten Versuche mit Juvenilen im ersten Stadium von *B. germanica*, dass eine geringere Luftfeuchtigkeit zu höherer Dichte zwischen den Tieren führt (DAMBACH und GOEHLEN 1999). Aggregation ist auch ein Vorteil in der Entwicklung der juvenilen *B. germanica*, da taktile Stimulation eine schnellere Entwicklung der juvenilen Tiere fördert (LIHOREAU und RIVAULT 2008). Schaben verteilen ihre Fäzes in ihren Verstecken. Darin enthalten sind u. a. Aggregationspheromone, wie bei *B. germanica* nachgewiesen werden konnte (STEJSKAL 1997). Fäzes sind besonders für frisch geschlüpfte Schaben von Bedeutung: Jungtiere von *B. germanica* und *P. americana* im ersten Juvenilstadium können durch Koprophagie in den Verstecken die eigene Futtersuche stark reduzieren und dadurch ihre Überlebenschancen erhöhen, außerdem

werden Darmsymbionten weitergegeben (KOPANIC et al. 2001, BELL et al. 2007). In späteren Stadien ist Koprophagie nur noch von untergeordneter Bedeutung.



Abb. 2: *Periplaneta americana*.

Deutsche Schaben können ihre eigenen Verwandten, die innerhalb der gleichen oder einer anderen Population leben, von nichtverwandten Tieren mit Hilfe von Kohlenwasserstoffmustern, die über die Kutikula abgegeben werden, unterscheiden (kin recognition) und so zum Beispiel eine Paarung mit engen Verwandten ausschließen (LIHOREAU et al. 2007, LIHOREAU und RIVAULT 2009).

In sozialen Gemeinschaften lebende Schaben nutzen nicht nur gemeinsame Verstecke, sie legen auch Spuren zu Nahrungsquellen, die Artgenossen nutzen, um attraktives Futter zu finden. Hungerige *B. germanica* bevorzugen die Gesellschaft von Artgenossen, die kürzlich Nahrung aufgenommen haben gegenüber ebenfalls hungrigen Artgenossen (LIHOREAU und RIVAULT 2011). Die olfaktorischen Signale, die von frisch gefütterten *B. germanica* abgegeben wurden, waren attraktiver für die hungrigen Tiere als olfaktorische Signale von ungefügterten Artgenossen, die mit Futterduftstoffen gemeinsam angeboten wurden (LIHOREAU und RIVAULT 2011). Auch aus Fäzes extrahierte Duftstoffe lösen die Verfolgung von gelegten Spuren bei *P. americana* und *B. germanica* aus (BELL et al. 1973, MILLER et al. 2000), so dass die Nutzung attraktiver Nahrungsquellen optimiert wird. Kannibalismus bei sozial lebenden Schaben (u. a. *B. germanica* und *P. americana*) ist abhängig von Nahrungsangebot und Populationsdichte. Bei einem Mangel an Futter werden tote Artgenossen attraktiver, auch frisch gehäutete oder

geschwächte Schaben werden eher gefressen (BELL et al. 2007). Ansonsten wirken alternative Futterquellen auf *B. germanica* deutlich attraktiver als tote Artgenossen (APPEL et al. 2008).



Abb. 3: *Blatta orientalis*. **A** Männchen. **B** Weibchen.

Schaben orientieren sich nicht nur olfaktorisch, sondern auch visuell und mechanosensorisch. So spielen Landmarken für *B. germanica* für das Wiederfinden von Nahrungsquellen und Verstecken eine große Rolle, wobei olfaktorische Reize stärker gewichtet werden (DURIER und RIVAULT 2000a). Bei *Blaberus discoidalis* wurde gezeigt, dass Mechanosensoren auf den Antennen besonders bei Verhaltensweisen wie Klettern oder unter Hindernissen hindurchkriechen von Bedeutung sind (HARLEY et al. 2009).

1.5 Ameisen

Tapinoma melanocephalum (Abb. 4) und *M. pharaonis* (Abb. 5) sind Gesundheitsschädlinge, da sie potentielle mechanische Vektoren für Bakterien wie u. a. *Salmonella* sp., *Klebsiella* sp., *Staphylococcus* sp., *Bacillus* sp. oder *E. coli* (BEATSON 1972, ZARZUELA et al. 2004, LIMA et al. 2013), aber auch für verschiedene Pilze (ZARZUELA et al. 2007) sind. Es können u. a. durch Belaufen menschlicher Nahrungsressourcen Krankheitserreger übertragen werden. Vor allem in Krankenhäusern können Befälle mit *M. pharaonis* zu erheblichen hygienischen Problemen führen. So wurden Pharaoameisen unter Verbänden von Patienten gefunden, außerdem in sterilen Räumen und sterilem Operationsbesteck, wodurch eine Übertragung der anhaftenden Pathogene möglich ist (CARTWRIGHT und CLIFFORD 1973, EDWARDS und BAKER 1981). Die Schwarzkopfameise ist in tropischen Krankenhäusern die am häufigsten gefundene Ameisenart und trägt im Vergleich zu anderen Arten die meisten pathogenen Bakterien mit sich (ZARZUELA et al. 2004). Auch multiresistente Bakterien wurden auf Pharaoameisen und Schwarzkopfameisen nachgewiesen (ZARZUELA et al. 2004, MOREIRA et al. 2005). Nachweise von Mikroorganismen auf verschiedenen Ameisenarten, u. a. *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*, die in Restaurants oder privaten Küchen gesammelt wurden, gab es ebenfalls (LEE 2002). Befälle mit

diesen Ameisen müssen daher vor allem in sensiblen Bereichen schnellstmöglich bekämpft werden, um Gesundheitsrisiken für die Bewohner zu vermeiden. Pharaoameisen sind zusätzlich als Ursache von Allergien und Asthma bekannt (KIM et al. 2005, KIM et al. 2007).



Abb. 4: *Tapinoma melanocephalum*. **A** Arbeiterinnen (a) mit Puppen (b). **B** Arbeiterin (a) mit Königin (c).

Ameisen sind eusoziale Insekten der Ordnung der Hymenoptera, von denen inzwischen etwa 14000 Arten beschrieben wurden (HÖLLDOBLER und WILSON 2013). Ihre Entwicklung zum adulten Tier verläuft holometabol. Ameisenstaaten bestehen aus mehreren hundert bis hin zu Millionen von Tieren, welche in Kasten organisiert sind (HÖLLDOBLER und WILSON 2013). Dabei gibt es mindestens eine Königin, die als weibliches Geschlechtstier dient, sowie die männlichen Geschlechtstiere. Letztere sterben nach der Paarung. Den Großteil des Volkes bilden die Arbeiterinnen. Die Erkennung von Kolonienmitgliedern erfolgt anhand eines kolonie-spezifischen kutikulären Kohlenwasserstoffprofils, das von den Ameisen selbst synthetisiert und in der Postpharyngealdrüse gespeichert wird (HÖLLDOBLER und WILSON 2013). Durch das Putzen des eigenen Körpers oder anderer Nestgenossinnen wird dieser Duft gleichmäßig auf allen Ameisen verteilt (HÖLLDOBLER und WILSON 2013). Viele andere Verhaltensweisen von Ameisen werden durch Pheromone ausgelöst, so z. B. das Anlocken, Alarmieren oder Rekrutieren der Nestgenossinnen, aber auch das Erkennen einzelner Kasten oder das Unterdrücken der Heranreifung von Arbeiterinnen zu Geschlechtstieren durch die Königin (HÖLLDOBLER und WILSON 1990).



Abb. 5: *Monomorium pharaonis*. **A** Königinnen (a) mit Arbeiterinnen (b) und Brut (c). **B** Königin und Arbeiterin.

Bei Verfügbarkeit einer guten Nahrungsquelle werden innerhalb kurzer Zeit viele Arbeiterinnen rekrutiert und es entstehen Ameisenstraßen. Arbeiterinnen kennzeichnen attraktive Nahrungsquellen mit Pheromonen und legen Spurpheromone, die in der Dufourschen Drüse produziert werden, von dort bis zum Nest. Im Nest werden z. B. bei *Camponotus socius* oder *Formica fusca* durch ein „Wackel“-verhalten andere Arbeiterinnen animiert, diese Nahrungsquelle aufzusuchen (MÖGLICH und HÖLLDOBLER 1975, HÖLLDOBLER 1998, HÖLLDOBLER und WILSON 2013). Bei *Solenopsis saevissima* dagegen werden weitere Arbeiterinnen nur durch gelegte Pheromonspuren zur Nahrungsquelle rekrutiert, es muss kein Kontakt zwischen der Arbeiterin, die die Nahrungsquelle gefunden hat und anderen Arbeiterinnen stattfinden (WILSON 1962). Die Arbeiterin verstärkt ihre Spur durch mehrmaliges Hin- und Herlaufen. Das gleiche Verhalten wurde auch für *Monomorium subopacum*, *M. venustum*, *Tapinoma israelis* und *T. simothi* gezeigt (SZLEP und JAKOBI 1967). Jedoch ist bei diesen Arten, wie auch bei *M. pharaonis* die reine Pheromonspur nicht für eine Massenrekrutierung ausreichend und nur Arbeiterinnen, die bereits an dieser Nahrungsquelle waren, kommen entlang der gelegten Spuren dorthin (SZLEP und JAKOBI 1967). Die erfolgreichen Arbeiterinnen aktivieren im Nest weitere Arbeiterinnen, die dadurch der gelegten Spur folgen und auf ihrem Rückweg zum Nest die Spur durch eigene Duftspuren verstärken sowie im Nest die Rekrutierung weiterer Arbeiterinnen durch direkten Kontakt vornehmen (SUDD 1960, SZLEP und JAKOBI 1967). Der Rückweg von einer attraktiven Nahrungsquelle zum Nest wird durch die Arbeiterin außerdem wesentlich direkter und damit effizienter gewählt als der Hinweg, der durch die Suche weniger orientiert ist (HÖLLDOBLER und WILSON 2013), dieses Verhalten wurde auch für *M. pharaonis* gezeigt (SUDD 1960).

Arbeiterinnen von *M. pharaonis* bilden mit ihren Pheromonspuren Netzwerke, die auf Grund ihrer Winkel an den Verbindungsstellen Arbeiterinnen Informationen über die Richtung zum Nest bzw. Futter geben (JACKSON et al. 2004), zusätzlich werden nicht lohnenswerte Wege mit *no-entry signals* gekennzeichnet (ROBINSON et al. 2008).

In Deutschland und in großen Teilen Europas sind die meisten Ameisen in Häusern Lästlinge. Sie haben ihr Nest außerhalb von Gebäuden und kommen meist nur im Frühling und im frühen Sommer zur Nahrungssuche in die Häuser, wie z. B. die in Abb. 6 dargestellte schwarze Wegameise *Lasius niger* (KLOTZ et al. 2008). Für diese Ameisenart konnte bisher keine Funktion als mechanischer Vektor und damit als Gesundheitsschädling nachgewiesen werden.



Abb. 6: *Lasius niger* Arbeiterin.

Nach Deutschland eingeschleppte Arten wie die Pharaoameise oder auch die Schwarzkopfameise, kommen ursprünglich aus tropischen Regionen und legen ihre Nester in gemäßigten Breiten innerhalb von Gebäuden in verschiedensten Strukturen, wie Ritzen, Spalten oder auch Blumentöpfen oder elektrischen Geräten an (SCHEURER und LIEBIG 1998, KLOTZ et al. 2008). Diese beiden Arten sind weltweit verbreitet (WETTERER 2009, 2010), sie werden zu den „tramp ants“ gezählt, die verschiedene Anpassungen an eine sehr mobile Lebensweise haben. Dazu zählt u. a. der geringe Anspruch an den Nistort, der bei Störungen oder der Entdeckung einer weiter entfernten, attraktiven Nahrungsquelle, durch die gesamte oder nur Teile der Kolonie schnell verlassen und ersetzt werden kann (SMALLWOOD 1982, MCGLYNN 1999, KLOTZ et al. 2008, HÖLLDOBLER und WILSON 2013). Ein weiterer Grund für ihre weltweite Verbreitung ist ihre geringe Größe, wodurch sie in der Lage sind, in kleinsten Gegenständen zu nisten und dadurch unbemerkt durch den Menschen transportiert zu werden. Außerdem werden bei einem Befall die Arbeiterinnen durch ihre geringe Größe bei der Nahrungssuche meist erst spät

bemerkt, so dass dann der Befall oft schon sehr groß ist (SCHEURER und LIEBIG 1998, KLOTZ et al. 2008). Auch ihre polygyne Lebensweise trägt zur Verbreitung bei, denn so können Teile der Kolonie schnell abgespalten werden. Durch die mit der fehlenden Nestgenossinnerkennung (*nest-mate-recognition*) einhergehende unikoloniale Lebensweise können die Ameisen auch verschiedene Kolonien zusammenführen. Koloniegründungen von Pharaoameisen und Schwarzkopfameisen erfolgen vor allem durch Nestteilung, so können begattete Königinnen mit Arbeiterinnen und Brut ein neues Nest gründen (PETERSEN und BUSCHINGER 1971, KLOTZ et al. 2008). Für eine Koloniegründung reicht bei Pharaoameisen sogar der Auszug von Arbeiterinnen mit Brut eines bestehenden Nestes, die Entwicklung von Geschlechtstieren wird dann von den Arbeiterinnen induziert (PEACOCK et al. 1955). Diese Anpassungen helfen den Ameisen auf Nahrungsangebot und Nistmöglichkeiten flexibel zu reagieren, so auch, dass die Begattung der Königinnen im Nest stattfindet, wodurch keine Hochzeitsflüge nötig sind. Nahrungssuchende Arbeiterinnen von Pharaoameisen wurden bis zu 45 m entfernt von ihren Nestern beobachtet, um gefundene attraktive Nahrungsquellen besser ausschöpfen zu können, werden Teile eines Volkes in die Nähe dieser Nahrungsquellen verlagert und so Neuinfestationen oder Wiederinfestationen nach Behandlungen ausgelöst (WILLIAMS und VAIL 1994).

1.6 Bettwanzen

Bettwanzen (Abb. 7) sind keine Gesundheitsschädlinge, bisher gibt es keine Nachweise, dass sie als natürliche Vektoren Krankheitserreger übertragen können (BURTON 1963, REINHARDT und SIVA-JOTHY 2007, DELAUNAY et al. 2011). Die durch sie verursachten Stiche können allerdings Hautreaktionen auslösen, die unterschiedlich stark ausgeprägt sein können. Manche Menschen zeigen keine Reaktionen, bei anderen können die Reaktionen bis zu starken Schwellungen und Hautausschlägen reichen (DOGGETT et al. 2012). Der Juckreiz an den Stichstellen führt zum Kratzen, wodurch auch Sekundärinfektionen und weitere Hautreaktionen die Folge sein können (DOGGETT et al. 2012). Außerdem treten psychische Beschwerden, wie Schlafstörungen, Depressionen oder Angstzustände bei Betroffenen von tatsächlichen Bettwanzeninfestationen oder Personen mit der Angst vor einem Befall, häufig auf (DOGGETT et al. 2012, RIEDER et al. 2012, SUSSER et al. 2012).



Abb. 7: *Cimex lectularius*. Männchen (links) und Weibchen (rechts).

Die Bettwanze ist ein Vertreter der Cimicidae, die zu den Heteroptera gehören. Diese haben eine hemimetabole Entwicklung. Bettwanzen sind obligat hämatophage Ektoparasiten, die ihren Wirt temporär zum Blutsaugen aufsuchen. Ihre Wirte sind Menschen, in selteneren Fällen werden aber auch Haustiere, Vögel oder Fledermäuse zur Blutmahlzeit aufgesucht (REINHARDT und SIVA-JOTHY 2007, LUCIUS und LOOS-FRANK 2008). Die Wirtssuche und Blutaufnahme findet vorwiegend nachts statt, wenn der Wirt schläft (ROMERO et al. 2010). Um ihren Wirt zu finden, nutzen Bettwanzen die Körperwärme und das CO₂ in der Ausatemluft des Wirtes, die sie mit ihren Chemo- und Thermorezeptoren wahrnehmen können, zusätzlich werden sie durch Kairomone, die vom Wirt abgegeben werden, angelockt (MARX 1955, ANDERSON et al. 2002, HARRACA et al. 2012, AAK et al. 2014). Für die Eiablage und die Häutung von einem Entwicklungsstadium zum nächsten benötigen Bettwanzen Blut (USINGER 1966). Je nach Stadium, Umgebungstemperatur und relativer Luftfeuchte sind Hungerphasen von mehr als einem halben Jahr möglich (KEMPER 1930). Bei der Befruchtung der Weibchen durchbohrt das Männchen die Kutikula des Weibchens an einer ventralen Einbuchtung mit seinem sklerotisierten Penis und injiziert seine Spermien in die unter der Einbuchtung liegende Spermalege (traumatische Insemination), wo das Sperma bis zur Befruchtung der Eizellen gespeichert wird (REINHARDT und SIVA-JOTHY 2007, LUCIUS und LOOS-FRANK 2008). Bettwanzen haben ein starkes Aggregationsverhalten. Sie leben stadienübergreifend zum Schutz vor Austrocknung, aber auch zur leichteren Partnersuche zusammen in Verstecken (MARX 1955).

1.7 Insektizide Wirkstoffklassen in Fraßködern gegen Schaben und Ameisen und ihre Wirkweise

Um ein wirksames und auch in der Anwendung für die menschliche Gesundheit sicheres Mittel zu erhalten, bestehen Insektizide aus einer Mischung von aktiven Wirkstoffen und inerten Inhaltsstoffen (YU 2008). Gegen Schaben und Ameisen werden vor allem Fraßköder eingesetzt, die mit einer leichten Verzögerung wirken, da so bei Ameisen eine Verteilung im Nest an Brut, andere Arbeiterinnen und Königinnen gewährleistet wird. Auf Grund des Aggregationsverhaltens und der Spuren, die von Schaben zu Futterquellen gelegt werden, ist ebenfalls eine verzögerte Wirkung von Vorteil. So werden die aufgenommenen und am Körper mitgetragenen Toxine in die Verstecke getragen und führen durch die Berührung von Kot, gelegten Spuren und toten Tieren zu sekundärer Aufnahme und Schädigung (KOPANIC und SCHAL 1999, DURIER und RIVAULT 2000b). In Fraßködern, die zur Bekämpfung von Ameisen und Schaben eingesetzt werden, sind als aktive insektizide Wirkstoffe u. a. Imidacloprid, Indoxacarb, Abamectin, Fipronil, Hydramethylnon oder Borsäure enthalten.

Indoxacarb ist ein Pro-Insektizid, welches zur Gruppe der Oxadiazine gehört. Pro-Insektizide zeichnen sich dadurch aus, dass sie erst durch den Metabolismus im Zielorganismus in ihre aktive Form umgewandelt werden. Indoxacarb wird nach der Aufnahme in das Insekt durch N-Decarboxymethylierung durch Esterasen aktiviert. Der entstandene Metabolit blockiert spannungsabhängige Natriumkanäle in Nerven- und Muskelzellen. Indoxacarb verhindert im Nervensystem das Entstehen von Aktionspotentialen (WING et al. 1998, WING et al. 2005). Dieser Wirkstoff ist u. a. in Pflanzenschutzmitteln und in Ektoparasita für Haustiere gegen Flöhe enthalten, gegen Schaben und Ameisen wird er in Fraßködern angewendet.

Imidacloprid ist ein Neonicotinoid, das im Insekt wie Acetylcholin am nikotinischen Rezeptor der Nervenzellen wirkt. Acetylcholin ist ein Transmitter, der zwischen den Nervenzellen und Nerven- und Muskelzellen an den Synapsen Signale übermittelt. Durch das Ausschütten von Acetylcholin öffnen sich die Natriumkanäle in der Postsynapse, was zur Erregung der nächsten Nervenzelle oder zu einer Kontraktion der Muskelzelle führt. Da Imidacloprid die gleiche Wirkung hat wie Acetylcholin, aber nicht durch die Acetylcholinesterase abgebaut wird, entsteht eine dauerhafte Übererregung und damit Verkrampfungen, Paralyse, gefolgt vom Tod (YU 2008). Imidacloprid wird in den unterschiedlichsten Anwendungsformen im Pflanzenschutz, sowie gegen Ektoparasiten bei Haustieren eingesetzt. Darüber hinaus wird es in Ködern für die Bekämpfung von Ameisen und Schaben verwendet.

Abamectin gehört zur Gruppe der Avermectine und ist ein Gemisch aus den zwei aktiven Substanzen Avermectin B_{1a} und Avermectin B_{1b}. Avermectine sind makrocyclische Lactone und entstehen durch Fermentierung im Actinomyceten *Streptomyces avermitilis*. Avermectine binden an die Glutamat-aktivierten Chloridkanäle, wodurch die Membrandurchlässigkeit für Chlorid-Ionen in den Nerven- und Muskelzellen erhöht wird. Die Aktivierung der Chloridkanäle führt zu einer Suppression der neuronalen Aktivität, da die Membran hyperpolarisiert und eine Erregungsüberleitung blockiert wird. Das führt zu Störungen der Bewegungskoordination, Lähmung und Tod des Zielorganismus (YU 2008). Zu der Wirkung auf die Glutamat-aktivierten Chloridkanäle kommt zusätzlich die Beeinflussung der Rezeptoren für γ -Aminobuttersäure (GABA) in den Synapsen. Der hemmende Neurotransmitter GABA wird vermehrt ausgeschüttet, wodurch ebenfalls eine Lähmung und der Tod hervorgerufen werden (BLOOMQUIST 2003). Abamectin ist für den Pflanzenschutz zugelassen, zusätzlich wird es in der Tiermedizin gegen Endo- und Ektoparasiten genutzt und ist in Fraßködern gegen Schaben enthalten.

Fipronil gehört zur Gruppe der Phenylpyrazole. Es ist ein Neurotoxin, das durch die Hemmung des ligandengesteuerten GABA-Rezeptors den Einstrom von Chlorid-Ionen verhindert. Durch diese Blockierung der Chloridkanäle kann das Ruhepotential der Nervenzellen nicht wiederhergestellt werden und es kommt zu einer Dauererregung in den nachgeschalteten Nerven- und Muskelzellen (RAYMOND-DELPECH et al. 2005). Fipronil wird in der Tiermedizin gegen Ektoparasiten angewendet und im Pflanzenschutz ist es zur Saatgutbehandlung zugelassen. Im Bereich der Schädlingsbekämpfung ist es in Fraßködern gegen Ameisen und Schaben enthalten.

Auf dem europäischen Markt nicht zugelassen, aber in den USA und Australien unter anderem zur Schaben- und Ameisenbekämpfung zugelassene und angewandte Wirkstoffe sind Hydramethylnon und Chlorfenapyr. Chlorfenapyr wird in der Europäischen Union im Rahmen der Biozidzulassung als Insektizid momentan bewertet, zugelassen ist es bereits für die Verwendung in Holzschutzmitteln. Beide Wirkstoffe zielen auf die Verhinderung der Bildung von ATP (Adenosintriphosphat) in den Mitochondrien ab. Hydramethylnon ist ein Wirkstoff aus der Gruppe der Trifluormethylaminohydrazone. Es verhindert die Bildung von ATP durch Hemmung von Cytochrom bc₁ (Komplex III) in der Elektronentransportkette. Chlorfenapyr ist ein Pro-Insektizid und gehört zu den Pyrrolen. Die Aktivierung hängt von der oxidativen Entfernung der N-Ethoxymethylgruppe durch Cytochrom P450 Monooxygenasen ab. Durch die entstandene Verbindung N-H-Pyrrol wird die oxidative Phosphorylierung in den Mitochondrien entkoppelt und die Synthese von ATP verhindert, der Zelltod wird ausgelöst und der

Organismus stirbt (YU 2008). In den USA und weiteren nicht zur EU gehörenden Staaten wird Hydramethylnon vorwiegend gegen Ameisen und Schaben in Ködern eingesetzt. Auch Chlorfenapyr wird außerhalb der EU in Sprays gegen Bettwanzen, behandelten Moskitonetzen zur Malariaprophylaxe und in Gewächshäusern in Pflanzenschutzmitteln genutzt.

Borsäure (H_3BO_3) ist ein anorganischer Wirkstoff mit einer langen residualen Aktivität (YU 2008). Als Kontaktinsektizid sowie als Fraßgift ist die Wirkweise nicht abschließend geklärt. Eine Theorie für die Wirkung als Fraßgift ist, dass nach der Aufnahme durch das Insekt im Vorderdarm die Epithelzellen zerstört werden und das Tier im Folgenden durch Verhungern stirbt (COCHRAN 1995). Borsäure ist wie Chlorfenapyr in der EU für die Verwendung in Holzschutzmitteln zugelassen. In den USA und weiteren Staaten außerhalb der EU wird Borsäure im Pflanzenschutz und in der Schädlingsbekämpfung in Innenräumen in verschiedensten Formulierungen, aber auch in Fraßködern gegen Schaben und Ameisen angewendet.

1.8 Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen

Repellentien sind Mittel, die meist über den Geruchssinn wahrgenommen werden und eine abwehrende bzw. abschreckende Wirkung auf den Organismus haben, diesen jedoch nicht töten (SCHAEFER 2012). Repellentien mit aktiven Wirkstoffen wie Diethyltoluamid (DEET, *N,N*-Diethyl-*m*-toluamid) oder Icaridin (auch Bayrepel, 1-(1-Methylpropoxycarbo-nyl)-2-(2-hydroxyethyl)piperidin) werden zum Beispiel gegen Mücken und Zecken auf die Haut aufgetragen. DEET und Icaridin bilden eine Art Dampfbarriere, ihre Effektivität gegen eine Vielzahl von Arthropoden wie Mücken, Zecken oder Flöhen, wurde in verschiedenen Studien nachgewiesen (KATZ et al. 2008), DEET ist dabei das am häufigsten eingesetzte Repellent mit dem breitesten Wirkungsspektrum gegen Arthropoden (HOFMANN 2015). Auch Bettwanzen werden von DEET stark repelliert, Icaridin und Permethrin dagegen wirken weniger stark repellierend (WANG et al. 2013).

Bei *Aedes aegypti* werden durch verschiedene Repellentien fünf Chemorezeptoren auf den Antennen angesprochen (DAVIS 1980). Die Wirkweise von DEET auf die Rezeptoren von Insekten ist in einer Vielzahl an Studien untersucht worden. Diese zeigen, dass DEET mit den olfaktorischen Rezeptorneuronen (ORNs) wahrgenommen wird (DITZEN et al. 2008, SYED und LEAL 2008, PELLEGRINO et al. 2011, KAIN et al. 2013). SYED und LEAL (2008) wiesen außerdem nach, dass *Culex quinquefasciatus* DEET aktiv meidet. An *Drosophila melanogaster* wurde gezeigt, dass DEET außerdem auf die Geschmacksrezeptoren (GRNs) wirkt, die Tiere nahmen durch den Einfluss des Repellents weniger Nahrung auf (LEE et al. 2010). Icaridin bindet bei

Anopheles gambiae an der gleichen Stelle (*Anopheles gambiae* Odorant Binding Protein 1-AgamOBP1) wie DEET (DRAKOU et al. 2017).

Permethrin wirkt im Gegensatz zu DEET und Icaridin nur im direkten Kontakt mit dem Zielorganismus und gehört zu den Pyrethroiden (KATZ et al. 2008). Daher wird es nicht in Mitteln benutzt, die direkt auf die Haut aufgetragen werden, sondern wird zur Imprägnierung von Kleidung oder Moskitonetzen genutzt. Die Insekten nehmen Permethrin über ihre Körperoberfläche auf. Es blockiert in den Nervenzellen die Schließung der Natriumkanäle, so dass Natriumionen ungehindert in die Zelle einströmen. Daraufhin folgen Erregungszustände und Krämpfe, Koordinationsstörungen, Hyperaktivität und Paralyse, dies wird als Knockdown-Effekt bezeichnet (YU 2008).

Natürliche Substanzen können ebenfalls als Repellentien wirken, so z. B. pflanzliche Extrakte von Salbei oder Neem auf die rote Feuerameise *Solenopsis invica* (ANDERSON et al. 2002). Zimt zeigte eine repellierende Wirkung auf die argentinische Ameise *L. humile* (SCOCCO und SUITER 2010). Dennoch sind pflanzliche Substanzen und ätherische Öle meist weniger effektiv als Repellentien auf chemischer Basis, denn sie wirken u. a. wegen ihrer hohen Volatilität nicht über einen ausreichend langen Zeitraum hinweg (HOFMANN 2015). Bei anderen, wie z. B. aus dem Neembaum gewonnene Substanzen (Neem, Margosa), ist die repellierende Wirkung generell umstritten (GOODYER et al. 2010).

Darüber hinaus zählen zu den Repellentien auch Mittel, die Wirbeltiere wie z. B. Hunde oder Katzen von bestimmten Bereichen fernhalten sollen. Die Wirkstoffe sind hier verschiedene ätherische Öle wie Orangen-, Lavandin- oder Pfefferminzöl, häufig wird auch Methylnonylketon genutzt.

1.9 Behördliche Vorgaben zu Schädlingsbekämpfungsmitteln

1.9.1 Biozidzulassung innerhalb der Europäischen Union

Laut der Biozid-Verordnung (EU) Nr. 528/2012 sind Biozidprodukte Stoffe oder Gemische in der Form, in der sie zum Verwender gelangen und deren Wirkstoffe Schadorganismen zerstören, abschrecken, unschädlich machen, ihre Wirkung verhindern oder sie in anderer Weise bekämpfen. Die Wirkung muss in dem Fall auf anderer Art als auf bloßer physikalischer oder mechanischer Einwirkung beruhen (EUROPÄISCHE UNION 2012). Die Verordnung kategorisiert die Biozidprodukte in Produkttypen (PT), u. a. sind das Insektizide (PT 18) und Repellentien bzw. Attraktantien (PT 19). Biozidprodukte sind laut der Biozid-Verordnung in der

europäischen Union nur verkehrsfähig, wenn sie im Rahmen der Biozidzulassung (EU) Nr. 528/2012 bewertet und zugelassen worden sind. Antragsteller, die ihre Produkte in der EU zulassen wollen, müssen u. a. Studien zum Nachweis der Wirksamkeit sowie der Wirkung auf Mensch und Nichtzielorganismen vorlegen. Dieses Verfahren soll sicherstellen, dass nur wirksame Produkte auf den Markt kommen, die außerdem nachweislich ein möglichst geringes Risiko für Mensch und Umwelt darstellen. Die Zulassung eines Produkts wird in einem Mitgliedsstaat beantragt, dort findet dann die Bewertung und Anerkennung statt. Um in anderen EU-Mitgliedsstaaten eine Zulassung für das Produkt zu erhalten, müssen die in diesen Ländern zuständigen Behörden die Ergebnisse der Produktbewertung, und damit auch der schon eingereichten Wirksamkeitsprüfungen, ebenfalls anerkennen. Für die Antragsteller wurden Leitlinien für die Durchführung der verlangten Wirksamkeitsprüfungen in dem Dokument „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B + C)“ zur Verfügung gestellt (ECHA 2017). Dieses Dokument gibt Empfehlungen und Vorgaben zu Versuchsdesign und Rahmenbedingungen der durchzuführenden Wirksamkeitsprüfungen. Mit den Leitlinien als Vorgabe sollen Antragsteller Prüfungen durchführen können, deren Ergebnisse als Wirksamkeitsnachweise von den Genehmigungsbehörden bewertet und anerkannt werden können.

In den Leitlinien „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B + C)“ fehlen allerdings für viele Zielorganismen in PT 18 (Insektizide und Akarizide) und PT 19 (Repellentien bzw. Attraktantien) entsprechende Vorgaben. Zum Teil werden fehlende Vorgaben für die Wirksamkeitsprüfung durch Verweise auf Richtlinien von anderen Behörden oder Organisationen kompensiert, die detaillierte Vorgaben für Wirksamkeitsprüfungen enthalten, z. B. wird für Prüfungen von Fraßködern gegen Schaben auf das entsprechende OECD Guidance Document verwiesen (OECD 2013). Bei anderen Zielorganismen für PT 18, wie tropischen Ameisen, werden nur wenige Parameter, wie beispielsweise die Bereitstellung von alternativem nicht-toxischem Futter zum Köder für die Ameisen vorgegeben, es wird aber nicht auf andere Richtlinien zur Durchführung der Tests verwiesen. Besonders wenige Informationen enthält das Dokument zu Tests von PT 19-Produkten. So werden keine Vorgaben zu Versuchsdesigns für Wirksamkeitsprüfungen von Repellentien gegen kriechende Tiere wie Bettwanzen und Ameisen gemacht. Genauso wenig wird auf Tests für Attraktantien verwiesen, die z. B. in Monitoring-Fallen für Schädlinge wie Schaben verwendet werden.

Da das Testdesign einer Wirksamkeitsprüfung Einfluss auf das Ergebnis haben kann, ist es wichtig, einheitliche Standards zu entwickeln und diese in Richtlinien zu verankern. Nur so ist

es möglich, die Wirksamkeit unterschiedlicher Produkte auch vergleichend zu betrachten und einzuordnen.

1.9.2 Infektionsschutzgesetz in Deutschland

Die Prüfmethode und -designs für die im Rahmen dieser Arbeit durchzuführenden Fraßköderversuche mit Schaben und Ameisen wurden teilweise aus den Prüfrichtlinien, die im UBA im Rahmen der § 18-Listung genutzt werden, entnommen. In Deutschland regelt § 18 des Infektionsschutzgesetzes² (IfSG) die gesetzlichen Pflichten zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen. Es werden Mittel festgelegt, die bei behördlich angeordneten Entwesungen von Arthropoden, die Krankheitserreger auf den Menschen übertragen können, eingesetzt werden dürfen. Die Listung von Mitteln und Verfahren zur behördlich angeordneten Entwesung erfolgt nach Antrag des Herstellers und der Prüfung des Produkts seitens des Umweltbundesamtes (UBA). Die Verkehrsfähigkeit hinsichtlich der Wirkung auf Umwelt und Mensch gilt durch eine Zulassung innerhalb der EU als bereits geprüft. Die Wirksamkeitsbewertung wird allerdings hiervon unabhängig in den Laboren des UBA im Fachgebiet IV 1.4 „Gesundheitsschädlinge und ihre Bekämpfung“ nach standardisierten Prüfrichtlinien vorgenommen. Nach positivem Prüfergebnis gibt das UBA sein Einvernehmen und das Produkt wird gelistet.

1.10 Ziele dieser Arbeit

1.10.1 Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben

Bisher werden Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern gegen Schaben in großen 1-Kastensystemen oder 2-Kastensystemen, die eine dem großen 1-Kastensystem entsprechende Lauffläche haben, durchgeführt. Es fehlen aber empirische Nachweise, die zeigen, dass ein Testsystem eine Mindestgröße haben muss, um die Wirksamkeit eines Fraßköders bewerten zu können. In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchen sollte untersucht werden, ob die Größe der Lauffläche sowie die Distanz zwischen Köder und Versteck bei Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern einen Einfluss auf den Verlauf und das Ergebnis einer Prüfung haben.

² Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG) Ausfertigungsdatum: 20.07.2000 Vollzitat: "Infektionsschutzgesetz vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1045), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2615) geändert worden ist". Stand: Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 17.7.2017 I 2615

Auch der mögliche Einfluss der Populationszusammensetzung (adult, juvenil, juvenil und adult gemischt) in Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern gegen Schaben sollte untersucht werden. Anhand der Ergebnisse können Wirksamkeitsnachweise in der Biozidzulassung besser bewertet werden oder die bisherigen Vorgaben angepasst werden.

Zusätzlich wurde ein Testverfahren zur Prüfung von Monitoringsystemen für Schaben entwickelt, in dem die praktische Verwendung dieser Systeme simuliert wurde. Mit diesem Testverfahren wurden Vergleiche zwischen einem kamerabasierten Monitoringsystem und Klebefallen durchgeführt. Diese sollten Aufschluss darüber geben, ob beide Systeme Befälle mit den Schabenarten *B. germanica*, *P. americana* und *B. orientalis* zuverlässig detektieren.

Die Überwachung der Aktivität von Schaben mit Hilfe eines Kamerasystems sollte zeigen, inwiefern sich das Aktivitätsmuster von Männchen, Weibchen und Juvenilen des letzten Stadiums unterscheiden.

1.10.2 Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen

In mit *M. pharaonis* im Rahmen der vorangegangenen Diplomarbeit durchgeführten Versuchen wurde festgestellt, dass eine größere Lauffläche bzw. größere Distanz zwischen Nest und Köder bzw. Futter und die dichtere Positionierung des Köders am Nest eine schnellere Tilgung in den Versuchen zur Folge haben (KRÜGER et al. 2014). Daher sollte überprüft werden, ob in Wirksamkeitsprüfungen ein 3-Kammersystem im Vergleich mit einem 1-Kammersystem für *T. melanocephalum* ebenso unterschiedliche Ergebnisse erzielt wie bei *M. pharaonis*.

Um eine einheitliche Prüfrichtlinie für tropische Ameisen entwickeln zu können, sollten außerdem Versuche mit Pharaoameisen und Schwarzkopfameisen in zwei verschiedenen großen 1-Kammersystemen vergleichend durchgeführt werden. Hierfür wurden zwei zugelassene Ameisenköderprodukte (imidacloprid- und indoxacarbhaltig) in den 1-Kammersystemen angewendet, um Erkenntnisse des möglichen Einflusses durch die unterschiedlich große Lauffläche und Distanz von Köder zum Nest zu gewinnen.

1.10.3 Entwicklung von Testsystemen für Wirksamkeitsprüfungen von Repellentien gegen Ameisen und Bettwanzen

Ergebnisse aus Versuchen (*forced choice*-Tests) mit Repellentien und den Ameisenarten *L. niger*, *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* sollten mit Ergebnissen aus einem praxisnäheren Testsystem (*simulated use*-Test) verglichen werden (KRÜGER et al. 2017). Im *forced choice*-Test wurden die Arbeiterinnen gezwungen, in einer Fluchtsituation die Entscheidung zwischen behandelter und unbehandelter Brücke als Fluchtweg zu treffen. Es wurde ein *simulated use*-

Test, der dem typischen Verhalten der Ameisen bei der Nahrungssuche und der Versorgung des Volkes angepasst wurde, entwickelt. Das Ziel war, durch einen Vergleich der Ergebnisse dieser beiden Versuchssysteme zu ermitteln, welchen Einfluss das Testdesign auf die Bewertung in Wirksamkeitsprüfungen von Repellentien hat. Die als Repellentien eingesetzten Substanzen wurden nach möglichst unterschiedlich starker Wirkung ausgewählt und waren Margosa (10 % und 100 %), Zimtpulver, Zimtöl (10 %), Natron, Seesand und DEET (50 %). Die repellierende Wirkung der einzelnen Substanzen wie auch die Testmethoden sollten verglichen und bewertet werden. Ein wichtiger Aspekt war außerdem, zu untersuchen, ob die verschiedenen Ameisenarten gegenüber Repellentien unterschiedlich reagieren.

Auch für Bettwanzen sollten Testsysteme für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien entwickelt werden. Hierbei wurde ein System genutzt, das einen Wirt simulierte (*simulated use-Test*). In diesen Versuchen sollte überprüft werden, ob Repellentien Bettwanzen davon abhalten, einen Wirt aufzusuchen. Ein weiteres Testsystem sollte zeigen, ob Bettwanzen auf der Suche nach geeigneten Verstecken mit Repellentien behandelte Verstecke meiden. Auf Grund der photophoben Lebensweise und des Aggregationsverhaltens der Tiere waren die Bettwanzen gezwungen, sich für eine der beiden Versteckvarianten zu entscheiden, um der für sie unangenehmen Situation zu entkommen (*forced choice-Test*). In beiden Testsystemen sollten natürliche Substanzen (Margosa und Zimtöl) und auf dem Markt erhältliche Mittel mit verschiedenen Wirkstoffen (DEET, Icaridin, Permethrin) eingesetzt werden und deren Wirkung in den unterschiedlichen Testsystemen verglichen werden.

2 Material und Methoden

2.1 Material

2.1.1 Prüftiere

2.1.1.1 Herkunft der Zuchtstämme und Zuchtbedingungen

Alle Zuchtstämme stammen aus dem Prüflabor des Bundesgesundheitsamtes und wurden nach dessen Auflösung 1994 in das Prüflabor des Umweltbundesamtes übernommen.

2.1.1.2 Schaben

2.1.1.2.1 *Blattella germanica*

Der Zuchtstamm der deutschen Schabe *B. germanica* wurde durch die Bayer-AG in Monheim 1991 aus der Affenzucht der Tierversuchsanstalt der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf entnommen. 1992 wurde von Bayer ein Zuchtansatz an das Bundesgesundheitsamt abgegeben. Die in den Versuchen verwendeten deutschen Schaben wurden in der Gliedertierzucht des Prüflabors des Umweltbundesamtes bei 26 ± 3 °C und 55 ± 15 % relativer Luftfeuchte gehalten. Im Zuchtraum herrschte 24 h Dauerlicht mit wenig Tageslicht. Die standardisierten Zuchtbedingungen ermöglichten den Einsatz von Prüftieren definierten Alters.

Als Zuchtgefäße für die deutschen Schaben dienten Glaszylinder (Abb. 8). Die Innenwände wurden mit Polytetrafluorethylen (Fluon) ausgegossen, damit die Schaben nicht aus den Gläsern herauslaufen konnten. In den Gläsern wurde den Schaben gefaltetes Filterpapier als Versteck angeboten. Für Ansätze der Versuchstiere wurden Ootheken-tragende Weibchen in einem Separierglas in ein Zuchtglas überführt, aus dem die geschlüpften juvenilen Tiere durch einen Siebeinsatz in das Zuchtglas fielen. Der Separierbehälter mit den Weibchen wurde nach einer Woche aus dem Zuchtglas entfernt, so dass das Alter der geschlüpften juvenilen deutschen Schaben nicht mehr als eine Woche variierte. Als Futter wurde folgende Futtermittelmischung gegeben: Hundekuchenmehl (64,5 %), Haferflocken (32,3 %) Bierhefe (3,2 %). Zusätzlich wurde einmal wöchentlich Frischfutter in Form von Äpfeln und Möhren angeboten. Wasser wurde *ad libitum* in mit Watte verschlossenen Plastikbehältern angeboten.

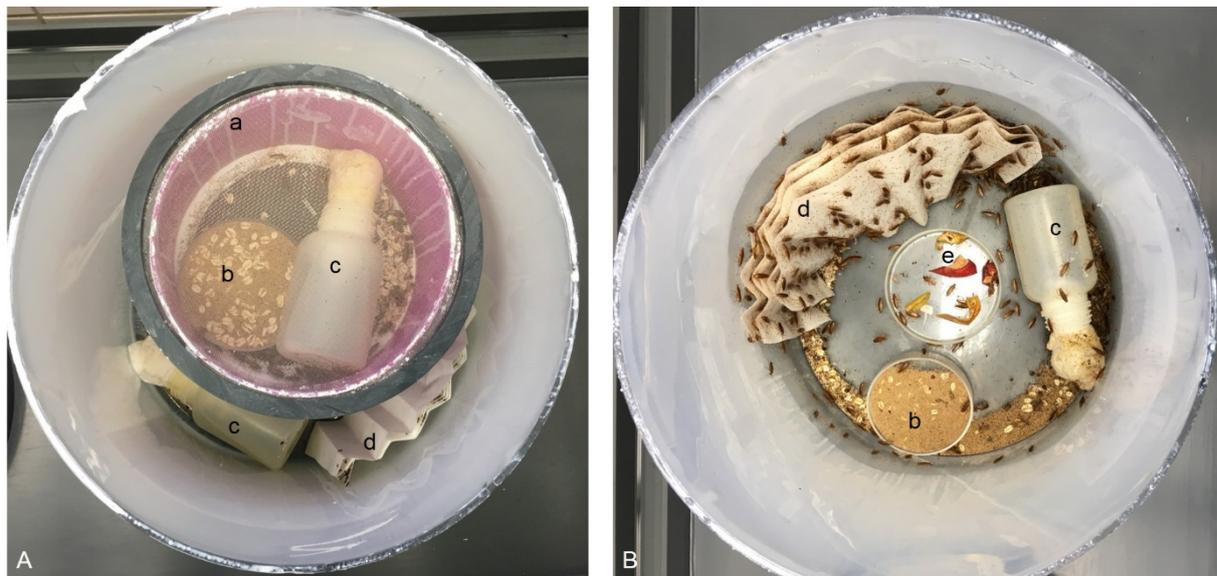


Abb. 8: Zuchtgläser für *B. germanica*. **A** Zuchtglas für Ansatz für Versuchstiere mit Separierglas mit Gazedeckel (a), Zuchtfutter (b) und Tränke (c) für die Ootheken-tragenden Weibchen, gefaltetes Filterpapier als Versteck (d) und Tränke (c) für geschlüpfte Juvenile. **B** Zuchtglas mit Adulten mit Zuchtfutter (b), Tränke (c), gefaltetem Filterpapier (d) und Apfel (e).

2.1.1.2.2 *Periplaneta americana* und *Blatta orientalis*

Der Zuchtstamm der amerikanischen Schabe *P. americana* wurde seit 1947 im Prüflabor des Bundesgesundheitsamtes gehalten. 1991 wurde Tiermaterial aus dem Referenzlaboratorium für Arthropoden der DDR in Kleinmachnow eingekreuzt.

Der Zuchtstamm der orientalischen Schabe *B. orientalis* bestand seit 1969 in der Zucht des Prüflabors des Bundesgesundheitsamtes. 1978 wurden Tiere aus dem Robert-Koch-Institut (Tiere aus einem Biotop) und der Bayer AG Monheim, 1991 wurde Tiermaterial aus dem Referenzlaboratorium für Arthropoden der DDR (Tiere aus dem Tierpark Friedrichsfelde) in den Stamm eingekreuzt.

Die amerikanischen und orientalischen Schaben wurden bei $26 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50 \pm 35 \%$ relativer Luftfeuchte in einem Zuchtraum gehalten, es herrschte 24 h Dauerlicht mit wenig Tageslicht. Die standardisierten Zuchtbedingungen ermöglichten den Einsatz von Prüftieren definierten Alters.

Für die amerikanischen und orientalischen Schaben wurden zum Oothekenansatz und zur Larvenaufzucht Glaszylinder verwendet (Abb. 9). Diese wurden mit einem Deckel, bestehend aus einem PVC-Ring und darüber gespannter Gaze abgedeckt. Als Versteck diente in jedem Zuchtglas ein Turm aus Bierdeckeln. Die Bierdeckel wurden mit PVC-Klötzchen als Abstandshalter abwechselnd auf einen Stab gesteckt. Auf diesen Bierdeckelturm wurde ein Metalldrahtkorb mit Ootheken gestellt, aus denen die Versuchstiere schlüpften. 14 Wochen nach Oothekenansatz wurden die Larven in PVC-Zuchtkästen umgesetzt, welche mit einem Deckel abgedeckt wurden. Dieser bestand aus PVC und darüber gespannter Gaze. Am oberen Rand der Kästen

wurde als Ausbruchssperre etwa 5 cm breit Vaseline aufgetragen. Nach fünf Wochen in den kleinen PVC-Zuchtkästen wurden die Tiere in große Zuchtkästen für adulte Schaben überführt, die ebenfalls mit Vaseline am oberen Rand und Deckeln versehen waren. Futter und Wasser wurde, wie in Kap. 2.1.1.2.1 beschrieben, gegeben.



Abb. 9: Zuchtgefäße für *P. americana* und *B. orientalis*. **A** Separierglas (a) mit Gazedeckel (b), Metalldrahtkorb (c) und Bierdeckelturm (d). **B** Separierglas mit Ootheken (e) im Metalldrahtkorb. **C** Zuchtkästen für adulte Tiere mit Bierdeckelturm (d), Zuchtfutter (f) und Tränke (g).

2.1.1.3 Ameisen

2.1.1.3.1 *Monomorium pharaonis* und *Tapinoma melanocephalum*

Der Zuchtstamm von *M. pharaonis* besteht seit 1991 im Prüflabor des Bundesgesundheitsamtes und stammte aus der Pharaoameisenzucht des Referenzlaboratoriums für Arthropoden in Kleinmachnow. 1992 wurden Tiere aus dem Alfred-Brehm-Haus im Tierpark Friedrichsfelde Berlin in die Zucht eingekreuzt.

Der Stamm von *T. melanocephalum* wurde 1994 aus Tieren einer Hamburger Zoohandlung aufgebaut.

Die Ameisen wurden in Glaszylindern gehalten (Abb. 10), deren Innenseiten mit Polytetrafluorethylen (Fluon) ausgegossen waren, damit die Tiere nicht aus den Gläsern hinauslaufen konnten. Als weiteren Ausbruchsschutz wurden die Zuchtgläser in eine Fotoschale mit Seifenwasser gestellt. In den Zuchtgläsern wurden den Ameisen Plastikdosen als Nest angeboten, die etwa 5 mm dick mit Gips ausgegossen waren und mit Löchern zum Hinein- und Hinauslaufen sowie feuchten Kosmetiktüchern versehen waren. Holzspäne wurden den Ameisen als Baumaterialien für das Nest angeboten.

Als Futter dienten tote amerikanische und orientalische Schaben (*P. americana* und *B. orientalis*) aus der Zucht des Prüflabors. Zusätzlich bekamen die Ameisen Zucker, Hackfleisch und

Wasser. Die Ameisen wurden in einem Zuchtraum bei 25 – 32 °C und 60 ± 20 % relativer Luftfeuchte gehalten. Der Zuchtraum wurde nur beleuchtet, wenn Arbeiten darin verrichtet wurden.



Abb. 10: Zuchtglas für *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*. Plastikdosen als Nester (a), Futter: tote Schaben (b), Zucker (c) und Eigelbpulver (d), Tränke (e) und Holzspäne (f).

2.1.1.3.2 *Lasius niger*

Für die Aufzucht von *L. niger* wurden im Frühsommer 2012 in Berlin und Umgebung Königinnen nach dem Hochzeitsflug gefangen. Die Königinnen wurden in Rollrand-Gläsern, die längs zu etwa einem Drittel mit Gips ausgegossen und mit einem Deckel verschlossen waren, eingesetzt. Im Deckel befand sich ein Schlitz, durch den ein Viledastreifen reichte, um Feuchtigkeit aus einem Wasserreservoir ins Innere zu transportieren. Nachdem sich die erste Brut entwickelt hatte, wurde an das Rollrand-Glas eine Kunststoffschachtel mit Deckel, die am Boden mit Gips ausgegossen war, angeschlossen. Hier wurden tote Fliegen und Wasser angeboten. Die Ameisenvölker wurden ab einer Größe von etwa 30 Arbeiterinnen in Nestanlagen für Großvölker umgesiedelt (Abb. 11). Diese bestanden aus PVC-Kästen, auf denen im einen Teil Nahrung angeboten wurde. Im anderen Teil wurde eine Gipslabyrinthplatte als Nest angeboten, die über eine kunststofffaserige Saugwatte und einer aus Gips bestehenden Saugplatte, Feuchtigkeit aus der darunter befindlichen Wasserebene aufnehmen konnte. Die Ameisen hatten zwei Zugänge zum Nest. Auf dem Labyrinthnest lag eine Glasplatte, so dass direkter Einblick in das Nest möglich war und die Entwicklung des Volkes visuell überprüft werden konnte. Die

Glasplatte wiederum wurde durch eine dunkle PVC-Platte abgedeckt. Als Futter dienten tote amerikanische und orientalische Schaben (*P. americana* und *B. orientalis*) aus der Zucht des Prüflabors. Zusätzliche Kohlenhydrat- und Proteinquellen waren Hagelzucker und Hackfleisch, außerdem wurde Wasser bereitgestellt. Die Ameisen wurden in einem Zuchtraum bei $25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ und $50 \pm 30 \text{ } \%$ relativer Luftfeuchte gehalten. Der Zuchtraum wurde nur beleuchtet, wenn Arbeiten darin verrichtet wurden, sonst gab es wenig Tageslicht.

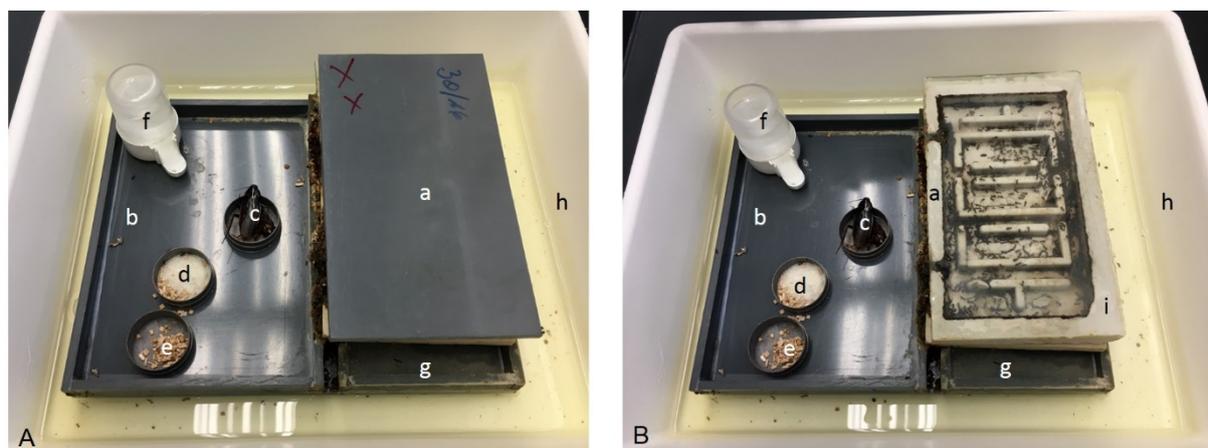


Abb. 11: Nestanlage für Großvölker von *L. niger*. **A** Nestbereich (a) mit Abdunkelung **B** Nestbereich (a) ohne Abdunkelung. Außenbereich (b) mit toten Schaben (c), Zucker (d), Holzspänen (e), Tränke (f) und Wasserebene (g), Fotoschale mit Seifenwasser (h) und Gipslabyrinthplatte (i).

2.1.1.4 *Cimex lectularius*

Die Haltung des Bettwanzenstammes von *Cimex lectularius* bestand seit 1947 in der ehemaligen Biologischen Bundesanstalt, später Bundesgesundheitsamt. Es gab Einkreuzungen aus Befallsobjekten in Berlin (1970, 1984, 1994 und 1996) und anderen Zuchten (1988 Bayer AG Monheim, 1991 ehemaliges Referenzlaboratorium für Arthropoden in Kleinmachnow, 1993 Bayer AG Monheim, 1994 Tierärztliche Hochschule Hannover, 2009 CropScience Bayer AG). Etwa je 300 Bettwanzen wurden in einer Petrischale gehalten. In den Petrischalen dienten zwei Papier-Rundfilter als Versteck und Eiablagefläche für die Bettwanzen (Abb. 12 A). Die Petrischalen wurden in Fotoschalen mit Bodenrippen gestellt, die in Brutschränken bei Dunkelheit mit einer Temperatur von $25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von $45 \pm 10 \text{ } \%$ aufbewahrt wurden.

Die in den Versuchen verwendeten Bettwanzen wurden wöchentlich mit defibriertem Schweineblut an einer Membranfütterungsanlage mit Parafilm® als Membran gefüttert. Zu diesem Zweck wurden die Bettwanzen aus den Petrischalen in spezialangefertigte Erlenmeyerkolben (Bettwanzengläschen) umgesetzt, auf die Öffnung wurde Gaze mit einem Gummiband gespannt. Die Bettwanzengläschen wurden mit der Öffnung nach unten auf die Membran gestellt

(Abb. 12 B), so dass die Bettwanzen Blut saugen konnten. Die Fütterungen dauerten zwischen 10 min und 20 min je Bettwanzengläschen. Nach der Fütterung wurden die Bettwanzen in die Petrischalen zurückgesetzt.

Die auf den Papier-Rundfiltern abgelegten Eier wurden wöchentlich am Tag der Fütterung und jeweils eine Woche nach der letzten Fütterung aus den Petrischalen entnommen. Die Eiablagen wurden bis zum Schlupf der Juvenilen, d. h. eine Woche lang, in einem separaten Brutschrank bei einer Temperatur von 32 °C und relativer Luftfeuchte von $45 \pm 10 \%$ gelagert. Nach sechs bis sieben Fütterungen waren die Tiere adult, Versuchstiere wurden nach sieben Fütterungen entnommen.

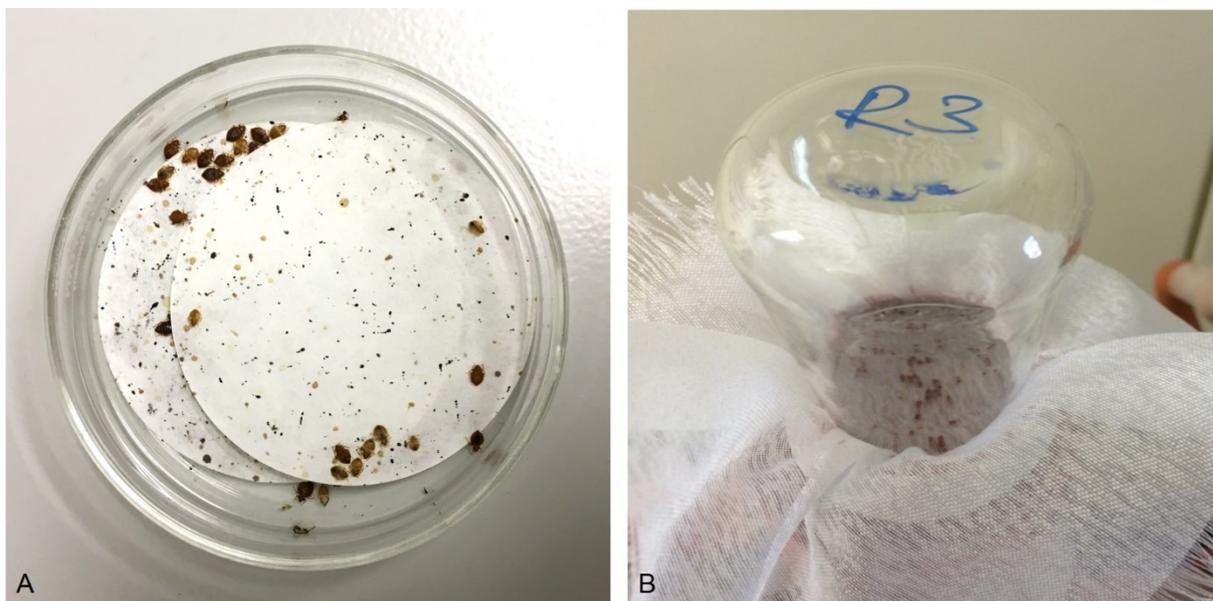


Abb. 12: Zuchtgefäße für *C. lectularius*. **A** Petrischale mit Bettwanzen und zwei Papier-Rundfiltern in der Zucht. **B** Bettwanzengläschen mit juvenilen Tieren zur Fütterung an der Membran, Öffnung nach unten und mit Gaze abgedeckt.

2.1.2 Versuchsmaterialien

Folgende Geräte, Chemikalien, Reagenzien, Mehrwegmaterialien und Verbrauchsmaterialien wurden zur Durchführung der Versuche benötigt.

2.1.2.1 Geräte

Analysenwaage Sartorius 61S	ROTH®, Karlsruhe, Deutschland
Ansaugpumpe WERIE W00849	Rietschle (jetzt Gardner Denver Deutschland), Schopfheim, Deutschland
Defensoren	Axair AG, Pfäffikon, Schweiz
Durchflussmesser Cole Parmer® 0,1 – 1,0 LPM	Novodirect GmbH, Kehl, Deutschland
Folienheizmatten ThermoMat	Lucky Reptile, Waldkirch, Deutschland
Heizplatte RK 501	Rommelsbacher ElektroHausgeräte GmbH, Dinkelsbühl, Deutschland
Kamerasystem Prototyp „ATRAP“ 19,7 cm x 11,5 cm x 9,5 cm	pi4_robotics GmbH, Berlin, Deutschland
Kompressor Model Nr. 4	JUN-AIR, Redditch, UK
Thermohygrografen Typ 252	Lamprecht KG, Göttingen, Deutschland
Quecksilberthermometer	Fundus des UBA
Thermostat Thermo Control II	Lucky Reptile, Waldkirch, Deutschland
Waage PG5002-S	Mettler-Toledo GmbH, Gießen, Deutschland
USB-Stick (16 GB)	CnMemory, ActionIT GmbH, Paderborn, Deutschland

2.1.2.2 Chemikalien und Reagenzien

2-Propanol, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$ (mind. 99,95 %)	Chemsolute, Geyer GmbH & Co KG, Renningen, Deutschland
Aqua bidest.	Hausinterne Anlage

Borsäure zur Analyse EMSURE® ACS, ISO, Reag. Ph Eur	Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland
Ethanol 96 V/V vergällt mit Methylethylketon	Berkel AHK Alkoholhandel GmbH & Co. KG, Deutschland
Kohlenstoffdioxid, ≥ 99,9 Vol. % (Flasche 30 kg)	AIR LIQUIDE Deutschland GmbH, Düsseldorf, Deutschland
Paraffin	Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland
Raupenleim	F. Schacht GmbH & Co. KG, Braunschweig, Deutschland
Vaseline	Sigma-Aldrich Labor Chemikalien GmbH, Seelze, Deutschland
2.1.2.3 Mehrwegmaterialien	
Ameisenarenen mit Deckel klein: 30 cm x 20 cm x 20 cm groß: 60 cm x 30 cm x 20 cm	Antstore, Berlin, Deutschland
Becherglas 250 ml	SCHOTT Duran®, Mainz, Deutschland
Beckenverbinder M25	Antstore, Berlin, Deutschland
Drahtgazeringe Ø 11 cm, Höhe 3 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Edelstahldeckel für Versuchsboxen 42 cm x 27 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Edelstahlregal 101,5 cm x 50,5 cm x 185,5 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Erlenmeyerkolben 300 ml	SCHOTT Duran®, Mainz, Deutschland
Europoolpaletten groß: 120 cm x 80 cm x 13 cm klein: 80 cm x 60 cm x 13 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Federstahlpinzette	ROTH®, Karlsruhe, Deutschland
Gaze 60 cm x 45 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Glasdeckel von Mikroskopiernäpfen 40 mm x 40 mm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA

Glaspetrischalen DUROPLAN® Ø 90 mm, Höhe 15 mm Ø 54 mm, Höhe 22 mm Ø 50 mm, Höhe 12 mm Ø 40 mm, Höhe 12 mm	ROTH®, Karlsruhe, Deutschland
Glasplatten 13 cm x 13 cm 17,5 cm x 10,6 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Glasschale 5 cm x 3 cm x 1,8 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Glaszylinder Ø 300 mm, Höhe 300 mm Ø 170 mm, Höhe 260 mm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Gummibänder	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Kristallisierschalen Ø 40 mm, Höhe 25 mm Ø 23 cm, Höhe 10 cm	VWR International GmbH, Dresden, Deutschland
Insektenbehälter mit Gazedeckel Ø 118 mm, Höhe 117 mm, 720 ml	BugDorm, MegaView Science, Tai- wan
Laborflaschen 250 ml	SCHOTT Duran®, Mainz, Deutschland
Labortische 100 cm x 54 cm x 90 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Messkolben 25 ml und 1000 ml	SCHOTT Duran®, Mainz, Deutschland
Metalllöffel	Fundus des UBA
Metallspatel	Fundus des UBA
Objektträger 26 mm x 76 mm x 1 mm	Menzel GmbH, Braunschweig, Deutschland
Pinzetten	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Plastikbehälter ca. 250 ml	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
Plexiglasrohr Ø 5 cm, Länge 48 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA

PVC-Boxen 40 cm x 25 cm x 30 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
PVC-Deckel 17,5 cm x 10,6 cm	Fundus des FG IV 1.4 des UBA
PVC-Zuchtkästen für Schaben 305 mm x 410 mm x 260 mm 410 mm x 450 mm x 450 mm	Kunststofftechnik Jenzik, Berlin, Deutschland
Rollrand-Gläser 40 mm x 19 mm, 5 ml, klar	Max Resch Laborbedarf aus Glas, Wermelskirchen, Deutschland
Schlauch Ø innen: 12 mm, Ø außen: 16 mm	Antstore, Berlin, Deutschland
Tränken 45 ml, 65 mm x 35 mm, Höhe 55 mm	Antstore, Berlin, Deutschland

2.1.2.4 Verbrauchsmaterialien

Advion® Ameisen Gel (Indoxacarb 0,05 g/kg)	Syngenta Agro GmbH, Maintal, Deutschland
Autan® Protection Plus (20 % Icaridin)	MCM Klosterfrau Healthcare Group, Köln, Deutschland
Bierhefe	Heirler Cenovis GmbH, Radolfzell, Deutschland
Eierkartons für 12 Eier	Verschiedene Hersteller, handelsüb- lich
Filterpapier (Cellulosepapier) 58 cm x 58 cm	VWR International GmbH, Dresden, Deutschland
Filterpapierrolle 245 mm/50 lfm	MUNKTELL & FILTRAK GmbH, Bärenstein, Deutschland
Gipslabyrinthplatten 175 mm x 106 mm x 16 mm	Eigenbau UBA
Hackfleisch	Bio Company, Berlin, Deutschland
Hagelzucker	BÄKO Zentrale-Nord eG, Duisburg, Deutschland
Holzspanwürfel 3 cm x 3 cm x 1 cm 3 cm x 3 cm x 1,6 cm	Eigenbau UBA

Holzspäne (Abedd Espe Mini) 1 - 2 mm	Ssniff Spezialitäten GmbH, Soest, Deutschland
Haferflocken (Großblatt)	Bio Company, Berlin, Deutschland
Holzklötzchen - Ameisennester 30 mm x 30 mm, Höhe 13 mm	Eigenbau UBA
Hundekuchen Alleinfutter, doppelt gemahlen	Ssniff Spezialitäten GmbH, Soest, Deutschland
Klebeband, doppelseitig Breite 4 cm	Fix-o-moll, Wilhelm Ritterath GmbH, Meckenheim, Deutschland
Klebwachs	Stockmar, Kaltenkirchen, Deutschland
Kreppband Breite 2 cm	Kip, Bocholt, Deutschland
Küchenrolle	SCA, Göteburg, Deutschland
Latexhandschuhe (rohi®protect-Latex)	ROTH®, Karlsruhe, Deutschland
Leerkörderdosen TSCHAKO	SASA GmbH, Malsch, Deutschland
Margosa-Extrakt 100 %	Vectrade UG, Penzberg, Deutschland
Maxforce® Quantum (Imidacloprid 0,3 mg/g)	Bayer AG, Monheim, Deutschland
Nagelkleber (Fing'rs Pink Bond)	FING'RS GmbH, Sindelfingen, Deutschland
Natriumhydrogencarbonat (Kaiser-Natron®)	Arnold Holste Wwe. GmbH & Co KG, Bielefeld, Deutschland
Nobite® Hautspray (50 % DEET)	Tropical Concept Sarl, Paris, Frank- reich
Nobite® Kleidung (2 % Permethrin)	Tropical Concept Sarl, Paris, Frank- reich
Papier-Rundfilter Ø 70 mm, 87 g/m ²	Whatman®, Maidstone, UK
Seesand	Merck KGaA, Darmstadt, Deutsch- land
Sperrholzbrettchen 10 cm x 10 cm	Eigenbau UBA

Tesafilm Breite 12 mm	Beiersdorf AG, Hamburg, Deutschland
Volleigelpulver	Bacstars.de, Bellenberg, Deutschland
Watte 50 % Viskose + 50 % Baumwolle	Lohmann Rauscher International GmbH & Co KG, Karlsruhe, Deutschland
Weizenkleie	Bauck GmbH, Rosche, Deutschland
Zimtpulver (<i>Cinnamomum cassia</i>)	Carat, Netto Marken-Discount AG & Co. KG, Maxhütte-Haidhof, Deutschland
Zimtrindenöl (<i>Cinnamomum cassia</i>)	Mystic Moments, Fordingbridge, UK
Zuchtnester 5 cm x 4 cm x 4 cm	Eigenbau des UBA

2.1.2.5 Köder und Repellentien

2.1.2.5.1 Fraßköderversuche mit Schaben

In Fraßköderversuchen mit *B. germanica* und *P. americana* wurden zwei verschiedene Köderformulierungen eingesetzt. Ein Köder war von pulveriger Konsistenz, während es sich bei dem anderen um einen Flüssigköder handelte. Beide Köder wurden für die Versuche in Eigenfertigung angemischt und enthielten Borsäure als Wirkstoff.

Der pulverige Köder (pK) für die deutschen Schaben enthielt folgende Zutaten (Gewichtsprozent):

- 30 % Eigelbpulver
- 30 % Weizenkleie
- 20 % Bierhefe
- 5 % Saccharose
- 15 % Borsäure

Der pulverige Köder für die amerikanischen Schaben enthielt folgende Zutaten (Gewichtsprozent):

- 26,5 % Eigelbpulver
- 26,5 % Weizenkleie
- 18 % Bierhefe
- 4 % Saccharose
- 25 % Borsäure

Der flüssige Köder (fK) wurde für beide Schabenarten gleichermaßen zubereitet. Es wurde eine Saccharoselösung ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 0,5 mol/l mit Leitungswasser hergestellt, in der 1 % (Gewichtsprozent) Borsäure gelöst wurde.

2.1.2.5.2 Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen

In Fraßköderversuchen mit *T. melanocephalum* in 3-Kammersystemen und 1-Kammersystemen wurde ein Borsäureköder eingesetzt, dieser wurde in Eigenfertigung angemischt und enthielt folgende Zutaten in Gewichtsprozent:

- 30 % Volleigelbpulver
- 30 % Weizenkleie
- 20 % Bierhefe
- 15 % Borsäure
- 5 % Saccharose

In den Fraßköderversuchen mit *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* wurden folgende Köderprodukte eingesetzt:

- Advion® Ameisen Gel mit Wirkstoff Indoxacarb (0,05 g/kg)
- Maxforce® Quantum mit Wirkstoff Imidacloprid (0,3 mg/g)

2.1.2.5.3 Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen

Folgende Substanzen wurden unverdünnt als Repellent getestet:

- Autan® Protection Plus (Icaridin 20 %)
- Kaiser-Natron® (Natriumhydrogencarbonat)
- Margosa-Extrakt 100 %
- Nobite® Haut (DEET 50 %)
- Nobite® Kleidung (Permethrin 2 %)
- Seesand
- Zimtpulver

Verdünnungen wurden eingesetzt von Zimtöl (1:10) und Margosa (1:10). Für 10 ml Verdünnung wurden verwendet:

- Margosa 10 %
 - 9 ml 2-Propanol
 - 1 ml Margosa-Extrakt
- Zimtöl 10 %
 - 9 ml 2-Propanol
 - 1 ml Zimtöl

2.2 Methoden

2.3 Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben

2.3.1 Umsetzen der Versuchstiere

Die Versuchstiere wurden aus den Zuchtkästen in Insektenbehälter umgesetzt, die mit Gazedeckeln zum Transport der Tiere verschlossen wurden. Die Tiere wurden anschließend mit CO₂ betäubt und in Drahtgazeringe eingezählt, welche mit Glasdeckeln abgedeckt wurden. Die Tiere wurden in den Drahtgazeringen in die Versuchssysteme umgesetzt.

2.3.2 Fraßköderversuche in 1- und 2-Kastensystemen

2.3.2.1 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden mit *B. germanica* und *P. americana* vergleichend in einem 2-Kastensystem (Abb. 13 A und C), in dem zwei Boxen mit einer 48 cm langen Röhre (Ø 5 cm) verbunden waren, und einem 1-Kastensystem (Abb. 13 B und D) durchgeführt. Die Boxen in beiden Systemen hatten jeweils eine Grundfläche von 40 cm x 25 cm, die mit Papier ausgeklebt wurde. Die Höhe der Boxen betrug 30 cm. Die Gesamtinnenfläche einer Box betrug somit 0,49 m². In den Boxen wurden den Schaben in beiden Versuchsvarianten zwei Verstecke angeboten. Die Verstecktürmchen bestanden aus drei Sperrholzbrettchen, zwischen denen je zwei Holzspanwürfel (amerikanische Schaben: 3 cm x 3 cm x 1,6 cm und deutsche Schaben: 3 cm x 3 cm x 1 cm) als Abstandhalter dienten (Abb. 13 E). Futter wurde in einer Glasschale (Abb. 13 F) angeboten und Flüssigkeit in einer Tränke (Abb. 13 G), bestehend aus einer Glasschale mit Watte, die mit Wasser vollgesogen war und einer Glasschale als Deckel. An den oberen Rändern der Boxen wurde innen ein etwa 5 cm breiter Streifen Vaseline aufgetragen, damit die Schaben nicht aus den Boxen laufen konnten. Da die Schaben auch die Wände als Lauffläche nutzten, wurden die Wände in die Gesamtlaufläche der Tiere einberechnet. Durch das Auftragen der Vaseline betrug die Gesamtinnenfläche einer Box als Gesamtlaufläche für die Schaben 0,425 m². Als zusätzlicher Ausbruchsschutz für die Schaben wurden die Boxen mit Gaze abgedeckt, die mit Gummibändern befestigt wurde. Auf die mit Gaze abgedeckten Boxen wurde ein Edelstahldeckel gelegt.

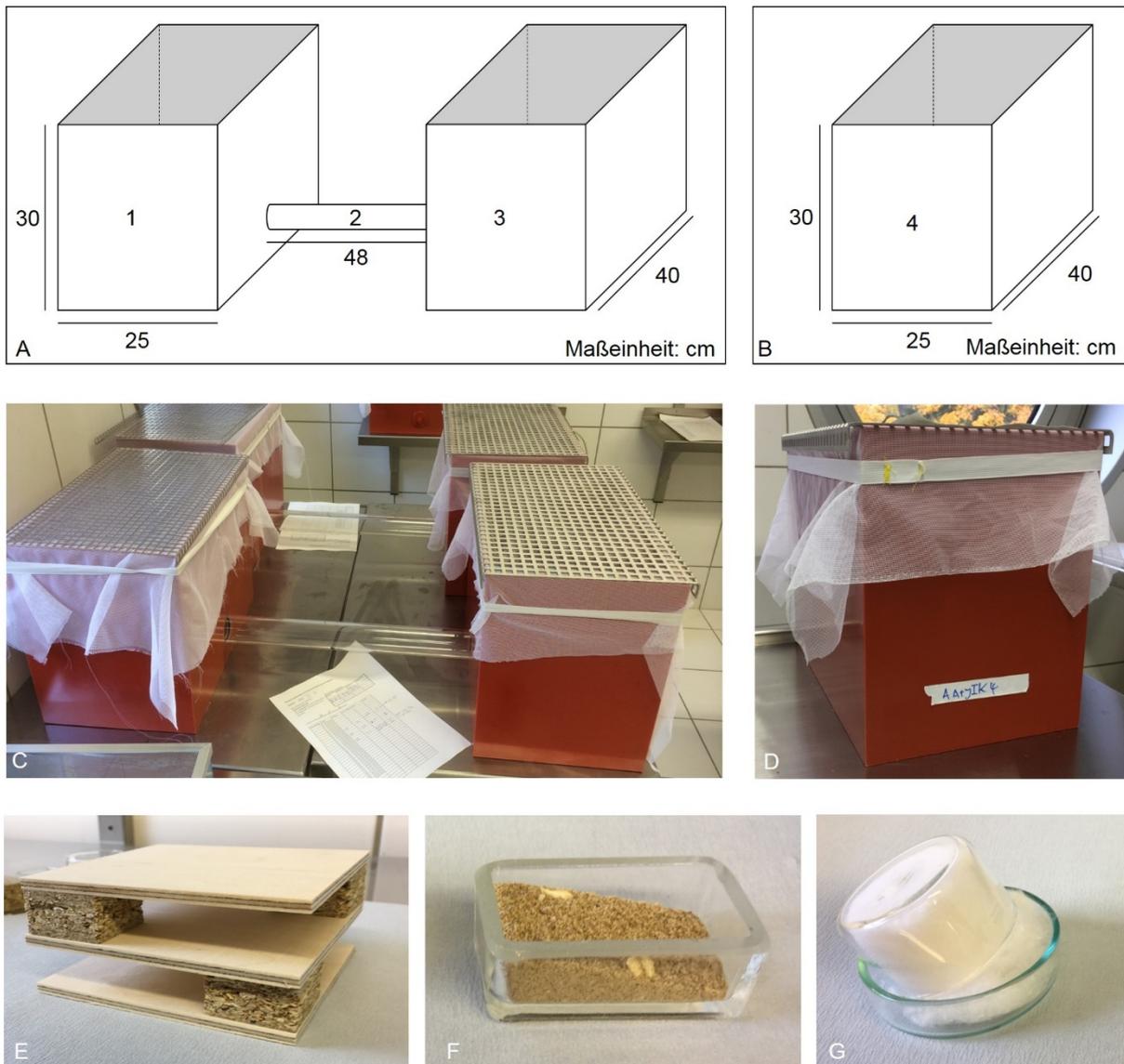


Abb. 13: 1- und 2-Kastensysteme für Fraßköderversuche mit deutschen und amerikanischen Schaben. **A** Schematische Darstellung des 2-Kastensystems (nicht maßstabsgetreu). **B** Schematische Darstellung des 1-Kastensystems (nicht maßstabsgetreu). **C** Aufbau des 2-Kastensystems im Labor. **D** Aufbau des 1-Kastensystems im Labor. **E** Verstecktürmchen für die Schaben. **F** Glasschale mit Futter. **G** Tränke mit Watte. 1 Box mit Versteck, 2 Plexiglasröhre, 3 Box mit Futter und Tränke.

Die Gesamtlaufläche (Grundflächen und Wände der zwei Boxen sowie die Plexiglasröhre) für die Schaben im 2-Kastensystem betrug 0,925 m². In der einen Box befanden sich zwei Verstecktürmchen für die Schaben (Abb. 14). In der anderen Box wurde den Schaben Futter und Wasser angeboten. Nach der Eingewöhnungszeit wurde in diese Box der Köder eingesetzt. Die Distanz zwischen Versteck und Köder betrug etwa 100 cm.

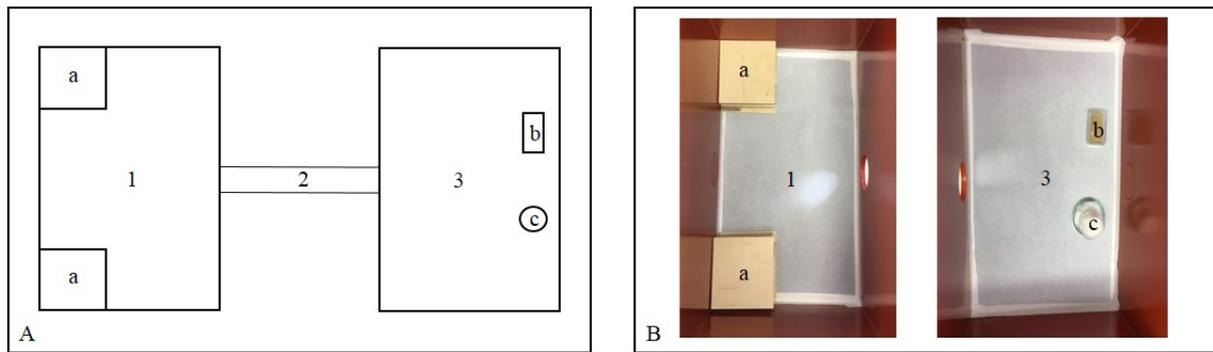


Abb. 14: Anordnung der Materialien im 2-Kastensystem (Aufsicht). **A** Schematische Darstellung des 2-Kastensystems in der Eingewöhnungszeit bzw. Kontrolle (nicht maßstabsgetreu). **B** 2-Kastensystem in der Eingewöhnungszeit bzw. Kontrolle. **1** Box mit Verstecktürmchen (a). **2** Plexiglasröhre zur Verbindung der beiden Boxen. **3** Box mit giftfreiem Futter (b), Tränke mit giftfreiem Wasser (c).

Das 1-Kastensystem (Abb. 15) bestand aus nur einer PVC-Box. Die Gesamtlaufläche für die Schaben in diesem System betrug somit 0,425 m². In der Box befanden sich zwei Verstecktürmchen für die Schaben sowie Futter und Wasser. Nach der Eingewöhnungszeit wurde der Köder neben Futter und Wasser gestellt. Die Distanz zwischen Versteck und Köder betrug etwa 30 cm. Die Temperatur im Versuchsraum betrug 23 °C ± 5 °C und die relative Luftfeuchte 50 % ± 20 %. Beides wurde mit einem Thermohygraphen überwacht.

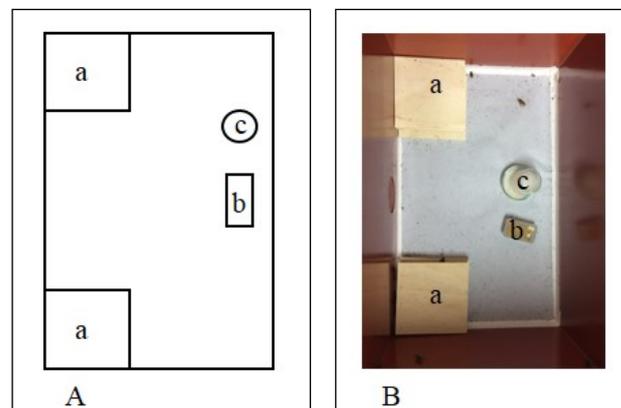


Abb. 15: Anordnung der Materialien im 1-Kastensystem (Aufsicht). **A** Schematische Darstellung des 1-Kastensystems in der Eingewöhnungszeit bzw. Kontrolle (nicht maßstabsgetreu). **B** 1-Kastensystem in der Eingewöhnungszeit bzw. Kontrolle. Box mit giftfreiem Futter (b), Tränke mit giftfreiem Wasser (c).

2.3.2.2 Versuchsdurchführung

Die Eingewöhnungszeit in allen hier beschriebenen Versuchen betrug 3 Tage. In dieser Zeit bekamen die Tiere das Standardfutter der Zucht (s. Kap. 2.1.1.2.1) in einem Glasbehälter sowie Wasser in einer Tränke angeboten.

Zur Ermittlung des möglichen Einflusses der Größe des Testsystems auf das Versuchsergebnis wurden Wahl- und Zwangsversuche in 1- und 2-Kastensystemen (1-KS und 2-KS) mit adulten Tieren beider Arten und zwei Borsäureköderformulierungen durchgeführt (Tab. 2).

In den Wahlversuchen gab es eine giftfreie Alternative zum Köder: In Versuchen mit pulverigem Köder erhielten die Tiere als giftfreie Alternative das Standardfutter der Zucht und zusätzlich Wasser; in Versuchen mit flüssigem Köder erhielten die Tiere als giftfreie Alternative Wasser und zusätzlich das Standardfutter der Zucht.

In den Zwangsversuchen wurde keine Alternative zum Köder angeboten: In Versuchen mit pulverigem Köder gab es nur giftfreies Wasser zum Köder; in Versuchen mit flüssigem Köder erhielten die Schaben das Standardfutter der Zucht zum Köder.

In den Versuchen zur Ermittlung des möglichen Einflusses der Populationszusammensetzung auf das Ergebnis von Wirksamkeitsprüfungen mit Fraßködern wurde nur der flüssige Köder eingesetzt. Es wurden Wahlversuche sowie Zwangsversuche in 1-Kastensystemen in drei unterschiedlichen Populationszusammensetzungen durchgeführt (Tab. 3).

Die Versuche wurden arbeitstäglich kontrolliert, tote Tiere wurden entnommen und die Mortalität dokumentiert.

Die Versuchsdauer betrug insgesamt 31 Tage. Nach Einsetzen der Versuchstiere folgte eine Eingewöhnungszeit von drei Tagen, danach begann die Expositionszeit mit der Beköderung, diese endete nach 28 Tagen.

Tab. 2: Fraßköderversuche zum Vergleich der Größe des Testsystems mit deutschen und amerikanischen Schaben. 1-KS – 1-Kastensystem, 2-KS – 2-Kastensystem. a – adult, j – juvenil, pK – pulveriger Köder, fK – flüssiger Köder

Art	Testpopulation	Köder	Anzahl Replikate im Wahlversuch		Anzahl Replikate im Zwangsversuch	
			1-KS	2-KS	1-KS	2-KS
<i>B. germanica</i>	a	pK	5	5	5	5
	a	fK	6	6	5	5
	j		0	0	5	5
	j + a		0	0	5	5
<i>P. americana</i>	a	pK	6	6	5	5
	a	fK	5	5	5	5
	j		0	0	5	5
	j + a		0	0	5	5

Tab. 3: Fraßköderversuche zum Vergleich der Populationszusammensetzung mit deutschen und amerikanischen Schaben. 1-KS – 1-Kastensystem, a – adult, j – juvenil.

Art	Testpopulation	Anzahl Replikate im Wahlversuch im 1-KS	Anzahl Replikate im Zwangsversuch im 1-KS
<i>B. germanica</i>	a	6	5
	j	5	5
	a + j	5	5
<i>P. americana</i>	a	5	5
	j	5	5
	a + j	5	5

2.3.2.3 Alter und Anzahl der Versuchstiere

Adulte *B. germanica* waren bei Versuchsbeginn etwa 45 Tage alt, während das Alter der juvenilen *B. germanica* zwischen 30 und 40 Tagen betrug. Es wurden folgende Versuchsansätze gewählt:

- Ansätze mit 50 adulten Tieren im Geschlechterverhältnis 1:1
- Ansätze mit 50 juvenilen Tieren
- Gemischte Ansätze mit 30 juvenilen und 20 adulten Tieren (Geschlechterverhältnis 1:1)

Adulte *P. americana* waren bei Versuchsbeginn etwa 98 Tage alt, das Alter der juvenilen *P. americana* betrug zwischen 68 und 88 Tage. Folgende Versuchsansätze wurden gewählt:

- Ansätze mit 40 adulten Tieren im Geschlechterverhältnis 1:1
- Ansätze mit 40 juvenilen Tieren
- Gemischte Ansätze mit 20 juvenilen und 20 adulten Tieren (Geschlechterverhältnis 1:1)

2.3.2.4 Kontrollansätze

Kontrollen (Abb.15) wurden jeweils in 1-Kastensystemen im selben Laborraum mitgeführt. In diesen Kontrollen wurde den Schaben das Standardfutter (s. Kap. 2.1.1.2.1) und Wasser *ad libitum* zur Verfügung gestellt.

2.3.3 Monitoringsysteme zur Schabendetektion

2.3.3.1 Laborraum für die Prüfung von Monitoringsystemen

Um Monitoringsysteme für Schaben testen zu können, wurde zunächst ein Laborraum ausbruchssicher für Schaben gestaltet (Abb. 16 und 17). Hierfür wurde eine Trennwand aus TRESPA® in den Laborraum eingebaut, die säure-, basen- und hitzebeständig war, um im Anschluss an Versuche Reinigungen sowie Wärmeentwesungen durchführen zu können. Diese Trennwand wurde zusätzlich mit einer Elektrobarriere versehen, um ein Entkommen der

Schaben beim Öffnen der Tür innerhalb der Trennwand zu vermeiden. Die Elektrobarriere bestand aus zwei zum Teil überlappenden und an diesen Stellen isolierten Metallklebebändern, die Strom leiteten. Dafür wurde Wechselstrom mit Hilfe eines Netzteils in Gleichstrom umgewandelt, der mit einer Spannung von 24 V und 2,5 A Stromstärke durch die beiden verschiedenpoligen Metallklebebänder geleitet wurde. Sobald eine Schabe beide Pole berührte, wurde sie durch einen leichten Stromschlag, der bei ihr nicht zu Schädigungen führte, von der Trennwand vertrieben. Eine Batterie wurde dazugeschaltet, die bei Stromausfall einsprang und so eine dauerhafte Strombarriere garantierte.

Den Schaben wurden zwei verschieden große Europoolpaletten, ein Regal, ein Eierkarton und ein Nahrungsmittelkarton, auf dem Futter und Wasser positioniert waren, als Verstecke angeboten, die Grundfläche des Raumes betrug 4,47 m².

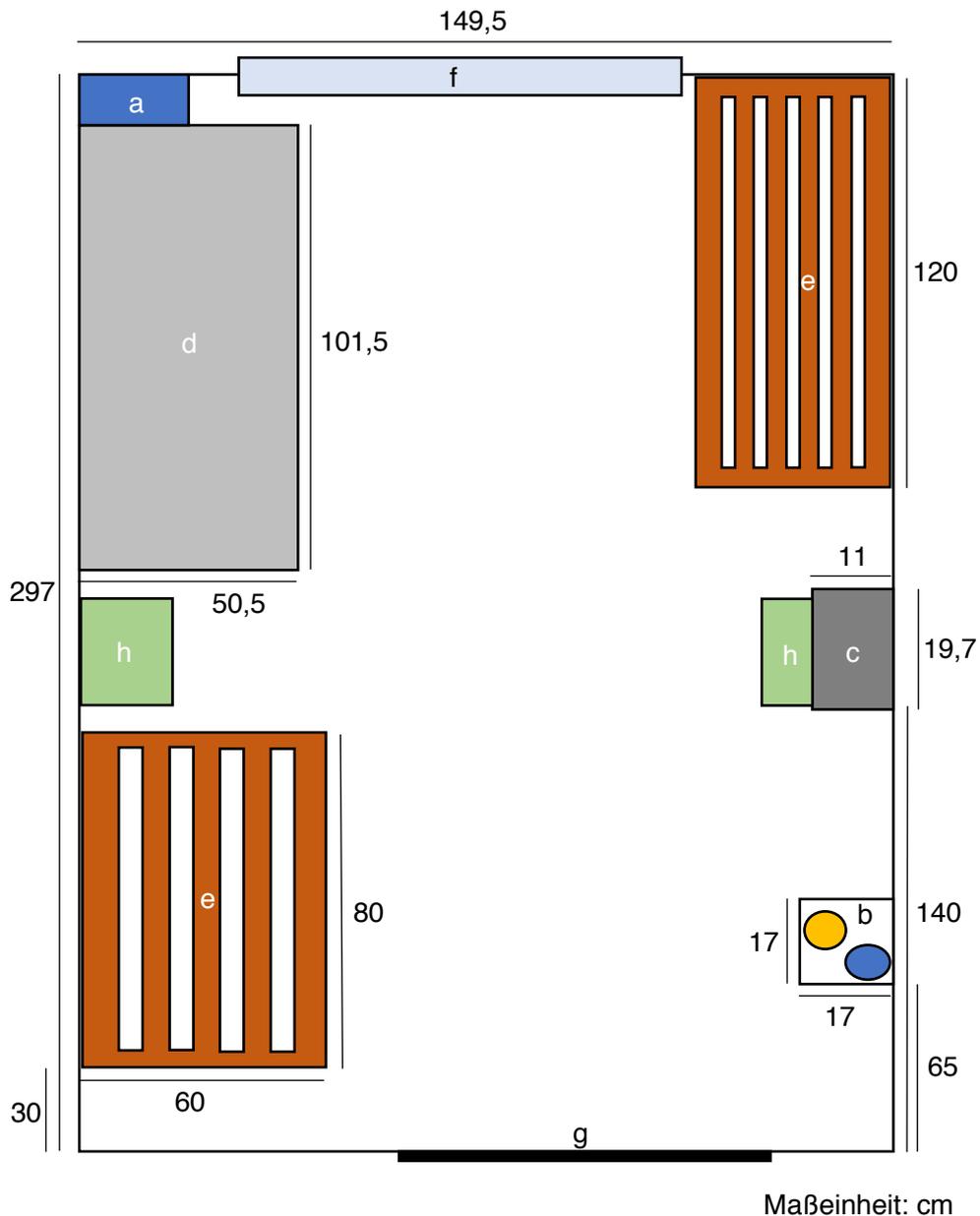


Abb. 16: Schematische Darstellung des Versuchsraums für die Monitoringversuche mit Kamerasystem und Klebefallen mit deutschen, orientalischen und amerikanischen Schaben (nicht maßstabsgetreu). Eierkarton als Versteck (a), Futterplatz mit Standardzuchtfutter, Apfel und Wasser (b), Kamerasystem (c), Edelstahlregal (d), Europoolpalette (e), Fenster (f), Tür in der Trennwand (g) und Klebefallen (h). In den Aktivitätsversuchen wurden keine Klebefallen eingesetzt.

In den Versuchen wurden Klebefallen (Kap. 2.3.3.3) und ein Prototyp eines Kamerasystems (Kap. 2.3.3.2) mit einer Bildbearbeitungssoftware, die zur Detektion und Bestimmung von deutschen, orientalischen und amerikanischen Schaben entwickelt wurde, getestet. Es wurden Versuche mit jeweils 15 Schaben (5 Männchen, 5 Weibchen, 5 Juvenile) und drei Schaben (1 Männchen, 1 Weibchen, 1 Juvenile) durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug mindestens drei und maximal sieben Tage. Während der gesamten Versuchszeit wurde der Versuchsraum nicht betreten.



Abb. 17: Versuchsraum für die Monitoringversuche mit deutschen, orientalischen und amerikanischen Schaben. Bei Versuchen mit Klebefallen wurden diese an den mit x markierten Stellen platziert. **A** Sicht Richtung Fenster von der Tür der Trennwand aus. **B** Sicht Richtung Trennwand vom Fenster aus. Am Rand der Trennwand befand sich umlaufend die Elektrobarriere. Eierkarton als Versteck (a), Futterplatz mit Standardzuchtfutter, Apfel und Wasser (b), Kamerasystem (c), Edelstahlregal (d), Europoolpalette (e), Fenster mit Abklebung des Rahmens zur Ausbruchssicherung (f), Netzteil des Kamerasystems (g), Abklebung des Gullis zur Ausbruchssicherung (h), Trennwand mit Tür (i) und Abklebung einer Aussparung zur Starkstromversorgung für anschließende Wärmeentwässerung (j).

2.3.3.2 Kamerasystem

Das Kamerasystem mit der Bildbearbeitungssoftware (Abb. 18) wurde in Vorversuchen trainiert, Schaben zu erkennen. Dabei wurde festgestellt, dass eine Klassifizierung der jeweiligen Schabenart nicht fehlerfrei möglich war, aber die Detektion der Schaben, die unter dem System entlangliefen, war erfolgreich, was für die hier durchgeführten Versuche entscheidend war. Das Kamerasystem (Außenabmessung 19,7 cm x 11,5 cm x 9,5 cm) befand sich auf einer speziell angefertigten Edelstahlhalterung, die an einer Platte angeschraubt war, welche an die Wand angeklebt wurde. Der Abstand zwischen Kamera und Boden betrug 60 cm, die Bilder wurden mit einer Auflösung von 0,234 mm/px aufgenommen. Die Stromversorgung wurde durch das Anschließen des Systems mit einem Netzteil an eine Steckdose gewährleistet. Das Kamerasystem war mit Infrarotbeleuchtung und einer Infrarot-sensitiven Kamera ausgestattet, so dass Aufnahmen mit und ohne Beleuchtung des Raumes gemacht werden konnten. Bei Versuchsbeginn wurde das Kamerasystem eingeschaltet. Eine am System angebrachte LED leuchtete daraufhin grün. Die Kamera nahm während des Betriebs permanent temporäre Bilder auf, die mit den vorangegangenen Bildern verglichen wurden. Bildaufnahmen ohne Änderung zum vorherigen Bild wurden verworfen, um den Speicher nicht unnötig zu füllen. Bei einer signifikanten

Änderung in den aufgenommenen Bildern wurde die aktive Bildaufnahme gestartet. Das Ereignis wurde durch eine rot blinkende LED angezeigt. Aufgenommene Bilder wurden auf einem angeschlossenen USB-Stick gespeichert und durch die Bildbearbeitungssoftware auf das Vorhandensein von Schaben überprüft. Die aufgezeichneten Ereignisse wurden gezählt und eine positive Schaben-Detektion auf dem Monitor sowie am Gerät mittels einer dauerhaft rot leuchtenden LED angezeigt. Die auf dem USB-Stick gespeicherten Bilder wurden am Computer aufgerufen und visuell auf eine korrekte Detektion überprüft.

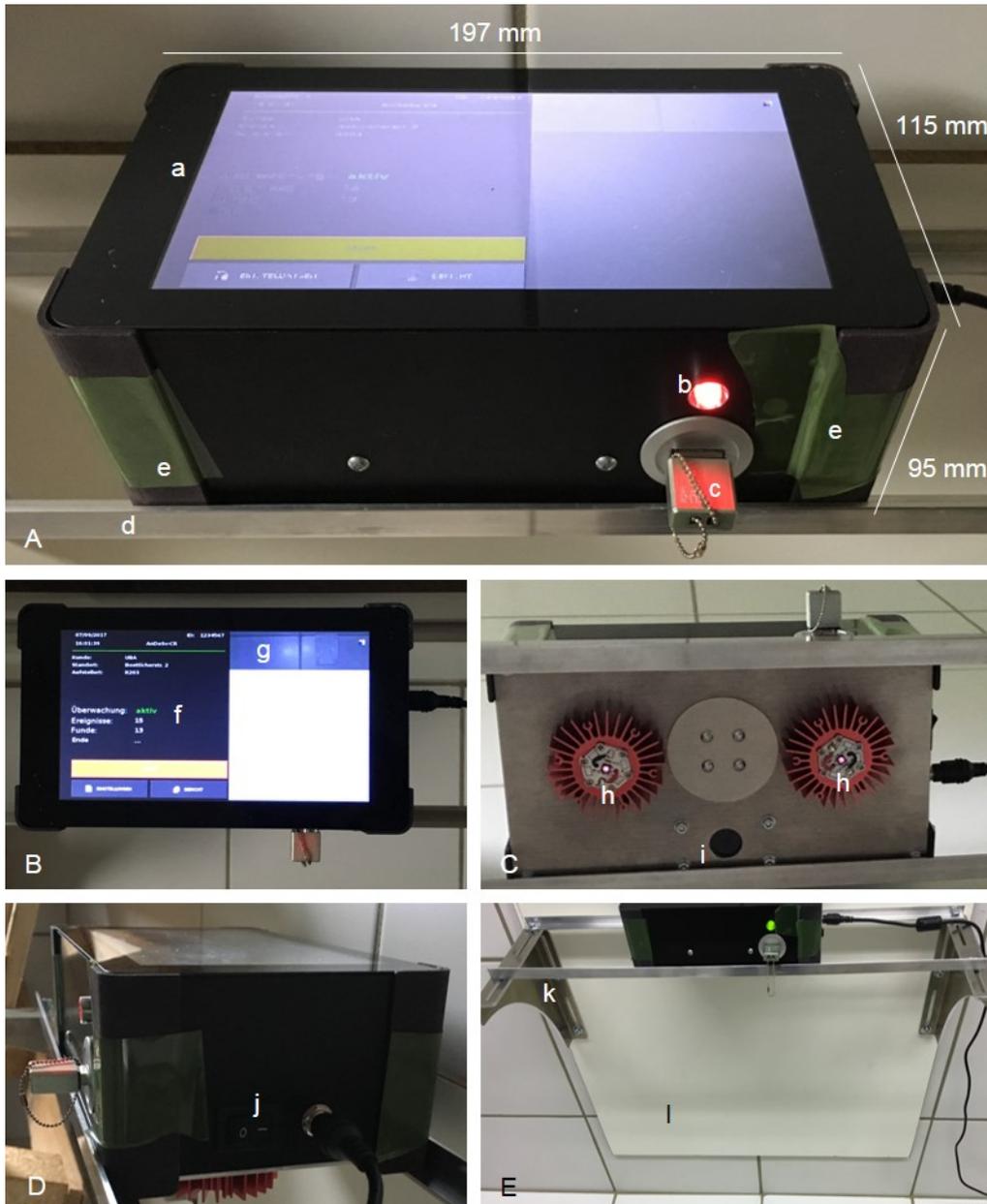


Abb. 18: Kamerasystem, welches in den Monitoringversuchen eingesetzt wurde. **A** Kamerasystem während des Betriebs. **B** Sicht auf Oberseite des Kamerasystems. **C** Sicht auf Unterseite des Kamerasystems. **D** Sicht auf Seite des Kamerasystems mit Anschluss des Netzteils. **E** Halterung für das Kamerasystem. Display mit Touchscreen auf Oberseite (a), LED zur Anzeige ob System läuft und Schaben detektiert wurden (b), USB-Stick zum Speichern der Fotos, auf denen Schaben detektiert wurden (c), Halterung der Kamera (d), Löcher im Kamerasystemgehäuse mit Klebeband abgeklebt (e), Bedienmenü (f), Livebild (g), Infrarotbeleuchtung (h), Kamera (i), An- und Ausschalter des Systems (j), Edelstahlgestell (k) auf Platte (l) angeschraubt.

2.3.3.3 Klebefallen

Es wurden je zwei Klebefallen eines Modells gegenüberliegend an den Längswänden des Versuchsraumes eingesetzt (Abb. 19). Eine der zwei in den Versuchen verwendeten Klebefallen wurde direkt unter dem Kamerasystem platziert. So konnten die beiden Monitoringsysteme direkt miteinander auf ihre Effektivität verglichen werden. Außerdem wurde mit Hilfe der Kamera eine Beobachtung der Aktivität der Schaben an der Klebefalle möglich. Die Versuchsdauer betrug mindestens 3 Tage. Der Versuch wurde beendet, wenn alle Tiere in den Klebefallen gefunden wurden. Wenn kein Tier oder nicht die Gesamtzahl der eingesetzten Tiere in der Klebefalle war, wurde der Versuch nach spätestens 7 Tagen beendet.

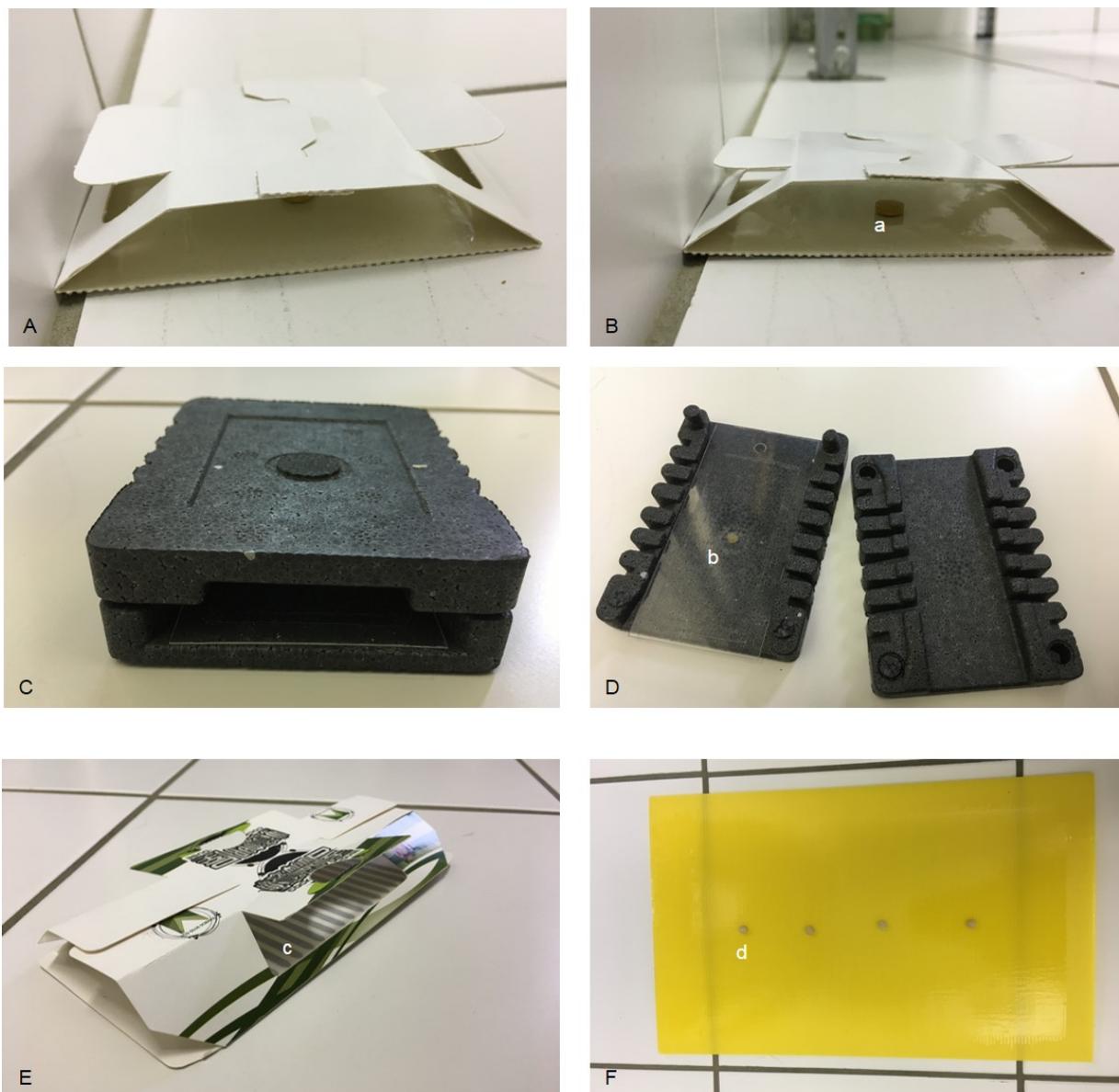


Abb. 19: Klebefallen. **A** und **B** weiße Klebefalle mit Lockstofftablette (a). **C** Styroporklebefalle. **D** Geöffnete Styroporklebefalle mit Lockstoffpulver (b). **E** Große Klebefalle mit Lockstoffen (c) im Leim. **F** Gelbe Leimplatte mit 4 Lockstofftabletten (d).

2.3.4 Aktivitätsversuche

In den Fraßköderversuchen ergaben sich Unterschiede zwischen Männchen, Weibchen und Juvenilen bis zum Erreichen der LT_{50} und LT_{95} . In den Versuchen zur Aktivität sollte daher untersucht werden, ob dies auf eine grundsätzlich unterschiedlich starke Aktivität der einzelnen Gruppen (Männchen, Weibchen und Juvenile) und damit einhergehend auf eine größere aufgenommene Menge oder eine schnellere Verstoffwechslung des insektiziden Wirkstoffs zurückzuführen war. Die Versuche zur Aktivität wurden mit einem Kamerasystem zur Schabenerkennung durchgeführt (s. Kap. 2.3.3.2), in dem unter Kap. 2.3.3.1 beschriebenen Laborraum.

Es wurden je Versuch insgesamt 15 *B. germanica* bzw. 15 *P. americana* eingesetzt: 5 Männchen, 5 Weibchen und 5 Juvenile. Die eingesetzten Schaben hatten das gleiche Alter wie in den Fraßköderversuchen (s. Kap. 2.3.2.3). Die Schaben wurden einzeln mit Nummern markiert (Abb. 20). Zu diesem Zweck wurden die mit CO_2 betäubten Schaben zuerst mit Alkohol abgerieben, trocken getupft und anschließend die nummerierten Schilder mit Nagelkleber befestigt.



Abb. 20: Betäubte, mit Nummern markierte *P. americana*. **A** Männliche *P. americana* mit Nummern 1-5 markiert. **B** Weibliche *P. americana* mit Nummern 6-10 markiert.

Die Schaben wurden in einen Eierkarton eingesetzt, der während des Versuchs auch als Versteck diente, und in der hinteren linken Ecke des Versuchsraums (Abb. 16 und 17) platziert. Futter und Wasser wurden an der vorderen rechten Ecke des Raumes angeboten, so dass die Schaben durch den Versuchsraum laufen mussten, um zum Futter zu gelangen. An der rechten Wand war das Kamerasystem befestigt. Anhand der Bildaufnahmen konnte die Aktivität der einzelnen Individuen ermittelt, verglichen und außerdem tageszeitabhängige Aktivitätsmuster ermittelt werden.

2.3.5 Statistische Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde mit Prism 7 for Mac OS X (Version 7b, September 30, 2016, GraphPad Software, Inc.) durchgeführt.

Zum Vergleich der verschiedenen Versuchsvarianten wurden die LT_{50} und die LT_{95} ermittelt. Wurde innerhalb des Versuchszeitraums keine Mortalität von 50 % bzw. 95 % erreicht, wurde für diese Replikate für die LT_{50} bzw. LT_{95} Tag 29 eingesetzt, welcher außerhalb des Versuchszeitraums lag, damit eine Auswertung erfolgen konnte. Die LT_{50} - und LT_{95} -Werte wurden mit nichtparametrischen t-Tests (Mann-Whitney-U-Test bei zwei zu vergleichenden Gruppen, Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test bei drei zu vergleichenden Gruppen) auf signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) geprüft.

Die Spannweite ($R = x_{\max} - x_{\min}$) diente als Darstellung zur Streuung der LT_{50} und LT_{95} der Versuchstiere in den einzelnen Replikaten.

Vergleiche zwischen der Anzahl gefangener Tiere in beiden Klebefallen innerhalb eines Versuchs wurden mit nichtparametrischen Wilcoxon-Tests auf signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) überprüft. In den Grafiken wurden signifikante Unterschiede innerhalb der Ergebnisse durch einen Asterisken (*) gekennzeichnet.

2.4 Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen

2.4.1 Versuche mit *T. melanocephalum* im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem

2.4.1.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsaufbauten standen auf doppelwandigen PVC-Tischen, die als zusätzlicher Ausbruchsschutz für die Versuchstiere dienten. Die Tische waren am Rand durch eine Wand (5 cm hoch) begrenzt. Im Abstand von 5 cm folgte eine zweite Wand. In diesen Zwischenraum wurde etwa 3 cm hoch Paraffinöl gefüllt, so dass entflohenen Versuchstiere darin ertranken.

Als Versuchssysteme dienten Glasarenen mit Deckel (30 cm x 20 cm x 20 cm), die auf Styroporklötzchen (Höhe 2,5 cm) auf Heizmatten standen. Die mit einem Thermostat gekoppelten Heizmatten garantierten eine Temperatur von etwa 25 °C in den Ameisenarenen und damit eine ausreichend hohe Aktivität der Tiere. Die Styroporklötzchen verhinderten als Abstandhalter zwischen Heizmatte und Arena einen Hitzestau in den Glasarenen. Zwischen die Styroporklötzchen und die Ameisenarenen wurde ein Blatt Filterpapier gelegt, damit die Ameisen im Versuch besser beobachtet werden konnten. An den oberen Rändern der Innenseiten der Ameisenarenen wurde eine ca. 3 cm breite Schicht Raupenleim aufgetragen, die als Ausbruchsschutz diente.

Als Nest wurde den Ameisen ein Holzklötzchen (30 mm x 30 mm, Höhe 13 mm) mit einem ausgefrästen runden Hohlraum (\varnothing 25 mm, Höhe 6 mm) angeboten. Jeweils eine Bohrung (\varnothing 1 mm) an den Seiten des Nests diente als Zugang für die Ameisen. Das Nest war mit einem Glasdeckel von Mikroskopiernäpfchen (40 mm x 40 mm) abgedeckt und um störendes Licht für die Ameisen im Nest zu vermeiden, wurde ein PVC-Deckel (40 mm x 40 mm) daraufgelegt. So war eine visuelle Beobachtung der Population im Nest möglich.

Das 3-Kammersystem (Abb. 21) bestand aus drei einzelnen Ameisenarenen bzw. Kammern (30 cm x 20 cm x 20 cm), die mit 30 cm langen Schläuchen (\varnothing innen: 12 mm) miteinander verbunden waren. Die Gesamtauffläche in den drei Kammern und zwei Schläuchen betrug 7126 cm². An der kürzeren Seite der Nistkammer war das oben beschriebene Nest positioniert. Eine weitere Nestvariante war die Übernahme der Zuchtnester (5 cm x 4 cm x 4 cm) mitsamt dem darin lebenden Volk in die Versuchsarenen, da *T. melanocephalum* nicht immer in die Holznester umsiedelte. Diese Zuchtnester bestanden aus durchsichtigem Plastik. Der Boden war etwa 5 mm dick mit Gips ausgegossen und mit Wasser befeuchtet. In diesen Nestern dienten mit Wasser befeuchtete geknüllte Kosmetiktücher als Nistmaterial. Auf der gegenüberliegenden anderen kurzen Seite der Nistkammer war ein Schlauch als Verbindung zur nächsten Kammer angeschlossen, wo während der Expositionszeit der Köder mittig in einer kleinen Glaspetrischale (\varnothing 40 mm, Höhe 12 mm) angeboten wurde. Diese Kammer (Giftkammer) war wiederum mit einem Schlauch mit der nächsten Kammer (Futterkammer) verbunden, in der auf der gegenüberliegenden Seite von der Schlauchverbindung Futter und Wasser angeboten wurden. Unter allen Arenen lagen Filterpapiere, um den optischen Kontrast zur Beobachtung der Ameisen zu verbessern. Alle Arenen wurden mit Deckeln verschlossen, in deren Mitte für den Luftaustausch ein Gazestreifen eingelassen war.

Die Anzahl der durchgeführten Replikate ist in Tab. 4 aufgeführt.

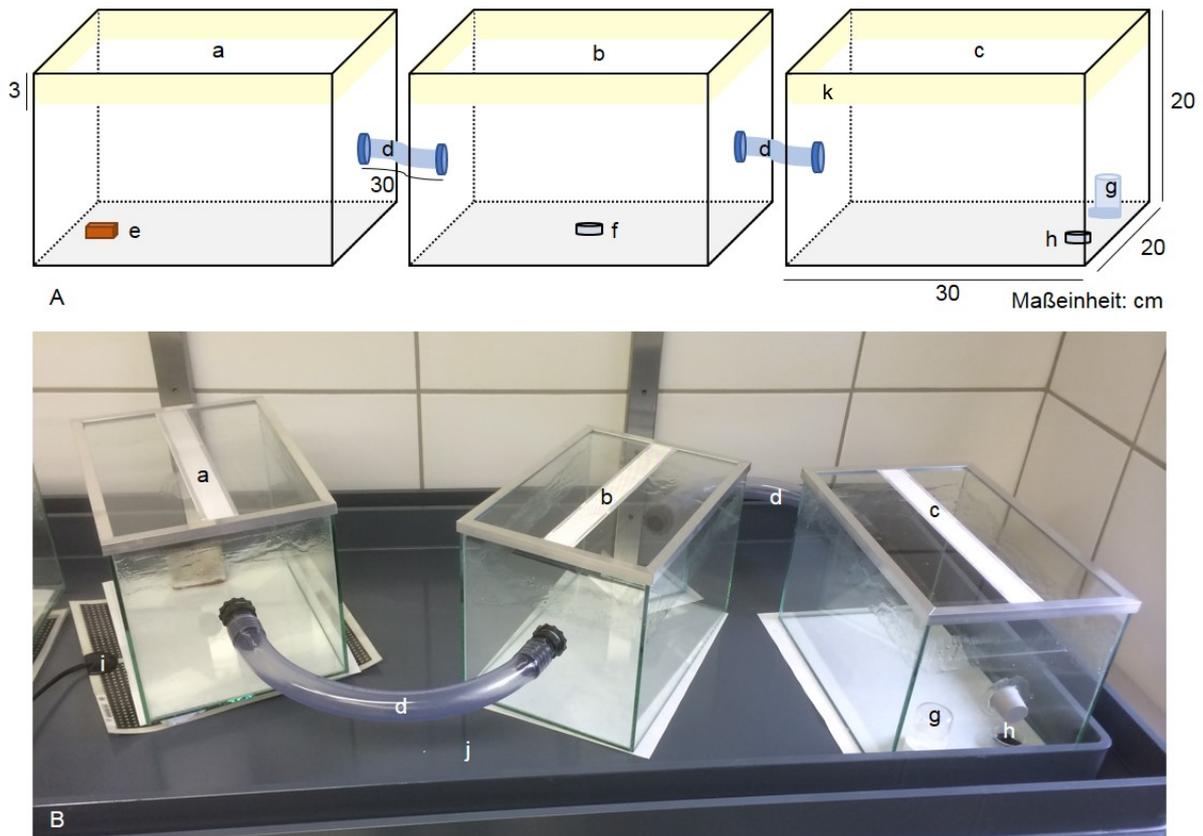


Abb. 21: 3-Kammersystem. **A** Schematische Darstellung des 3-Kammersystems (nicht maßstabsgetreu). **B** Fotografische Darstellung des 3-Kammersystems. Nistkammer (a), Giftkammer (b) und Futterkammer (c) verbunden mit Schläuchen (d), Nest (e), Köder (f), Tränke (g), Futter (h), Heizmatte unter Nistkammer (i), doppelwandiger PVC-Tisch (j) und Raupenleimbarriere (k).

Das 1-Kammersystem war eine Kristallisierschale (\varnothing 23 cm, Höhe 10 cm) mit einer Grundfläche von 415 cm², in der sich ebenfalls ein Nest und gegenüberliegend Futter, Tränke und Köder befanden (Abb. 22). Am oberen Rand wurde eine etwa 3 cm breite Raupenleimschicht aufgetragen. Die Gesamtauflfläche für die Ameisen betrug somit 920 cm². Das 1-Kammersystem stand wie die Nistkammern des 3-Kammersystems auf Styroporklötzchen über einer Heizmatte. Um die Ameisen besser beobachten zu können, wurde ein Filterpapier zwischen Schale und Styroporklötzchen gelegt.

Die Temperatur im Versuchsraum betrug $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ und die relative Luftfeuchte $50\% \pm 20\%$. Beides wurde mit einem Thermohygrographen überwacht.

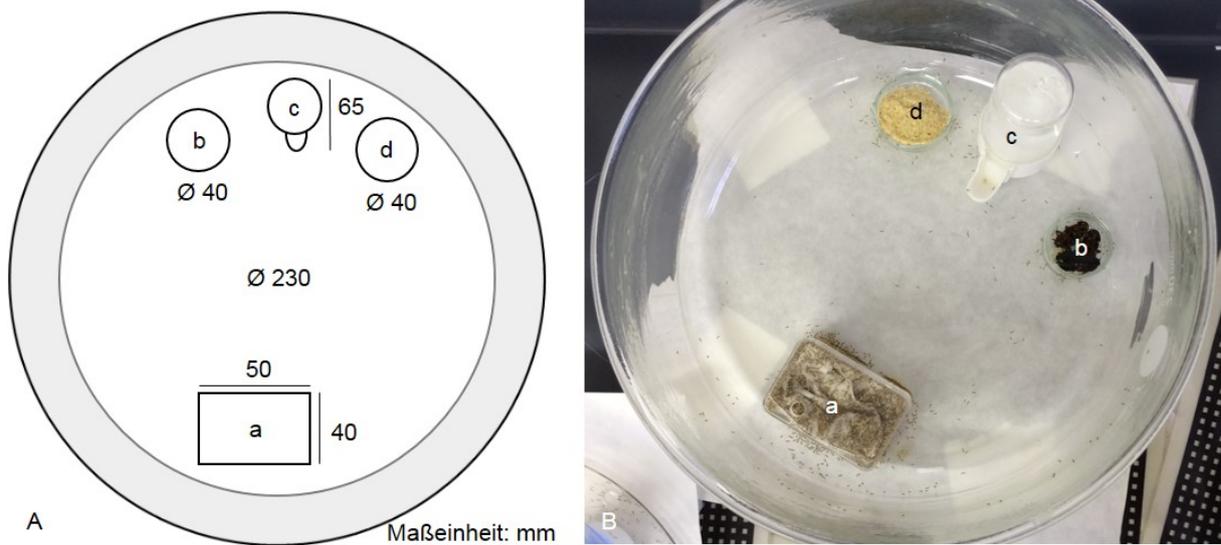


Abb. 22: Aufbau des 1-Kammersystems in der Kristallisierschale. **A** Schematische Darstellung des Systems. **B** Fotografische Darstellung des Systems. Nest (a), Futter (b), Tränke (c) und Köder (d).

2.4.1.2 Versuchsdurchführung

Die Völker, die in die Versuchsarenen überführt wurden, bestanden aus mehreren hundert Arbeiterinnen, mindestens fünf Königinnen und Brut. Während der Eingewöhnungszeit bekamen die Ameisen Wasser und tote Schaben und konnten außerdem ihre Wege zur Nahrungsquelle etablieren. Nach der Eingewöhnungszeit wurde 1 g Köder mittig in die Giftkammer (3-Kammersysteme) bzw. neben Futter und Tränke (1-Kammersysteme) gestellt. Futter, Wasser und Köder wurden wöchentlich gewechselt. Während des Versuchs wurden tote Königinnen entnommen und gezählt. Die Versuche waren beendet, wenn eine Tilgung erreicht war, also alle Tiere (Königinnen, Arbeiterinnen, Brut) tot waren. War dies nicht der Fall, wurden nach 80 Tagen die Versuche aufgelöst und lebende Königinnen und Arbeiterinnen gezählt.

2.4.2 Versuche mit unterschiedlich großen 1-Kammersystemen

2.4.2.1 Versuchsaufbau

Die Versuchsarenen (Abb. 23) standen auf Heizmatten auf PVC-Tischen (Kap. 2.4.1.1). Die Ameisenarenen hatten unterschiedlich große Grundflächen. In den kleinen Arenen betrug die Grundfläche 30 cm x 20 cm (Lauffläche: 600 cm²), in den großen Arenen war diese 60 cm x 30 cm (Lauffläche: 1800 cm²). Die Seitenwände waren 20 cm hoch, wurden allerdings mit einer etwa 3 cm breiten Schicht Raupenleim als Ausbruchsschutz bestrichen, so dass sich Gesamtlauflächen von 2300 cm² und 4860 cm² ergaben. Die Glasarenen standen auf doppelwandigen PVC-Tischen und unter ihnen lagen Heizmatten (Kap. 2.4.1.1). An den Rand einer der beiden kürzeren Seiten wurde mittig das Nest (Kap. 2.4.1.1) für die Ameisen gestellt. Auf der gegenüberliegenden Seite der Versuchsarena wurden Wasser in einer Tränke und tote

amerikanische oder orientalische Schaben in einer kleinen Petrischale (\varnothing 40 mm) angeboten. Die Arenen besaßen jeweils einen Glasdeckel, in dessen Mitte Glas durch Gaze ersetzt war. Die Temperatur im Versuchsraum betrug $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ und die relative Luftfeuchte $50\% \pm 20\%$. Beides wurde mit einem Thermohygrographen überwacht. Die Anzahl der durchgeführten Versuche ist in Tab. 4 aufgeführt.

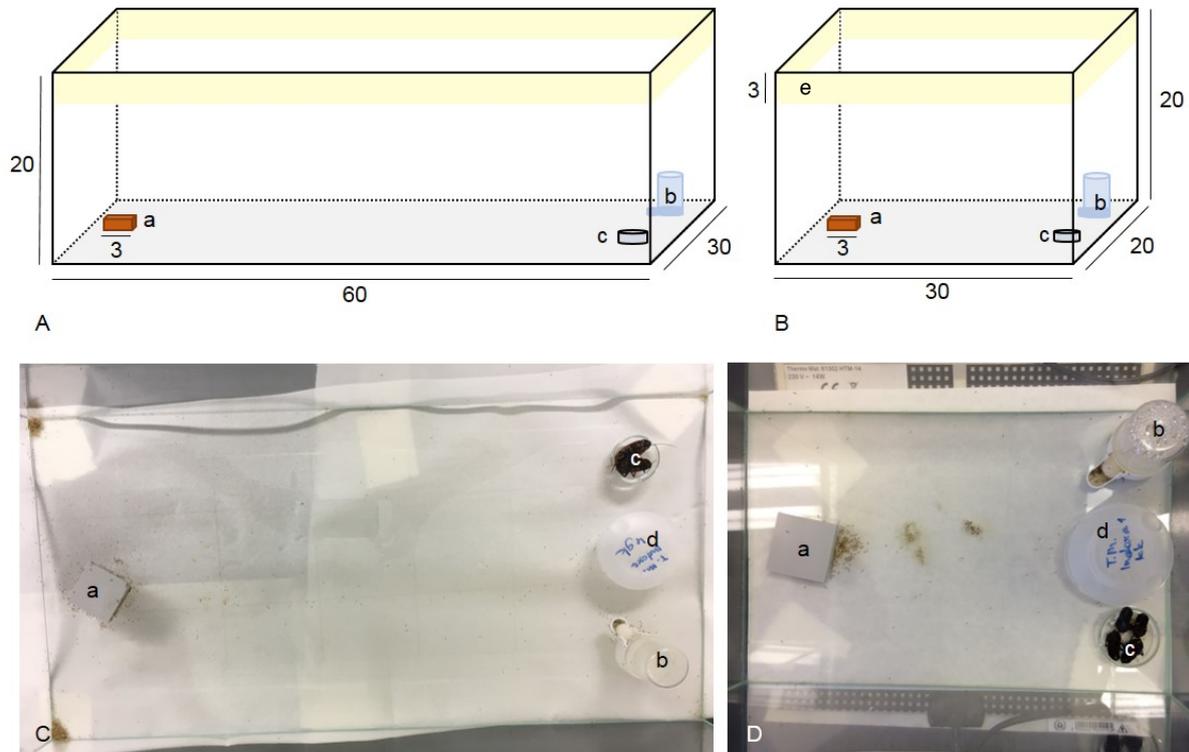


Abb. 23: Aufbau der 1-Kammersysteme. **A** Schematische Darstellung der großen Arena in der Eingewöhnungsphase. **B** Schematische Darstellung der kleinen Arena in der Eingewöhnungsphase bzw. als Kontrolle. **C** Große Arena während des Versuchs (Aufsicht). **D** Kleine Arena während des Versuchs (Aufsicht). Nest (a), Tränke (b), Futterschale (c), Köder (d) und Raupenleimbarriere (e).

2.4.2.2 Versuchsdurchführung

Nester oder Teile von Nestern wurden aus den Zuchtgläsern in die Versuchsarenen überführt. Diese bestanden aus mehreren hundert Arbeiterinnen, mindestens fünf Königinnen und Brut. Während der einwöchigen Eingewöhnungszeit wurde den Ameisen Wasser und ungiftiges Futter in Form von toten Schaben angeboten. Zu Beginn der Expositionszeit wurde der Köder zwischen Futter und Tränke in einer Leerköderdose angeboten. Dieser wurde zweiwöchentlich frisch nach Herstellerangaben, auf die Gesamtlaufläche berechnet, abgewogen in die Köderdose gefüllt (Imidacloprid: große Arenen $97\text{ mg} \pm 5\text{ mg}$ und kleine Arenen $46\text{ mg} \pm 5\text{ mg}$; Indoxacarb: große Arenen $250\text{ mg} \pm 5\text{ mg}$ und kleine Arenen $125\text{ mg} \pm 5\text{ mg}$). Ab Beginn der Exposition wurden einmal wöchentlich Fotos von den im System aktiven Arbeiterinnen aufgenommen, wenn eine hohe Aktivität bestand und die Ameisen visuell nicht gezählt werden konnten. Dies war ab etwa 50 aktiven Tieren der Fall. Die auf den Fotos sichtbaren Ameisen wurden

am PC ausgezählt. Während des Versuchs wurden tote Königinnen entnommen und gezählt. Die Versuche waren beendet, wenn die Tilgung erreicht war und Königinnen, Arbeiterinnen und Brut tot waren. War dies nicht der Fall, wurden die Versuche nach 80 Tagen aufgelöst und lebende Königinnen und Arbeiterinnen gezählt.

Tab. 4: Übersicht über die vergleichenden Fraßköderversuche mit Ameisen.

Versuch	Testsystem	Art	Wirkstoff	Anzahl Replikate
Vergleich von 1-Kammersystem und 3-Kammersystem	1-Kammersystem	<i>T. melanocephalum</i>	Borsäure	5
	3-Kammersystem	<i>T. melanocephalum</i>	Borsäure	6
Vergleich von kleiner Arena und großer Arena	kleine Arena	<i>T. melanocephalum</i>	Imidacloprid	5
			Indoxacarb	5
		<i>M. pharaonis</i>	Imidacloprid	5
			Indoxacarb	6
	große Arena	<i>T. melanocephalum</i>	Imidacloprid	5
			Indoxacarb	5
		<i>M. pharaonis</i>	Imidacloprid	5
			Indoxacarb	5

2.4.3 Statistische Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde mit Prism 7 for Mac OS X (Version 7b (September 30, 2016, GraphPad Software, Inc.) durchgeführt.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Versuchssystemen und den Substanzen in den Versuchen mit *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* wurden mit nichtparametrischen t-Tests (Mann-Whitney-U-Test) auf Signifikanz (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) geprüft. Wurde innerhalb des Versuchszeitraums keine Tilgung erreicht, wurde für diese Replikate der Tag 90 eingesetzt, welcher außerhalb des Versuchszeitraums lag, damit eine Auswertung erfolgen konnte. In den Grafiken wurden signifikante Unterschiede durch einen Asterisken (*) gekennzeichnet.

2.5 Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen

2.5.1 Repellentienversuche mit Ameisen

Zwei Versuchssysteme wurden für die Prüfung der Wirksamkeit von Repellentien gegen Ameisen herangezogen. Zum einen waren dies ein Schnelltest, der *forced choice*-Test (KRÜGER et

al. 2017) und ein *simulated use*-Test als Wahlversuch, der im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurde, die Versuche sind in Tab. 5 aufgeführt.

Seesand, Natron, Zimtpulver, Zimtöl 10 %, Margosa 100 %, Margosa 10 % und DEET 50 % (Nobite® Haut) wurden als repellierende Substanzen verwendet. Die Substanzen sollten ein möglichst breites Spektrum der repellierenden Wirkung aufweisen (nicht repellierend bis stark repellierend), um zu ermitteln, ob die Testsysteme eine Einordnung einer unterschiedlichen starken Wirkung möglich machen.

Tab. 5: Übersicht der Repellentienversuche mit Ameisen.

Testsystem	Ameisenarten	Substanz	Anzahl Replikate
<i>forced choice</i> -Test	<i>L. niger</i> <i>M. pharaonis</i> <i>T. melanocephalum</i>	DEET	7
		Margosa 100 %	7
		Margosa 10 %	7
		Zimtpulver	7
		Zimtöl	7
		Seesand	7
		Natron	7
		Kontrolle	7
<i>simulated use</i> -Test	<i>M. pharaonis</i> <i>T. melanocephalum</i>	DEET	7
		Margosa 100 %	7
		Margosa 10 %	7
		Zimtpulver	7
		Zimtöl	7
		Seesand	7
		Natron	7
		Kontrolle	7
	<i>L. niger</i>	DEET	2
		Zimtpulver	2

2.5.1.1 *Forced choice*-Test mit Ameisen

2.5.1.1.1 Versuchsaufbau

Für die *forced choice*-Tests wurde eine abgewandelte Variante eines Aufbaus zum Testen von Repellentien gegen Ameisen, beschrieben von DANI et al. (1996), verwendet. Das Testsystem (Abb. 24) bestand aus einer Petrischale (Ø 9 cm für *L. niger* und *M. pharaonis*, Ø 50 mm für *T. melanocephalum*), die auf einem auf der Öffnung stehendem Becherglas positioniert war. Das Becherglas stand, um das Ausbrechen der Ameisen zu verhindern, in einer Kristallisierschale (Ø 23 cm, Höhe 10 cm) mit Seifenwasser. Die Petrischale, in der sich die Tiere anfangs befanden, war an der Innenseite der Ränder mit Fluon® bestrichen. An einer Stelle, mit einer

Breite von etwa 45 mm, war die Fluonbeschichtung unterbrochen, so dass dort die Ameisen hochlaufen konnten. An dieser Stelle setzten zwei Objektträger (76 mm x 26 mm) an, die als Brücken jeweils zu einem weiteren Becherglas dienten. Die Unterseite der Objektträger war ebenfalls mit Fluon® beschichtet, so wurden die Ameisen gezwungen auf der Oberseite zu laufen. Um einen Höhenunterschied zwischen den Bechergläsern und der Petrischale auszugleichen, standen die Bechergläser auf umgedrehten Petrischalen.

Die als Repellentien eingesetzten Substanzen wurden in der Mitte auf einem der beiden Objektträger über die gesamte Breite von 26 mm aufgetragen. Die mit der Substanz für die Ameisen zu überquerende Strecke betrug etwa 15 mm. Pulverige Substanzen wurden gleichmäßig und ohne freie Stellen direkt auf den Objektträger aufgetragen. Flüssige Substanzen wurden mit einer Pipette auf Filterpapier (26 mm x 15 mm) aufgetragen, so dass sie komplett durchfeuchtet wurden. Sie wurden luftgetrocknet und danach mit zwei Streifen Klebeband (25 mm x 12 mm) mittig auf dem Objektträger befestigt. Der zweite Objektträger blieb unbehandelt bei einer pulverigen Substanz und beim Verwenden einer flüssigen Substanz wurde ein Stück unbehandeltes Filterpapier analog zum anderen Objektträger aufgeklebt. Dieses Filterpapier wurde beim Einsatz der verdünnten Substanzen (Zimtöl 10 % und Margosa 10 %) mit 2-Propanol analog zu der Behandlung der repellierenden Substanz behandelt.

Es wurden zusätzlich Kontrollreplikate mit zwei unbehandelten Objektträgern durchgeführt, um auszuschließen, dass es eine Seitenpräferenz der Ameisen gab.

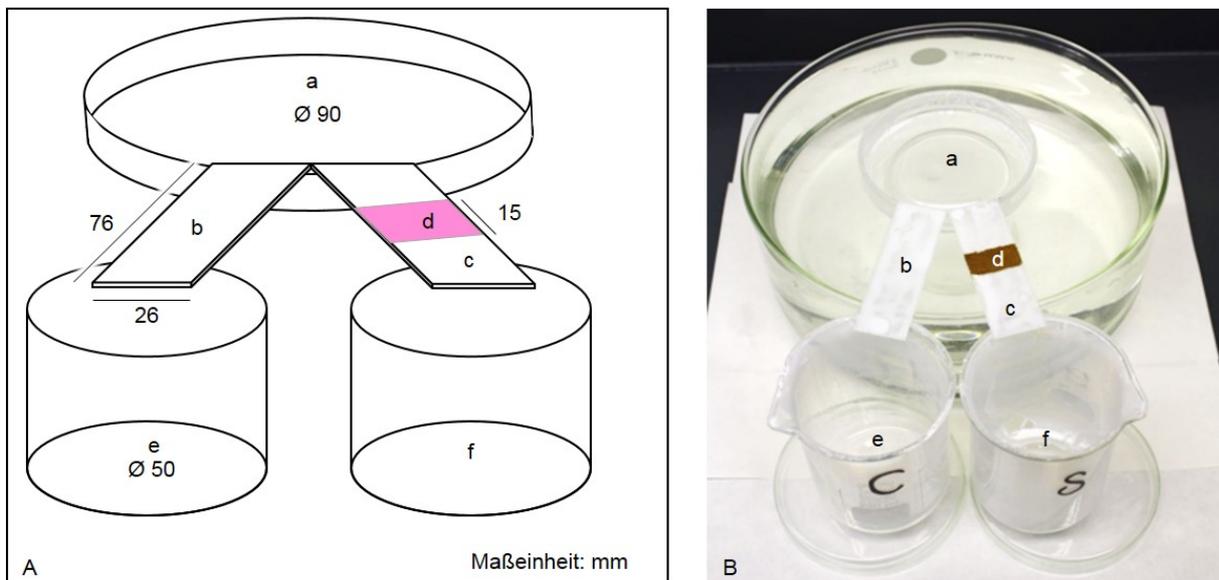


Abb. 24: Aufbau des *forced choice*-Tests für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen *L. niger*, *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*. **A** Schematische Darstellung des Aufbaus (nicht maßstabsgetreu), Petrischale in Versuchen mit *T. melanocephalum* Ø 70 mm. **B** Fotografische Darstellung des Aufbaus (Bild: Sara Knobelspiess). Petrischale (a), Objektträger als Kontrollbrücke (b), Objektträger (c) mit repellierender Substanz (d), Becherglas als Auffangbehälter der über die Kontrollbrücke gelaufenen Tiere (e) und Becherglas als Auffangbehälter der über die Substanz gelaufenen Tiere (f). In den reinen Kontrollreplikaten war der Objektträger (c) unbehandelt.

2.5.1.1.2 Versuchsdurchführung

Für die Versuche wurden jeweils 50 Arbeiterinnen (bei *T. melanocephalum* bis zu 70 Arbeiterinnen) aus Nestern der Zucht in ein mit auf den Innenseiten mit Fluon® beschichtetes Becherglas ausgezählt. Aus diesem Becherglas wurden die Ameisen zu Versuchsbeginn in die Petrischale entleert. Von diesem Zeitpunkt an hatten die Ameisen 30 min Zeit, um über die Objektträger zu laufen. Ameisen, die über die Substanz auf dem einen Objektträger oder auf gleicher Höhe auf dem Kontrollobjektträger waren, wurden mit Hilfe eines Pinsels in die Bechergläser an den Enden der Objektträger geschoben. Die Positionen des behandelten Objektträgers und des Kontrollobjektträgers wurde in den einzelnen Replikaten zu Versuchsbeginn gewechselt. Außerdem wurden die Objektträger mit den dazugehörigen Bechergläsern während des Versuchs untereinander nach jeweils etwa 10 min getauscht. So konnte ausgeschlossen werden, dass durch gelegte Pheromonspuren oder Seitenpräferenzen die Entscheidung der Ameisen für eine der beiden Brücken beeinflusst wurde. Bei Abnahme der Aktivität und Versammlung in Gruppen wurden die Ameisen in der Petrischale mit einem Pinsel gestört, um durch diesen Störfaktor den Druck auf die Ameisen zu erhöhen, einen Weg aus der Petrischale zu suchen. Hatten alle Ameisen die Petrischale verlassen, spätestens aber nach 30 min, wurde der Versuch beendet und die Ameisen in den beiden Bechergläsern wurden ausgezählt.

2.5.1.2 Simulated use-Test mit Ameisen

2.5.1.2.1 Versuchsaufbau

In diesem Versuch dienten Glasarenen (30 cm x 20 cm x 20 cm für *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*, 60 cm x 30 cm 20 cm für *L. niger*) als Testarenen (Abb. 25), die auf den in Kap. 2.4.1.1 beschriebenen doppelwandigen PVC-Tischen standen. Raupenleim wurde benutzt, um die Versuchsarena in der Mitte zu unterteilen. Auch hier wurde, wie am oberen Rand, eine etwa 2 bis 3 cm dicke Schicht Raupenleim aufgetragen. Während der Eingewöhnungszeit diente ein Objektträger (76 mm x 26 mm) als Brücke zwischen diesen beiden Teilen der Versuchsarena, ein weiterer Objektträger war als Platzhalter für die spätere Kontrollbrücke eingesetzt und mit Raupenleim bestrichen. In einem Teil der Versuchsarena befand sich das Nest (Kap. 2.4.1.1). In dem anderen Teil der Versuchsarena wurden Wasser in einer Tränke und tote amerikanische oder orientalische Schaben sowie Zucker als Futter in einer kleinen Petrischale (Ø 40 mm, Höhe 12 mm) angeboten. Nach der Eingewöhnungsphase wurden zwei neue Objektträger als Brücken über die Leimbarriere für die Ameisen an die Stellen der Objektträger der Eingewöhnung platziert. Der Objektträger, der an der Stelle des begehbaren Objektträgers der Eingewöhnungszeit positioniert war, wurde mit der repellierenden Testsubstanz behandelt. Der Objektträger an der Stelle, die in der Eingewöhnung mit Raupenleim versperrt war, wurde

als unbehandelte Brücke für die Ameisen nutzbar. So wurde die Strecke, die die Ameisen innerhalb der Eingewöhnungsphase zur Nahrungsbeschaffung etabliert hatten, von der als Repellent wirkenden Substanz versperrt und die Ameisen mussten eine Ausweichstrecke suchen, sofern die Substanz für sie störend war.

Die Substanzen wurden wie im *forced choice*-Test auf die Objektträger aufgetragen (Kap. 2.5.1.1.1).

In reinen Kontrolldurchgängen wurde während der einwöchigen Eingewöhnungszeit wie oben beschrieben vorgegangen, nach dieser Zeit wurden die Objektträger durch zwei frei passierbare Objektträger ersetzt. Die Anteile der Ameisen, die über den neu dazugekommenen Objektträger liefen, wurden als Vergleichswerte für die repellierte Ameisen in den Versuchen mit Repellentien genutzt.

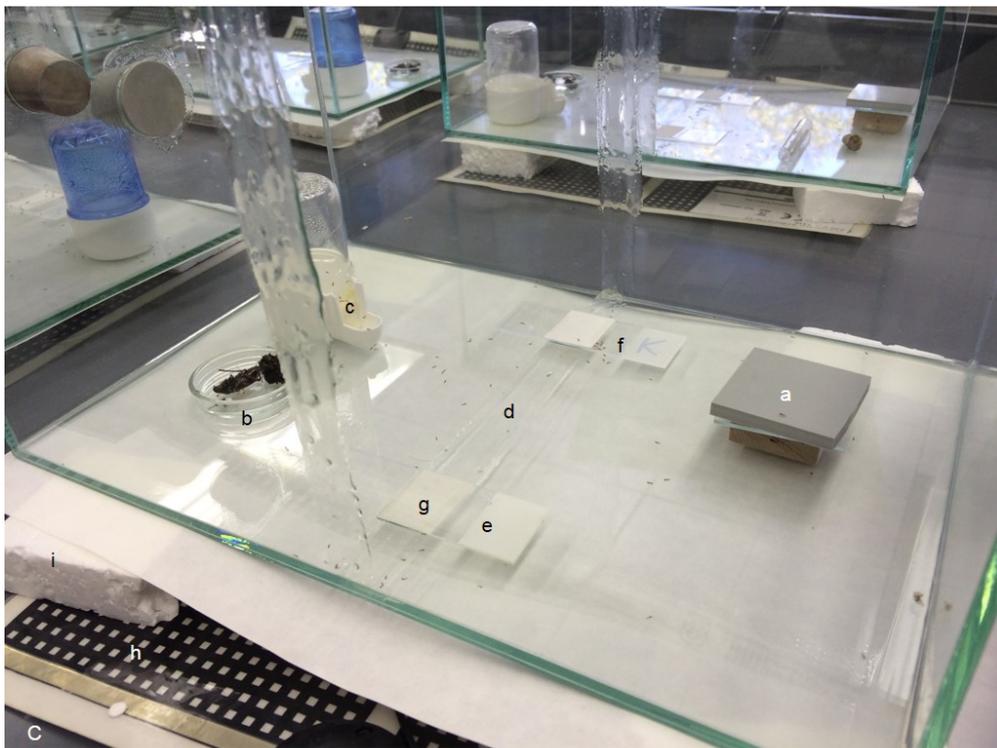
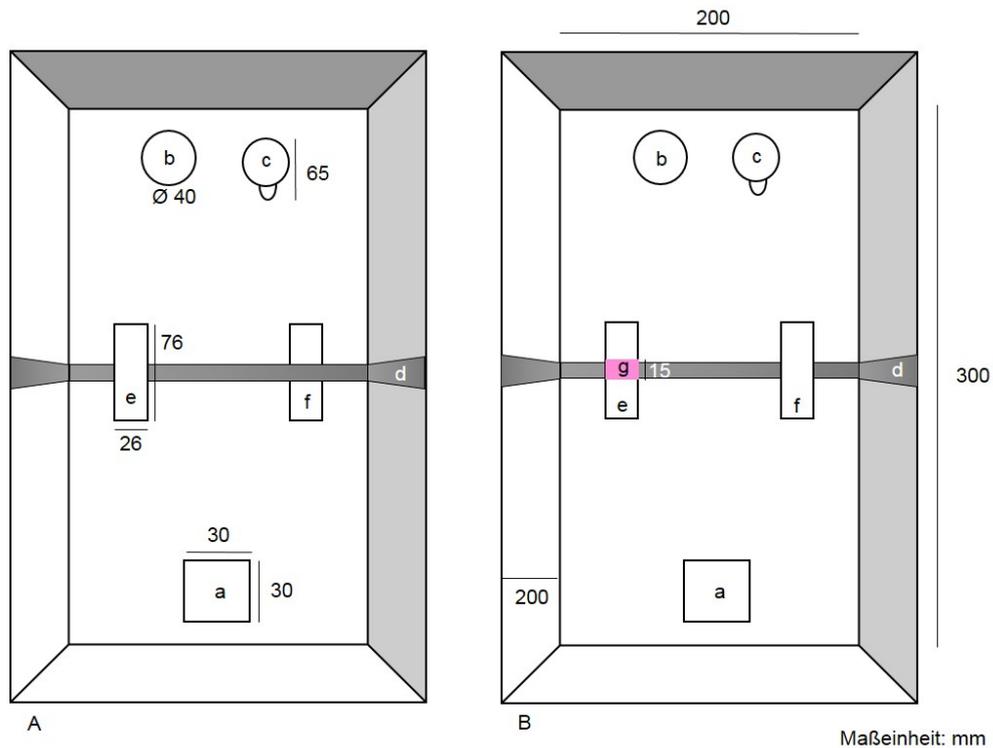


Abb. 25: Aufbau des *simulated use*-Tests für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*. **A** Schematische Darstellung des Aufbaus in der Eingewöhnungszeit (nicht maßstabsgetreu). **B** Schematische Darstellung des Aufbaus in der Expositionszeit (nicht maßstabsgetreu). **C** Fotografische Darstellung des Aufbaus in der Expositionszeit. Nest (a), Petrischale mit Schaben und Zucker als Futter (b), Tränke mit Wasser (c), Raupenleimbarriere zur Unterteilung der Versuchsarena (d), Objektträger als Brücke zwischen beiden Teilen der Versuchsarena in der Eingewöhnungszeit und während Expositionszeit mit repellierender Substanz behandelt (e), während der Eingewöhnungszeit durch Raupenleim blockierter Objektträger (f) und in Expositionszeit als Kontrollbrücke, repellierende Substanz (g).

2.5.1.2.2 Versuchsdurchführung

Die eingesetzten Ameisen wurden nicht ausgezählt, bestehende Kolonien wurden in ihrer Zusammensetzung mit Königinnen, Brut und Arbeiterinnen aus den Zuchtgläsern in die Versuchsarenen überführt. Die Eingewöhnungszeit betrug eine Woche. In dieser Zeit konnten die Ameisen über eine Brücke in den anderen Teil der Versuchsarena gelangen, um Futter und Wasser zu sammeln. Zu Beginn der Expositionszeit wurden die Objektträger ausgetauscht und die etablierte Strecke mit einem Objektträger mit der repellierenden Substanz versehen. Der Objektträger, der in der Eingewöhnungszeit mit Raupenleim versperrt war, wurde gegen einen Kontrollobjektträger ausgetauscht. Direkt nach Exposition sowie 3 bis 5 h, 24 h und 48 h nach Exposition des Repellents wurden jeweils in einem Zeitraum von 5 min alle Ameisen gezählt, die über die behandelte und unbehandelte Brücke liefen. Nach der 48 h-Kontrolle wurden die Versuche beendet.

2.5.2 Repellentienversuche mit Bettwanzen

Für die Prüfung der Wirksamkeit von Repellentien gegen Bettwanzen wurden ein *forced choice*-Test und ein *simulated use*-Test als Wahlversuche durchgeführt.

Die Substanzen, die für die Versuche als Repellentien genutzt wurden, waren Zimtöl 10 %, Margosa 10 %, DEET 50 % (Nobite® Haut), Icaridin 20 % (Autan® Protection Plus) und Permethrin 2 % (Nobite® Kleidung).

Jede Substanz wurde in sieben Replikaten im *forced choice*-Test getestet und in drei Replikaten im *simulated use*-Test. Im *forced choice*-Test wurden zu jeder Substanz parallel Kontrollen (mit zwei unbehandelten Verstecken) mitgeführt. Im *simulated use*-Test wurde jeweils parallel eine Kontrolle mit 100 Bettwanzen in einer Petrischale zur Überwachung der natürlichen Mortalität im Versuchsraum mitgeführt. Zusätzlich wurden insgesamt sieben Kontrolldurchgänge zur Ermittlung des Anteils der zum simulierten Wirt gelaufenen Bettwanzen durchgeführt, in denen das Filterpapier im Prüfkasten unbehandelt war.

2.5.2.1 Forced choice-Test mit Bettwanzen

2.5.2.1.1 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in Kristallisierschalen (Ø 23 cm, Höhe 10 cm) durchgeführt (Abb. 26). Den Bettwanzen wurden Papier-Rundfilter, die jeweils doppellagig in einer Versuchsarena auf dem Boden mit Klebwachs befestigt wurden, als Versteckmöglichkeiten angeboten. Eines der Verstecke war mit einer repellierenden Substanz behandelt, das andere Versteck diente als Kontrolle und war unbehandelt. Beim Einsatz der verdünnten Substanzen (Zimtöl 10 % und

Margosa 10 %) wurden die Kontrollverstecke mit 2-Propanol behandelt. In den reinen Kontrollreplikaten waren beide Verstecke unbehandelt. Die flüssigen Lösungen (Zimtöl 10 % und Margosa 10 %) wurden mit einer Pasteurpipette aufgetragen bis die Rundfilter komplett durchfeuchtet waren. Die industriell hergestellten Repellentien (Pumpsprays), wurden aufgesprüht bis die Filterpapiere komplett durchfeuchtet waren. Nach dem Abtrocknen der Substanzen wurden die Rundfilter in den Testarenen befestigt. Um auszuschließen, dass die Bettwanzen eine der beiden Doppellagen aufgrund von Seitenpräferenzen bevorzugten, wurden in den einzelnen Replikaten die beiden Doppellagen immer abwechselnd getauscht. Die Kristallisierschalen wurden mit Gaze abgedeckt, die mit Gummibändern befestigt wurden. Zum weiteren Ausbruchsschutz standen die Kristallisierschalen in doppelwandigen PVC-Tischen (Kap. 2.4.1.1).

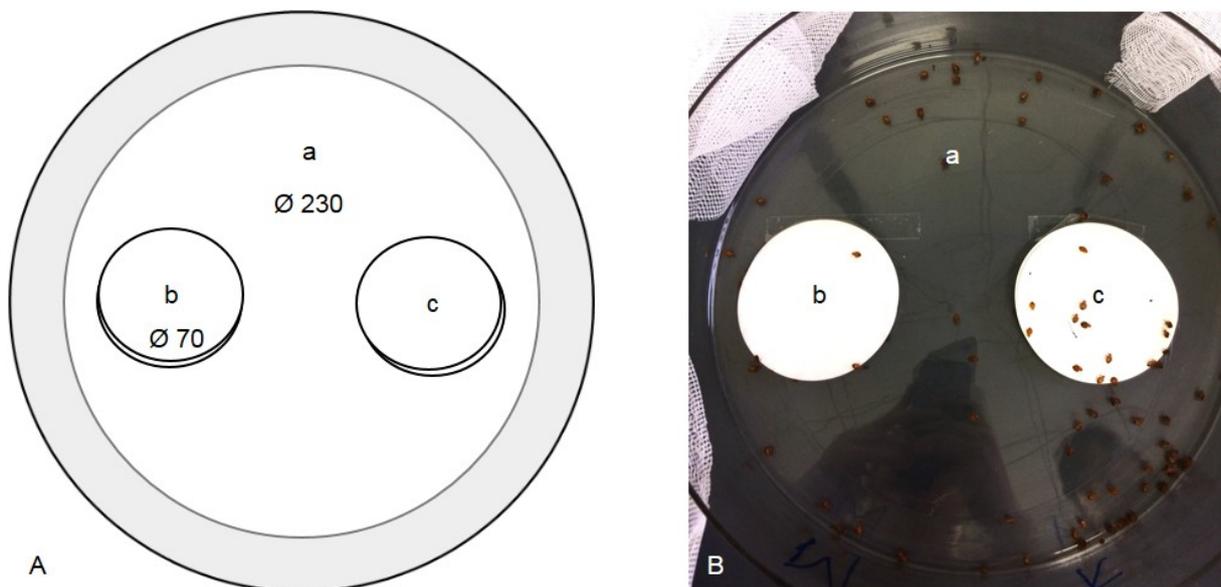


Abb. 26: Aufbau des *forced choice*-Tests für die Wirksamkeitstests von Repellentien gegen *C. lectularius*. **A** Schematische Darstellung des Aufbaus (nicht maßstabsgetreu). **B** Fotografische Darstellung des Aufbaus. Kristallisierschale (a), mit repellierender Substanz behandeltes Versteck (b), unbehandeltes Versteck (c).

2.5.2.1.2 Versuchsdurchführung

Je Replikat wurden 100 Bettwanzen sechs Tage nach der 7. Fütterung mit einem Geschlechterverhältnis 1:1 aus den Zuchtpetrischalen in neue Petrischalen eingezählt, aus denen sie in die Mitte der vorbereiteten Versuchsarenen eingesetzt wurden. Während der ersten Stunde nach Einsetzen wurden in einem Abstand von 5 min Zählungen der Bettwanzen vorgenommen. Es wurde aufgenommen, wie viele der Bettwanzen sich im behandelten oder unbehandelten Versteck oder außerhalb der beiden Verstecke aufhielten. Nach dieser Stunde wurden die Bettwanzen für weitere 23 h in den Versuchsarenen gelassen. Nach insgesamt 24 h wurde nochmals aufgenommen, wie viele Bettwanzen sich im behandelten und unbehandelten Versteck oder außerhalb beider Verstecke aufhielten. Danach wurden die Versuche beendet.

Die Versuche wurden im Herbst und Winter durchgeführt, somit herrschte im Versuchsraum wenig natürliches Tageslicht von etwa 8 Uhr bis 16 Uhr. Die Versuche wurden jeweils 10 Uhr vormittags begonnen.

2.5.2.2 *Simulated use*-Test mit Bettwanzen

2.5.2.2.1 Versuchsaufbau

Für den *simulated use*-Test wurde ein Wahlversuchssystem übernommen, das für Wirksamkeitsprüfungen von Kontaktinsektiziden gegen Bettwanzen am UBA entwickelt wurde (VANDER PAN 2015). Das Versuchssystem (Abb. 27) befand sich in einem abgedunkelten Versuchsraum auf einem doppelwandigen PVC-Tisch (Kap. 2.4.1.1), um das Ausbrechen von Bettwanzen zu verhindern. Das Testsystem bestand aus einem Plexiglaszylinder mit einem Deckel. Dieser Plexiglaszylinder stand auf einem Sockel aus Kunststoff, der zum Ausgleich der Höhe benötigt wurde. Auf der einen Seite des Plexiglaszylinders war in 10 cm Höhe vom Plexiglaszylinderboden ein Plexiglasrohr angebracht. In diesem steckte ein Stopfen, durch den ein Silikon Schlauch in den Plexiglaszylinder führte. Dieser Schlauch war mit einer Ansaugpumpe verbunden, die Luft aus dem Testsystem und durch einen zweiten Schlauch auch Luft aus dem Prüfraum absaugte. Auf der anderen Seite des Plexiglaszylinders war auf gleicher Höhe des Plexiglaszylinderbodens ein weiteres Plexiglasrohr angebracht. Dieses Rohr war über eine Flanschverbindung mit dem Prüfkasten verbunden. In diesem Prüfkasten befand sich das mit Repellentien behandelte Filterpapier. Auf der anderen Seite des Prüfkastens wurde ebenfalls über eine Flanschverbindung ein weiteres Plexiglasrohr befestigt, welches 10 cm in einen Stahlbehälter hineinragte. Im Stahlbehälter, der einen abnehmbaren Deckel hatte, stand unter dem Plexiglasrohr ein Glasbehälter als Auffangbecken mit zwei Rundfiltern als Versteckmöglichkeit für dort angekommene Bettwanzen. Im Stahlbehälter befand sich zusätzlich eine Heizplatte, auf der ein mit Wasser gefüllter Erlenmeyerkolben (300 ml) stand. Die Wassertemperatur wurde bei 80 °C bis 85 °C gehalten, so dass eine Lufttemperatur im Stahlbehälter von etwa 30 °C bis 37 °C erreicht wurde. Die Temperatur wurde mit einem Quecksilberthermometer in einem Glasbehälter neben dem Auffangbecken überprüft. Außerdem führte von der Rückseite des Stahlbehälters ein Plastikschlauch in das Innere bis etwa 5 cm vor das Plexiglasrohr. Durch diesen Schlauch strömte CO₂ mit einer Durchflussrate von 0,75 l/min in Richtung des Plexiglasrohres. Die erzeugte Wärme sowie der erhöhte CO₂-Gehalt im Stahlbehälter simulierten den Bettwanzen das Vorhandensein eines Wirts. Im Plexiglaszylinder in einer Wanzentasche (s. Beschreibung unten) eingesetzte Bettwanzen mussten durch den Prüfkasten. Hier war mit der repellierenden Substanz behandeltes Filterpapier befestigt, über das die Bettwanzen

mussten, um zum simulierten Wirt zu gelangen. Im Plexiglaszylinder angesammeltes CO₂ wurde mit der Ansaugpumpe abgesaugt.

Die Wanzentasche war aus einem halben Blatt Küchenrolle, welches einmal längs nahe der Mitte gefaltet und mit Klebeband an den beiden Seitenrändern zusammengehalten wurde, hergestellt. Durch das Falten unterhalb der Mitte lagen die beiden Enden nicht exakt aufeinander und es entstand eine Öffnung, durch die die Wanzen aus einem Rollrandgläschen in die Tasche vorsichtig hineingeschüttet werden konnten. Danach wurde auch diese Öffnung mit Klebeband verschlossen und die Wanzentasche mit Klebeband im Plexiglaszylinder mittig auf dessen Boden festgeklebt (Abb. 27 B). Um den Bettwanzen das Laufen zu erleichtern, wurden die Laufwege auf dem Plexiglas im Plexiglaszylinder und in den Plexiglasrohren mit Klebeband beklebt, da die Wanzen sich auf reinem Plexiglas nur sehr schwer fortbewegen konnten.

Das Filterpapier, das in den Prüfkasten mit doppelseitigem Klebeband befestigt wurde, wurde in den Kontrollen unbehandelt verwendet und für die Repellentienversuche mit den jeweiligen Substanzen behandelt. Zimtöl 10 % und Margosa 10 % wurden mit einer Pasteurpipette aufgetragen bis das Filterpapier komplett durchfeuchtet war. Die industriell hergestellten Repellentien (Pumpsprays) wurden so aufgesprüht, dass die Filterpapiere ebenfalls komplett durchfeuchtet waren. Nach dem Abtrocknen der Substanzen wurden die Filterpapiere mit doppelseitigem Klebeband oder bei öligen Substanzen mit Klebwachs in den Prüfkasten eingeklebt.

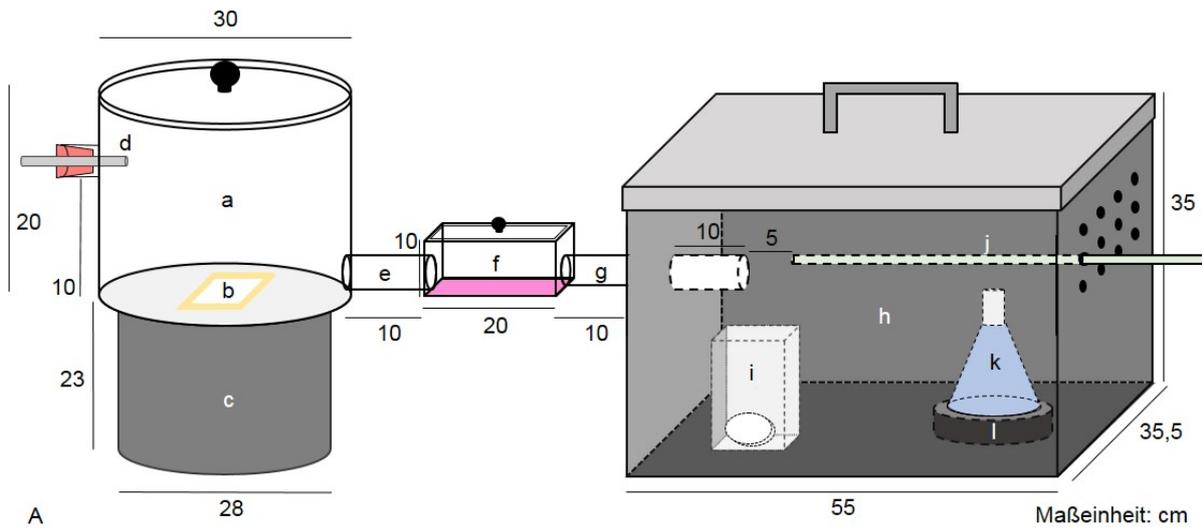


Abb. 27: *Simulated use-Test* für Wirksamkeitstests von Repellentien gegen *C. lectularius*. **A** Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus. **B** Aufsicht auf Plexiglasbehälter mit Wanzen tasche. **C** Aufsicht auf Prüfkasten mit Filterpapier und zu beiden Seiten angrenzenden Plexiglasrohren. **D** Aufsicht auf Stahlbehälter mit Auffangbehälter, Thermometer, Heizplatte, Erlenmeyerkolben und Plastikschauch für die CO₂-Zufuhr. **E** Gesamtansicht des Versuchsaufbaus. Plexiglasbehälter (a) mit Wanzen tasche (b), Sockel (c), Plexiglasrohr mit Stopfen und Ansaugschlauch (d), Plexiglasrohr (e) zwischen Plexiglasbehälter und Prüfkasten (f), Plexiglasrohr (g) zwischen Prüfkasten und Stahlbehälter (h), Auffangbehälter aus Glas mit Papier-Rundfiltern (i), Plastikschauch für die CO₂-Zufuhr (j), Erlenmeyerkolben mit Wasser (k), Heizplatte (l), Thermometer (m) für die Temperaturüberwachung im Stahlkasten, Gasdurchflussmesser (n), CO₂-Flasche (o).

2.5.2.2.2 Versuchsdurchführung

Je Replikat wurden 100 Bettwanzen sechs Tage nach der 7. Fütterung mit einem Geschlechterverhältnis 1:1 aus den Zuchtpetrischalen in neue Petrischalen eingezählt und vorsichtig in Rollrandgläser geschüttet, da es aus diesen Rollrandgläsern leichter war, die Bettwanzen in die Wanzentasche zu überführen. Die Wanzentasche wurde, nachdem die Bettwanzen eingefüllt waren, mit Klebeband zugleibt und danach in den Plexiglasbehälter der Versuchsanlage mit Klebeband geklebt. CO₂ und Absaugpumpe wurden angeschlossen. Nach einer Eingewöhnungszeit von etwa einer Stunde wurde die Wanzentasche zwischen den vier Ecken diagonal aufgeschnitten, so dass die Bettwanzen aus der Wanzentasche laufen konnten. Der Prüfraum wurde daraufhin komplett verdunkelt und erst nach 24 h wieder betreten. Dann wurden die Tiere ausgezählt. Als gelaufen wurden Tiere gewertet, die sich im Auffangbehälter oder auf dem Weg dorthin hinter dem Prüfkasten befanden. Als nicht gelaufen wurden Tiere gewertet, die sich im Plexiglasbehälter befanden oder bis vor den Prüfkasten gelaufen waren.

2.5.3 Statistische Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde mit Prism 7 for Mac OS X (Version 7b (September 30, 2016, GraphPad Software, Inc.) durchgeführt.

Die Anteile der durch die Substanzen repellierte Ameisen (über unbehandelte Brücke gelaufen) wurden mit nichtparametrischen t-Tests (Mann-Whitney-U-Test bei zwei zu vergleichenden Gruppen, Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test bei drei oder mehr zu vergleichenden Gruppen) auf signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) geprüft.

Die Anteile repellierter Bettwanzen (*forced choice*-Test: nicht im behandelten Versteck; *simulated use*-Test: nicht zum simulierten Wirt gelaufen) wurden mit nichtparametrischen t-Tests (Mann-Whitney-U-Test bei zwei zu vergleichenden Gruppen, Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test bei drei oder mehr zu vergleichenden Gruppen) auf signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$) geprüft.

In den Grafiken wurden signifikante Unterschiede innerhalb der Ergebnisse durch einen Asterisken (*) gekennzeichnet.

3 Ergebnisse

3.1 Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben

3.1.1 Vergleich der Größe der Testsysteme für Fraßköderprüfungen

Zwei Testsysteme unterschiedlicher Größe wurden miteinander verglichen, um zu untersuchen, ob die Größe der Lauffläche der Arena bzw. der Abstand zwischen Versteck und Köder in Fraßköderprüfungen mit deutschen und amerikanischen Schaben einen Einfluss auf den Testverlauf sowie auf das Ergebnis hat. Hierfür wurden die LT_{50} und LT_{95} der Versuchspopulationen in beiden Versuchsvarianten verglichen.

Versuche mit adulten Testpopulationen deutscher und amerikanischer Schaben ergaben in den Vergleichen der erreichten LT_{50} und LT_{95} in den unterschiedlich großen Testsystemen in den Wahlversuchen keine signifikanten Unterschiede. In Versuchen mit amerikanischen Schabepopulationen ergaben sich signifikante Unterschiede beim Erreichen der LT_{50} und LT_{95} (s. u.) der Testpopulationen in den Zwangsversuchen. Daher wurden weitere Zwangsversuche zum Vergleich der Größe eines Testsystems mit juvenilen und gemischten Testpopulationen durchgeführt.

Außerdem zeigte sich in den Versuchen mit adulten Testpopulationen, dass der pulverige Köder (pK) größere Streuungen (Kap. 3.1.3) in den Ergebnissen einzelner Replikate hervorbrachte als der flüssige Köder (fK), aus diesem Grund wurden die weiteren Versuche nur mit fK durchgeführt.

Ein früheres Erreichen der LT_{50} bzw. LT_{95} der Testpopulationen variierte zwischen den beiden untersuchten Testsystemen, die Größe der Lauffläche hatte demnach keinen Einfluss auf Verlauf und Ergebnis der Wirksamkeitsprüfungen.

Die Mortalität in den Kontrollgruppen lag in allen Versuchen bei maximal 10 % (Tab. 6).

Tab. 6: Mortalität in den Kontrollgruppen.

Schabenart	Testpopulation	Anzahl Replikate	Mortalität in %		
			Median	1. Quartil	3. Quartil
<i>B. germanica</i>	adult	5	0	0	0
	juvenil	5	0	0	2,5
	juvenil + adult	5	0	0	0
<i>P. americana</i>	adult	6	5	4	7,5
	juvenil	5	4	2	4
	juvenil + adult	5	0	0	2

3.1.1.1 Versuche mit *B. germanica*

Eine LT_{50} wurde in den Wahlversuchen mit adulten Tieren und in einem Zwangsversuch mit juvenilen Tieren in den 2-KS früher erreicht als in den 1-KS (Abb. 28). Dabei ergab sich ein signifikanter Unterschied ($p = 0,0476$) im Vergleich der LT_{50} der juvenilen Tiere zwischen den Testsystemen. Die Differenz der Mediane (M) der LT_{50} lag bei einem Tag (1-KS: $M = 7$ und 2-KS: $M = 6$).

In den Wahlversuchen mit adulten Tieren mit pK lag die Differenz der Mediane der LT_{50} zwischen 1-KS und 2-KS bei drei Tagen, der Median der LT_{50} in den 1-KS lag bei Tag 10 und in den 2-KS bei Tag 7. In Wahlversuchen mit adulten Tieren mit fK lag zwischen den Medianen der LT_{50} beider Testsysteme eine Differenz von einem Tag, in den 1-KS lag der Median der LT_{50} bei Tag 7 und in 2-KS bei Tag 6. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (pK: $p = 0,1032$, fK: $p = 0,7403$).

Zwischen den Testsystemen im Zwangsversuch mit adulten Tieren (beide Köder $p > 0,9999$) sowie mit gemischten Testpopulationen ($p > 0,9999$) gab es keine Differenzen zwischen den Medianen der LT_{50} . Der Median der LT_{50} lag bei adulten Tieren mit pK bei Tag 6, mit fK bei Tag 5 und in den Ansätzen mit gemischter Population bei Tag 6.

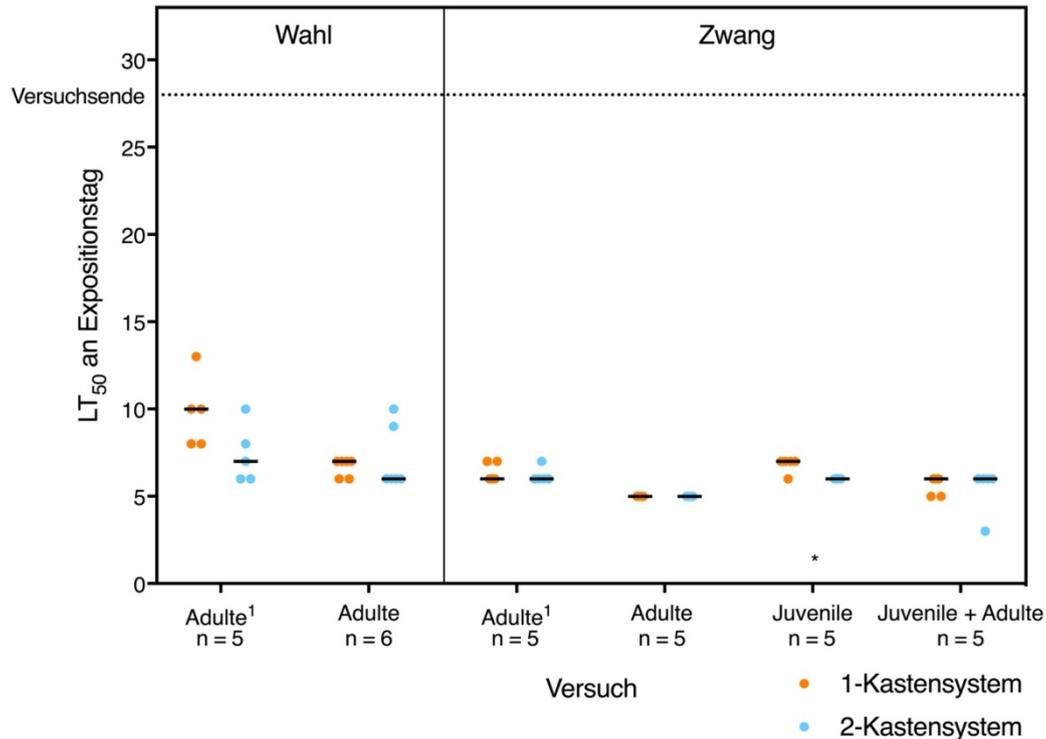


Abb. 28: Vergleich der LT_{50} der Testpopulationen von *B. germanica* im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem. Versuche mit Adulten¹ wurden mit pulverigem Köder, alle anderen Versuche mit flüssigem Köder durchgeführt. Anzahl der Replikate = n. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{50} aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurden die LT_{50} der beiden Testsysteme auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

Die LT_{50} -Werte der Tiere in den beiden verglichenen Testsystemen waren in Wahl- und Zwangsversuchen nicht signifikant unterschiedlich (Abb. 29). In den Versuchen mit pK erreichten die Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen im 1-KS in je einem Replikat die LT_{50} nicht. In den Wahlversuchen lag der Median der LT_{50} der adulten Tiere in den 1-KS unter dem in den 2-KS mit beiden Ködervarianten (pK: 1-KS $M = 17$ und 2-KS $M = 19$; fK: 1-KS $M = 12,5$ und 2-KS $M = 14$), es gab hier keine signifikanten Unterschiede (pK: $p = 0,8095$; fK: $p = 0,4784$).

In den Zwangsversuchen gab es Differenzen von einem Tag zwischen den Medianen der LT_{50} der adulten Tiere in den beiden Testsystemen (pK: 1-KS $M = 16$ und 2-KS $M = 17$, $p = 0,9365$; fK: 1-KS $M = 8$ und 2-KS $M = 7$, $p = 0,8413$) und der juvenilen Tiere (1-KS $M = 8$ und 2-KS $M = 9$, $p = 0,4921$). Keine Differenz gab es zwischen den gemischten Testpopulationen, in beiden Systemen lag der Median der LT_{50} bei Tag 8 ($p > 0,9999$).

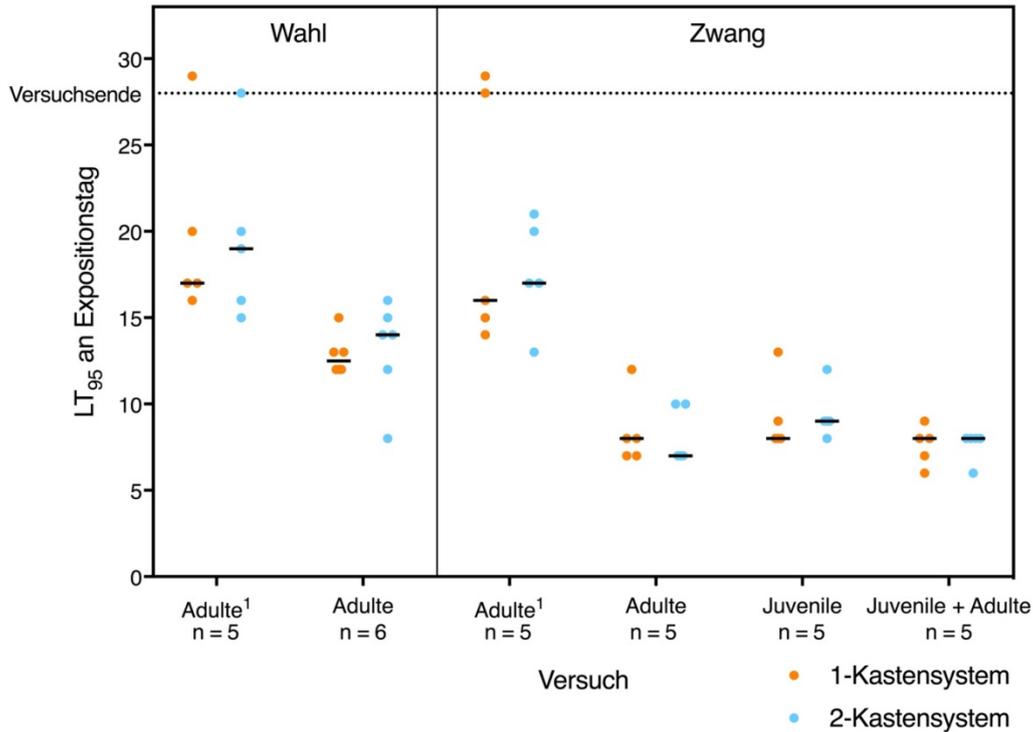


Abb. 29: Vergleich der LT_{95} der der Testpopulationen von *B. germanica* im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem. Versuche mit Adulten¹ wurden mit pulverigem Köder, alle anderen Versuche mit flüssigem Köder durchgeführt. Anzahl der Replikate = n. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{95} aller Replikate eines Testsystems an.

Alle Versuche mit fK führten in beiden Versuchssystemen zu Tilgungen der Versuchstiere innerhalb des Expositionszeitraumes von 28 Tagen. In den Versuchen mit pK wurde in den Wahl- und Zwangsversuchen in beiden Testsystemen nicht in allen Replikaten eine Tilgung der Versuchstiere erreicht. In den Wahlversuchen der 1-KS konnten die Versuchstiere nur in zwei der fünf Replikate getilgt werden, in den 2-KS wurde in drei von fünf Replikaten eine Mortalität der Schaben von 100 % erreicht. In den Zwangsversuchen wurde in drei der fünf Replikate der 1-KS und in vier der fünf Replikate der 2-KS eine Tilgung der Tiere erreicht.

3.1.1.2 Versuche mit *P. americana*

In den Versuchen mit amerikanischen Schaben, in denen die Größe der Testsysteme verglichen wurde, ergaben sich in den Wahlversuchen mit pK und fK keine signifikanten Unterschiede zwischen den LT_{50} in den beiden Versuchsvarianten (Abb. 30). Die Differenz der Mediane der LT_{50} der Tiere in beiden Testsystemen lag unter Anwendung von pK bei einem Tag ($p = 0,3939$) und bei fK bei drei Tagen ($p = 0,2857$). In den Versuchen mit pK wurde in den 1-KS die LT_{50} früher erreicht, in den Versuchen mit fK dagegen zuerst in den 2-KS (pK: 1-KS M = 13; 2-KS M = 14; fK: 1-KS M = 12 und 2-KS M = 9). Im 2-KS der Wahlversuche mit pK wurde die LT_{50} in einem Versuchsreplikat nicht innerhalb der Versuchszeit erreicht.

In den Zwangsversuchen gab es zwischen den beiden Versuchssystemen im Vergleich der LT_{50} der juvenilen Tiere keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,9999$), in beiden Testsystemen lag der Median der LT_{50} bei Tag 11. Die Versuche mit adulten Tieren und gemischten Testpopulationen ergaben Differenzen der Mediane zwischen drei und fünf Tagen. Bei adulten Tieren mit pK ($p = 0,6032$) lag der Median der LT_{50} in den 1-KS unter dem in den 2-KS, mit fK dagegen war der Median der LT_{50} in den 2-KS niedriger (pK in 1-KS $M = 9$; pK in 2-KS: $M = 12$; fK in 1-KS: $M = 10$; fK in 2-KS: $M = 6$). Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen den LT_{50} der Tiere in den 1-KS und der LT_{50} der Tiere in den 2-KS mit fK ($p = 0,0079$). Auch im Vergleich der LT_{50} der gemischten Testpopulationen wurde mit $p = 0,0476$ ein signifikanter Unterschied festgestellt. In den 1-KS lag der Median der LT_{50} drei Tage unter dem der 2-KS (1-KS: $M = 7$; 2-KS: $M = 10$).

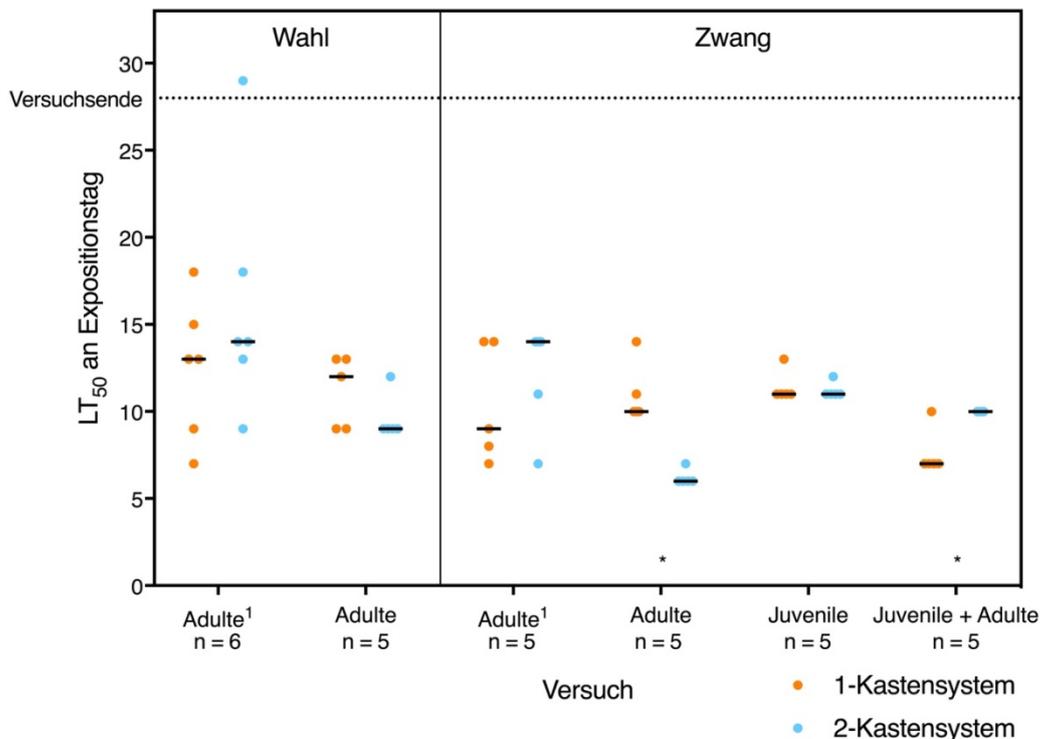


Abb. 30: Vergleich der LT_{50} der Testpopulationen von *P. americana* im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem. Versuche mit Adulten¹ wurden mit pulverigem Köder, alle anderen Versuche mit flüssigem Köder durchgeführt. Anzahl der Replikate = n. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{50} aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurden die LT_{50} der beiden Testsysteme auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

Der Vergleich der LT_{95} der Versuchstiere in den zwei unterschiedlich großen Testsystemen (Abb. 31) ergab in den Wahlversuchen keine signifikanten Unterschiede. In den Versuchen mit fK lagen die Mediane der LT_{95} beider Systeme bei Tag 15 ($p = 0,8413$). In den Versuchen mit pK lag der Median der LT_{95} der Tiere in den 1-KS bei Tag 28, hier lag die Mortalität zweier Replikate am Versuchsende unter 95 %. In den 2-KS lag der Median der LT_{95} bei Tag 29, also außerhalb der Versuchszeit. Hier wurde nur in einem der sechs Replikate eine Mortalität von

mindestens 95 % erreicht. Die Unterschiede zwischen den LT_{95} -Werten der Tiere in den beiden Testsystemen der Wahlversuche waren nicht signifikant ($p = 0,1515$).

In den Zwangsversuchen gab es unter Anwendung des pK keine Differenz zwischen den Medianen der LT_{95} , beide Werte lagen bei Tag 28 ($p = 0,6032$), in beiden Versuchsvarianten lag die Mortalität dreier der fünf Replikate unter 95 % innerhalb der Versuchszeit. In den Versuchen mit fK zeigten die Mediane der LT_{95} Differenzen zwischen zwei und vier Tagen. In den Zwangsversuchen mit adulten und juvenilen Tieren lag der Median der LT_{95} in den 2-KS unter dem LT_{95} der 1-KS, bei den adulten Tieren war dies im 1-KS bei Tag 14 und im 2-KS bei Tag 10, die Mediane der LT_{95} der juvenilen Tiere lagen im 1-KS bei Tag 18 und im 2-KS bei Tag 15 ($p = 0,5397$). Einen signifikanten Unterschied zeigte der Mann-Whitney-U-Test im Vergleich der LT_{95} der adulten Tiere mit fK mit $p = 0,0079$. In den Versuchen mit gemischten Testpopulationen lag der Median der LT_{95} in den 1-KS unter dem Median der 2-KS (1-KS: $M = 12$; 2-KS: $M = 14$), die Unterschiede waren nicht signifikant ($p = 0,0794$).

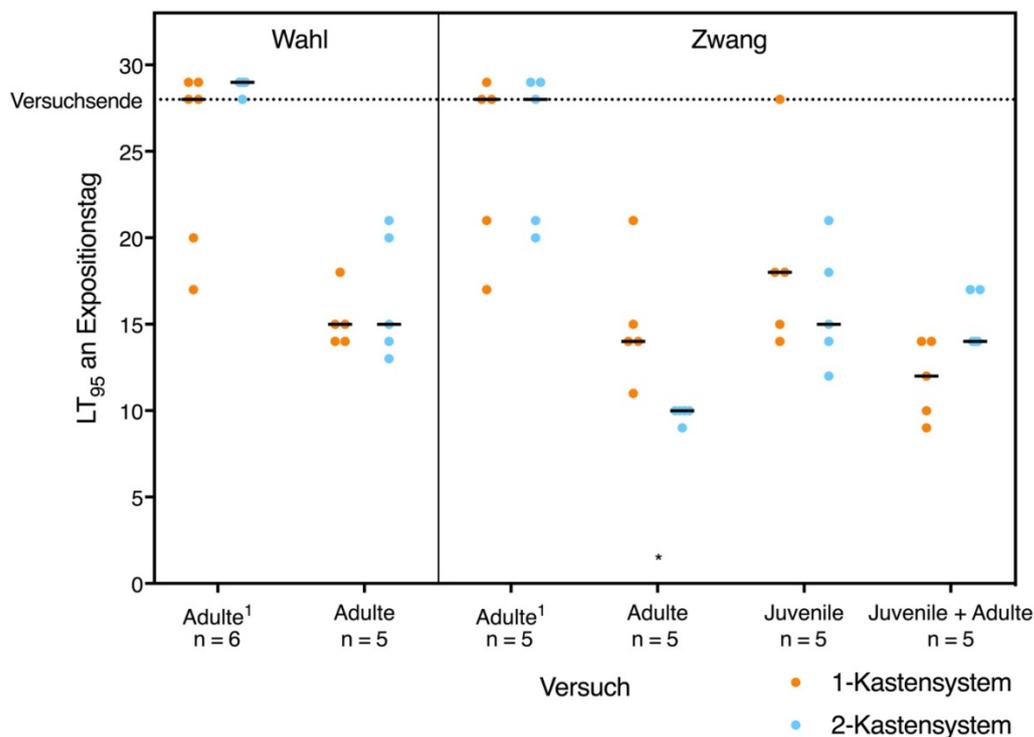


Abb. 31: Vergleich der LT_{95} der Testpopulationen von *P. americana* im 1-Kastensystem und 2-Kastensystem. Versuche mit Adulten¹ wurden mit pulverigem Köder, alle anderen Versuche mit flüssigem Köder durchgeführt. Anzahl der Replikate = n. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{95} aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurden die LT_{95} der beiden Testsysteme auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

In den Wahlversuchen beider Systeme mit pK wurde nur in einem Replikat der 1-KS eine Tilgung der Testpopulation erreicht, in den 2-KS wurde keine Tilgung der Versuchstiere erreicht. In den Zwangsversuchen mit pK wurde in beiden Testsystemen in je drei der fünf Replikate

eine Mortalität von 100 % innerhalb des Versuchszeitraums erreicht. In allen Versuchen mit fK wurde die LT_{95} erreicht, in einem Replikat der 2-KS aber keine Mortalität von 100 % der adulten Testpopulationen.

3.1.2 Versuche zur Populationszusammensetzung

Um zu untersuchen, welchen Einfluss die Zusammensetzung einer Testpopulation auf den Prüfverlauf und das Prüfergebnis hatte, wurden Wahl- und Zwangsversuche im 1-KS mit rein adulten und rein juvenilen Testpopulationen sowie mit Ansätzen mit juvenil und adult gemischten Testpopulationen vergleichend mit fK durchgeführt. Die LT_{50} und LT_{95} der Gesamtpopulationen der verschiedenen Versuche mit unterschiedlicher Populationszusammensetzung wurden mit Kruskal-Wallis-Tests und Dunn's Post-hoc-Tests auf signifikante Unterschiede geprüft. Zusätzlich wurden die LT_{50} bzw. LT_{95} jeweils der männlichen und weiblichen Tiere in Ansätzen mit adulten Tieren mit den LT_{50} bzw. LT_{95} der männlichen und weiblichen Tiere in Ansätzen mit gemischter Testpopulation verglichen und mit Mann-Whitney-U-Tests auf signifikante Unterschiede geprüft. Ebenso wurde mit den LT_{50} bzw. LT_{95} der juvenilen Tiere in Ansätzen mit juvenilen und Ansätzen mit gemischten Testpopulationen verfahren.

Die Zusammensetzung der Testpopulation von amerikanischen Schaben hatte größere Auswirkungen auf die LT_{50} und LT_{95} , also Verlauf und Ergebnis, als die Zusammensetzung der Testpopulation von deutschen Schaben. Die Mortalität vor allem der juvenilen Tiere stieg bei den amerikanischen Schaben in den Ansätzen mit gemischter Testpopulation schneller als in rein juvenil zusammengesetzten Testpopulationen.

3.1.2.1 Versuche mit *B. germanica*

Der Vergleich der LT_{50} bzw. LT_{95} der unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in den Wahl- und Zwangsversuchen ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen adulten Tieren und gemischten Testpopulationen sowie zwischen juvenilen und gemischten Testpopulationen (Abb. 32), ein Einfluss der Populationszusammensetzung auf die Mortalität der Gesamtpopulation von *B. germanica* in den Versuchen war somit nicht nachweisbar. Signifikante Unterschiede ergaben sich z. T. zwischen adulten und juvenilen Testpopulationen (s. u.).

Der Median der LT_{50} lag in den Wahlversuchen mit adulten und gemischten Testpopulationen bei Tag 7, der Median der LT_{50} der Ansätze mit juvenilen Tieren lag bei Tag 10. Es ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den LT_{50} der Ansätze mit adulten Tieren und den

Ansätzen mit juvenilen Tieren mit $p = 0,0088$. Keine signifikanten Unterschiede gab es zwischen den LT_{50} der juvenilen Tiere und der gemischten Testpopulationen ($p = 0,6338$) sowie zwischen den LT_{50} der adulten und gemischten Testpopulationen ($p = 0,2857$). Der Median der LT_{95} lag in den Versuchen mit adulten Tieren bei Tag 12,5. Anders als bei der LT_{50} wurde eine Mortalität von 95 % in den Ansätzen mit juvenilen Tieren ($M = 15$) früher erreicht als in den Ansätzen mit gemischter Testpopulation ($M = 19$). Hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Testpopulationen (adult und gemischt: $p = 0,1241$; juvenil und gemischt: $p > 0,9999$; adult und juvenil: $p = 0,1045$).

In den Zwangsversuchen lag der Median der LT_{50} in den Ansätzen mit adulten Tieren ($M = 5$) unter denen der gemischten Testpopulationen ($M = 6$) und juvenilen Tiere ($M = 7$). Die Unterschiede zwischen adulten und juvenilen Testpopulationen waren wie bei der LT_{50} in den Wahlversuchen auch hier signifikant ($p = 0,0028$), die Unterschiede zwischen adulten und gemischten Testpopulationen ($p = 0,6284$) und zwischen juvenilen und gemischten Testpopulationen ($p = 0,1200$) waren dagegen nicht signifikant. Die Mediane der LT_{95} waren in allen drei Testpopulationen gleich und lagen bei Tag 8, es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Testpopulationen (adult und gemischt: $p > 0,9999$; juvenil und gemischt: $p = 0,4640$; adult und juvenil: $p = 0,7368$).

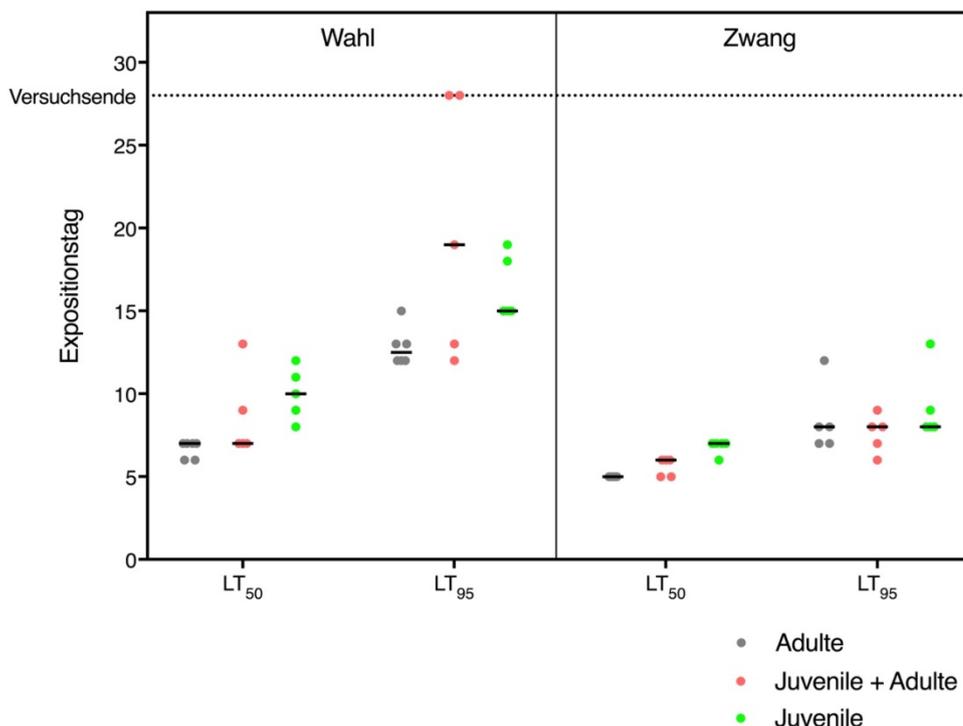


Abb. 32: Vergleich der LT_{50} und LT_{95} der Gesamtpopulationen von *B. germanica* in den Wahl- und Zwangsversuchen. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{50} bzw. LT_{95} aller Replikate der getesteten Populationszusammensetzungen an.

Die Mortalität der einzelnen Populationsgruppen (Männchen, Weibchen oder Juvenile) wurde durch die Zusammensetzung der Testpopulation nicht signifikant beeinflusst (Abb. 33 und 34), nur zwischen den LT_{50} der juvenilen Tiere im Zwangsversuch wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt (Abb. 33). Die Mediane der LT_{50} von Männchen, Weibchen und Juvenilen lagen in den Ansätzen mit gemischter Testpopulation entweder gleich oder einen Tag unter denen der adulten bzw. juvenilen Testpopulation im Gegensatz zu den Medianen der LT_{95} in den Wahlversuchen (Abb. 34).

Der Median der LT_{50} der Männchen in adulten und gemischten Testpopulationen lag unter denen der Weibchen und juvenilen Tiere in Wahl- und Zwangsversuchen.

Die Unterschiede der LT_{50} der jeweiligen Populationsgruppe waren in Wahl- und Zwangsversuchen nur sehr gering, die Mediane der LT_{50} lagen nicht mehr als einen Tag auseinander. Eine Mortalität von 50 % der Männchen in den Ansätzen mit gemischten Testpopulationen wurde einen Tag früher erreicht ($M = 5$) als in den Ansätzen mit adulter Testpopulation ($M = 6$), signifikant war dieser Unterschied nicht ($p = 0,7835$). Der Median der LT_{50} der Weibchen in Ansätzen mit adulten und gemischten Testpopulationen lag bei Tag 8 ($p > 0,9999$). Der Median der LT_{50} der juvenilen Tiere in Ansätzen mit gemischten Testpopulationen ($M = 9$) lag einen Tag unter dem der Ansätze mit juvenilen Tieren ($M = 10$), dieser Unterschied war nicht signifikant mit $p > 0,9999$.

In den Zwangsversuchen ergaben sich zwischen den Medianen der LT_{50} der adulten Tiere in Ansätzen mit adulten und gemischten Testpopulationen keine Differenzen, der Median der LT_{50} der Männchen lag bei Tag 5 ($p = 0,4444$) und der der Weibchen bei Tag 6 ($p > 0,9999$). Der Median der LT_{50} der juvenilen Tiere lag in den Ansätzen mit gemischter Testpopulation ($M = 6$) einen Tag unter dem der Ansätze mit juvenilen Tieren ($M = 7$) und war signifikant unterschiedlich mit $p = 0,0317$.

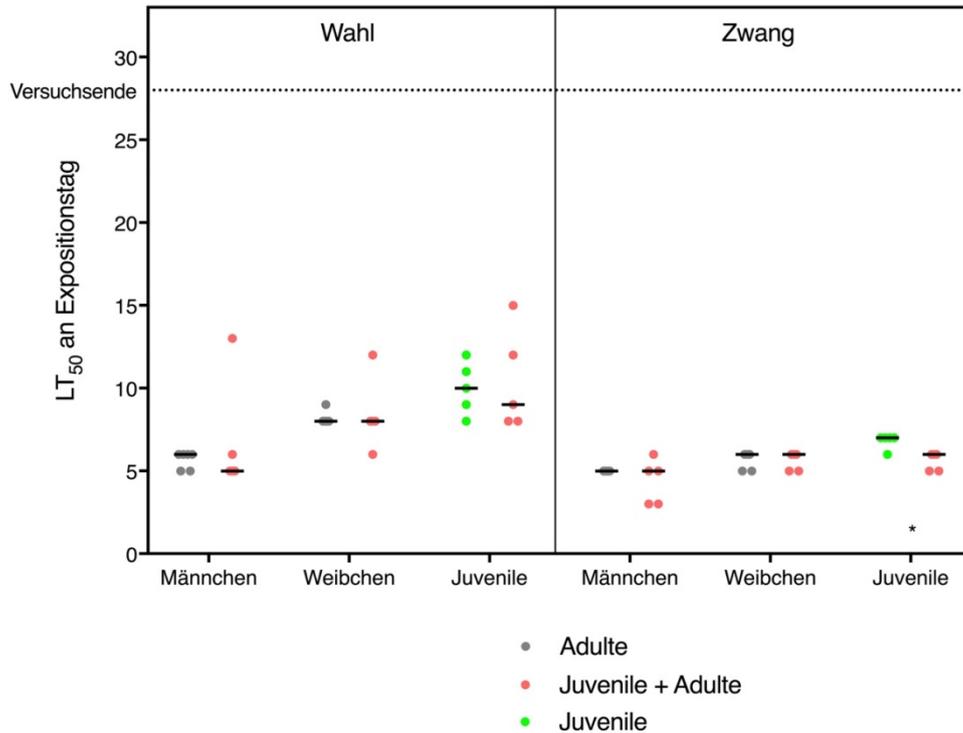


Abb. 33: LT₅₀ der Männchen, Weibchen und Juvenilen von *B. germanica*, verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT₅₀ aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurden die LT₅₀ der jeweiligen Populationsgruppe in den beiden unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

In den Wahlversuchen gab es große Streuungen zwischen den LT₅₀ der Männchen, Weibchen und Juvenilen vor allem in den Ansätzen mit gemischten Testpopulationen (Abb. 34). Die Mediane der LT₅₀ der jeweiligen Populationsgruppen in diesen Versuchsansätzen lagen hier über denen in den Ansätzen mit adulten und juvenilen Tieren.

In den Wahlversuchen wurde eine Mortalität von 95 % der Männchen in den Ansätzen mit adulten Tieren ($M = 8$) früher erreicht als in den Ansätzen mit gemischter Population ($M = 13$), signifikant unterschiedlich war dies nicht ($p = 0,1082$). Auch für die Weibchen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den LT₅₀ ($p = 0,7208$) in den Ansätzen mit adulter Testpopulation ($M = 15$) und Ansätzen mit gemischter Testpopulation ($M = 19$). Ebenso wurden keine signifikanten Unterschiede für die juvenilen Tiere in Ansätzen mit juveniler Testpopulation ($M = 15$) und gemischter Testpopulation ($M = 19$) mit $p = 0,6984$ gefunden.

In den Zwangsversuchen gab es keine Unterschiede zwischen den Medianen der LT₅₀ der Männchen ($M = 6$, $p > 0,9999$) und Juvenilen ($M = 8$; $p = 0,4841$) in Ansätzen mit adulter bzw. juveniler Testpopulation und Ansätzen mit gemischter Testpopulation, der Median der LT₅₀ der Weibchen lag in den Ansätzen mit gemischter Testpopulation ($M = 6$) unter dem der adulten Testpopulation ($M = 8$), war aber ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,0714$).

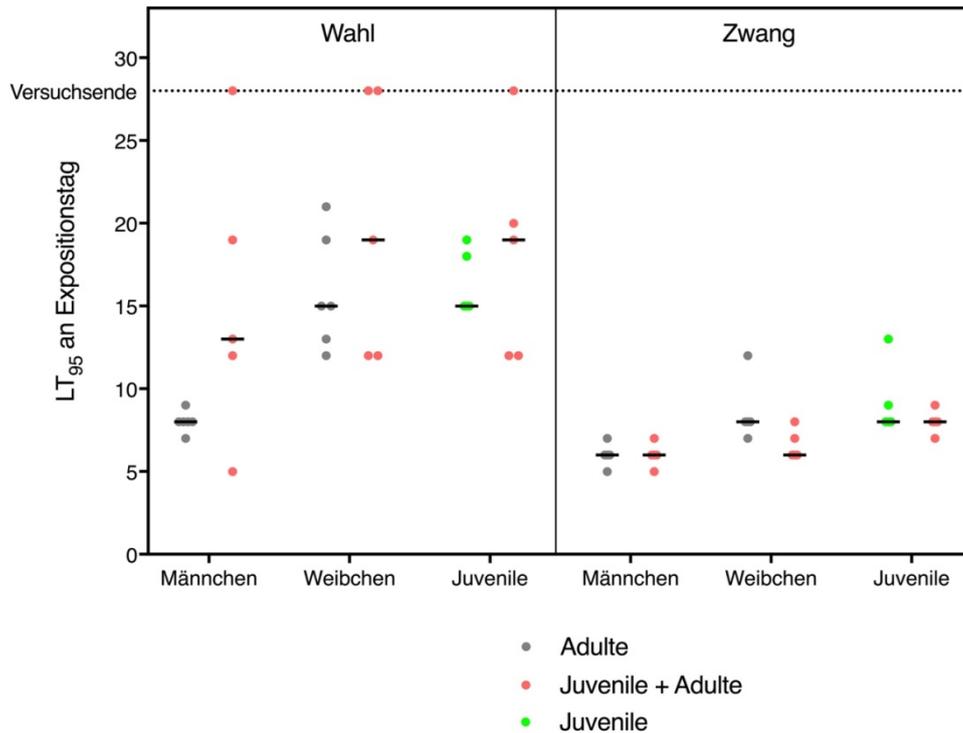


Abb. 34: LT_{95} der Männchen, Weibchen und Juvenilen von *B. germanica*, verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{95} aller Replikate eines Testsystems an.

3.1.2.2 Versuche mit *P. americana*

Die Zusammensetzung der Testpopulation von *P. americana* hatte einen Einfluss auf die LT_{50} und LT_{95} der Testpopulationen und somit auf den Verlauf und das Ergebnis der Fraßköderversuche (Abb. 35). Der Vergleich der LT_{50} und LT_{95} der unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen von *P. americana* zeigte signifikante Unterschiede und die einzelnen Populationsgruppen starben in Ansätzen mit gemischter Population eher als in Ansätzen mit adulten bzw. juvenilen Testpopulationen (Abb. 36 und 37).

Wie Abb. 35 zeigt, lag der Median der LT_{50} in den Wahlversuchen mit gemischten Testpopulationen bei Tag 8 und damit unter denen der Ansätze mit adulten Tieren ($M = 12$) und denen mit juvenilen Testpopulationen ($M = 19$). Der Unterschied zwischen den LT_{50} der adulten Tiere und der juvenilen Tiere war mit $p = 0,4630$ nicht signifikant, ebenso der Unterschied zwischen den LT_{50} der adulten und gemischten Testpopulationen ($p = 0,1922$). Signifikant unterschiedlich waren dagegen die LT_{50} der juvenilen und gemischten Testpopulationen mit $p = 0,0032$. In denselben Versuchen gab es nur zwischen den LT_{95} der adulten und juvenilen Testpopulationen einen signifikanten Unterschied ($p = 0,0097$), die Unterschiede zwischen den LT_{95} der adulten und gemischten Testpopulationen ($p = 0,3425$) und der juvenilen und gemischten Testpopulationen

($p = 0,5174$) waren nicht signifikant. Im Gegensatz zur LT_{50} lag der Median der LT_{95} der adulten Tiere ($M = 15$) unter dem der gemischten Testpopulation ($M = 17$). Der Median der LT_{95} der juvenilen Tiere lag bei Tag 29 und damit außerhalb der Versuchszeit.

In den Zwangsversuchen lagen die LT_{50} und LT_{95} der gemischten Testpopulationen (LT_{50} : $M = 7$; LT_{95} : $M = 12$) unter denen der adulten (LT_{50} : $M = 10$; LT_{95} : $M = 14$) und juvenilen (LT_{50} : $M = 11$; LT_{95} : $M = 18$) Testpopulationen. Signifikante Unterschiede gab es zwischen juvenilen und gemischten Testpopulationen bei der LT_{50} mit $p = 0,0070$ und LT_{95} mit $p = 0,0254$. Der Unterschied zwischen den LT_{50} der Ansätze mit adulten und juvenilen Tieren war genauso wenig signifikant ($p > 0,9999$), wie zwischen den LT_{50} der adulten und gemischten Testpopulationen ($p = 0,1000$). Ebenfalls nicht signifikant waren die Unterschiede zwischen den LT_{95} der genannten Testpopulationen (juvenil und adult: $p = 0,7452$; adult und gemischt: $p = 0,4175$).

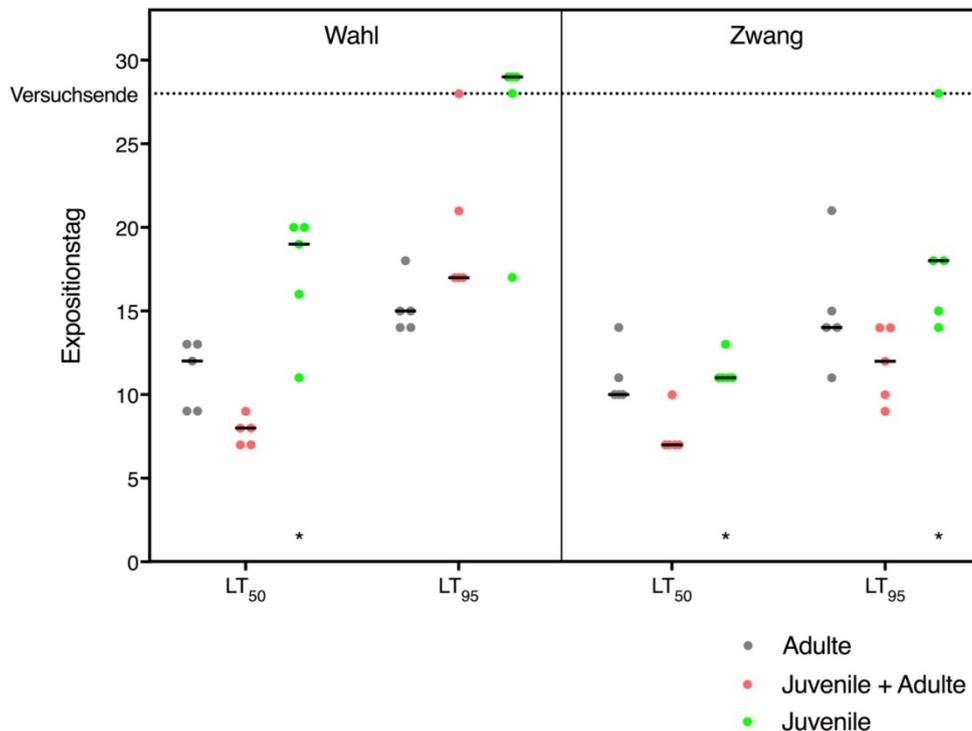


Abb. 35: Vergleich der LT_{50} und LT_{95} der Gesamtpopulationen von *P. americana* in den Wahl- und Zwangsversuchen. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{50} aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test wurden die LT_{50} und LT_{95} der drei Testpopulationen auf signifikante Unterschiede untersucht. Dargestellt sind signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der Testpopulation mit * und der gemischten Testpopulation.

Die LT_{50} der einzelnen Populationsgruppen wurde durch die Zusammensetzung der Testpopulation signifikant beeinflusst (Abb. 36). Eine Mortalität von 50 % der Männchen, Weibchen und Juvenilen wurde in den gemischten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen schneller erreicht als in den adulten bzw. juvenilen Testpopulationen.

Der Median der LT_{50} der Männchen in den Ansätzen mit adulten Tieren ($M = 11$) lag über dem Median der LT_{50} in den Ansätzen mit gemischter Testpopulation ($M = 7$), die LT_{50} waren mit $p = 0,0079$ signifikant unterschiedlich. Der Median der LT_{50} der Weibchen in den gemischten Testpopulationen lag ebenfalls bei Tag 7 und damit unter dem Median der LT_{50} der Weibchen in den Ansätzen mit adulten Tieren ($M = 13$), die LT_{50} der Weibchen in beiden Testpopulationen waren signifikant unterschiedlich ($p = 0,0079$). Auch die LT_{50} der juvenilen Tiere in gemischten Ansätzen war signifikant unterschiedlich ($p = 0,0317$) zu der LT_{50} in den Ansätzen der juvenilen Tiere. Der Median der LT_{50} der juvenilen Tiere lag in den gemischten Ansätzen bei Tag 11 und in den Ansätzen mit juvenilen Tieren bei Tag 19.

Auch in den Zwangsversuchen lagen die Mediane der LT_{50} der Populationsgruppen in den gemischten Testpopulationen (Männchen: $M = 7$; Weibchen: $M = 7$; Juvenile: $M = 10$) unter den Medianen der LT_{50} in den adulten bzw. juvenilen Testpopulationen (Männchen: $M = 10$; Weibchen: $M = 11$; Juvenile: $M = 11$). Signifikante Unterschiede gab es auch hier zwischen den LT_{50} der Männchen ($p = 0,0397$), Weibchen ($p = 0,0079$) und Juvenile ($p = 0,0079$) in den adulten bzw. juvenilen und den gemischten Testpopulationen.

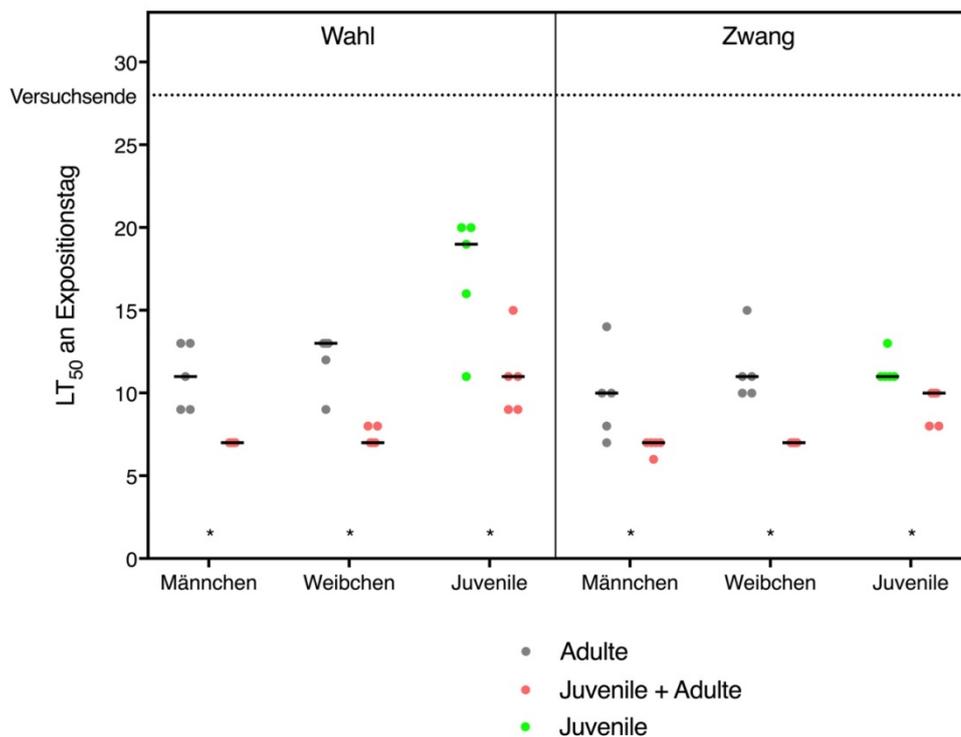


Abb. 36: LT_{50} der Männchen, Weibchen und Juvenile von *P. americana*, verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{50} aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-Whitney-U-Test wurden die LT_{50} der jeweiligen Populationsgruppe in den beiden unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

Die Mediane der LT_{95} der Männchen, Weibchen und Juvenilen waren in den gemischten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen niedriger als die der adulten bzw. juvenilen Testpopulationen (Abb. 37). Für die LT_{95} der Männchen im Wahlversuch war dieser Unterschied mit $p = 0,0079$ signifikant. Der Median der LT_{95} lag hier in den gemischten Testpopulationen bei Tag 7 und in den adulten Testpopulationen bei Tag 14. Der Unterschied zwischen den LT_{95} der Weibchen in den gemischten ($M = 8$) und adulten ($M = 15$) Testpopulationen war nicht signifikant ($p = 0,5000$), ebenso wie der Unterschied zwischen den LT_{95} der juvenilen Tiere in den gemischten ($M = 21$) und juvenilen ($M = 29$) Testpopulationen ($p = 0,2143$).

In den Zwangsversuchen waren die Unterschiede zwischen den LT_{95} der Männchen ($p = 0,1825$), Weibchen ($p = 0,1508$) und Juvenilen ($p = 0,1111$) in den gemischten und den adulten bzw. juvenilen Testpopulationen nicht signifikant. Die Mediane der LT_{95} der Populationsgruppen lagen in den gemischten Testpopulationen (Männchen: $M = 10$; Weibchen: $M = 10$; Juvenile: $M = 14$) unter denen in den adulten (Männchen: $M = 11$; Weibchen: $M = 14$) und juvenilen ($M = 18$) Testpopulationen.

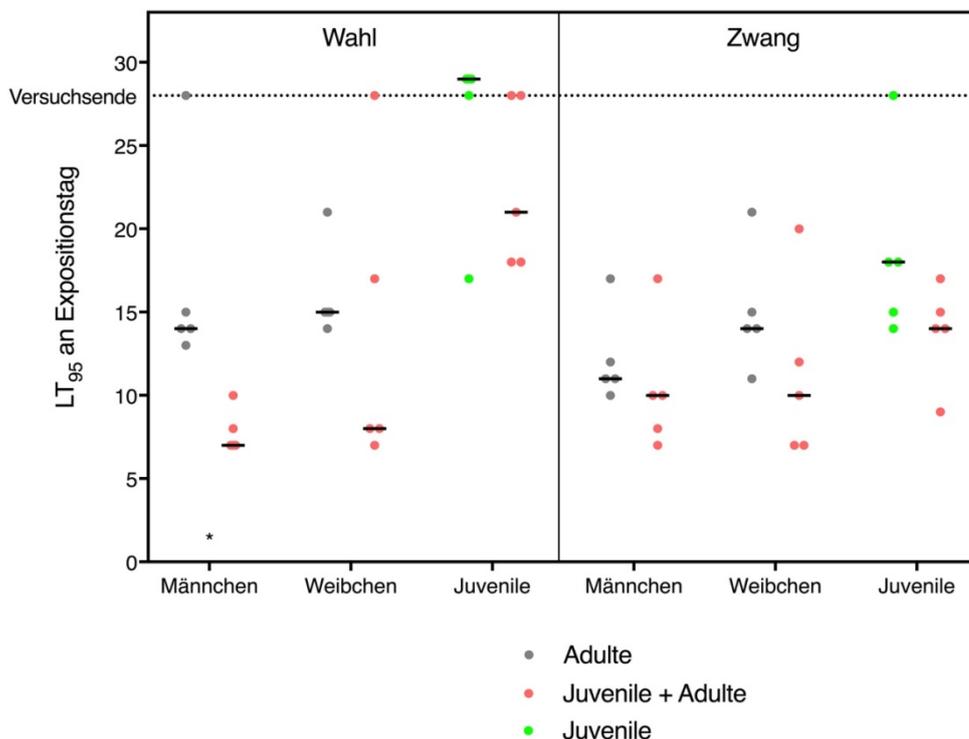


Abb. 37: LT_{95} der Männchen, Weibchen und Juvenilen von *P. americana*, verglichen in unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen in Wahl- und Zwangsversuchen. Der waagerechte Strich gibt den Median der LT_{95} aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-Whitney-Test wurden die LT_{95} der jeweiligen Populationsgruppe in den beiden unterschiedlich zusammengesetzten Testpopulationen auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

3.1.3 Streuungen in Fraßköderversuchen

3.1.3.1 *B. germanica*

Die Streuung der Werte war in den Fraßköderversuchen teilweise sehr groß (Abb. 38). Sie fiel bei der LT_{95} der deutschen Schaben größer aus als bei der LT_{50} . Die größte Spannweite (R) in den LT_{50} gab es in den Ansätzen mit gemischter Population der Wahlversuche in den 1-KS mit $R = 6$, während sie in den LT_{95} entsprechend bei $R = 16$ lag. In Versuchen mit adulten Tieren war die Spannweite der Werte in Wahl- und Zwangsversuchen mit pK größer als beim Einsatz von fK. Bei der LT_{50} der Tiere in 1-KS und 2-KS lagen die Spannweiten nur in zwei Versuchen mehr als einen Tag auseinander, dies war der Fall in den Wahlversuchen mit fK in Ansätzen mit adulten Tieren (1-KS: $R = 1$; 2-KS: $R = 4$) und im Zwangsversuch mit Ansätzen gemischter Population (1-KS: $R = 1$; 2-KS: $R = 3$) der Fall.

In den Wahlversuchen mit gemischter Testpopulation zeigte sich die größte Spannweite der LT_{95} in den Replikaten mit $R = 16$. In Versuchen mit adulten Tieren waren die Unterschiede zwischen den Spannweiten beider Versuchssysteme mit pK am größten (Wahlversuche 1-KS: $R = 13$ und 2-KS: $R = 9$; Zwangsversuche 1-KS: $R = 15$ und 2-KS: $R = 8$). In den Wahlversuchen mit fK war die Spannweite der LT_{95} in den 2-KS ($R = 7$) größer als in den 1-KS ($R = 3$), in den Zwangsversuchen lagen die Unterschiede der Spannweiten der Werte zwischen 1-KS und 2-KS bei maximal 2 Tagen, im 1-KS war die Streuung hier in allen Versuchen größer als im 2-KS.

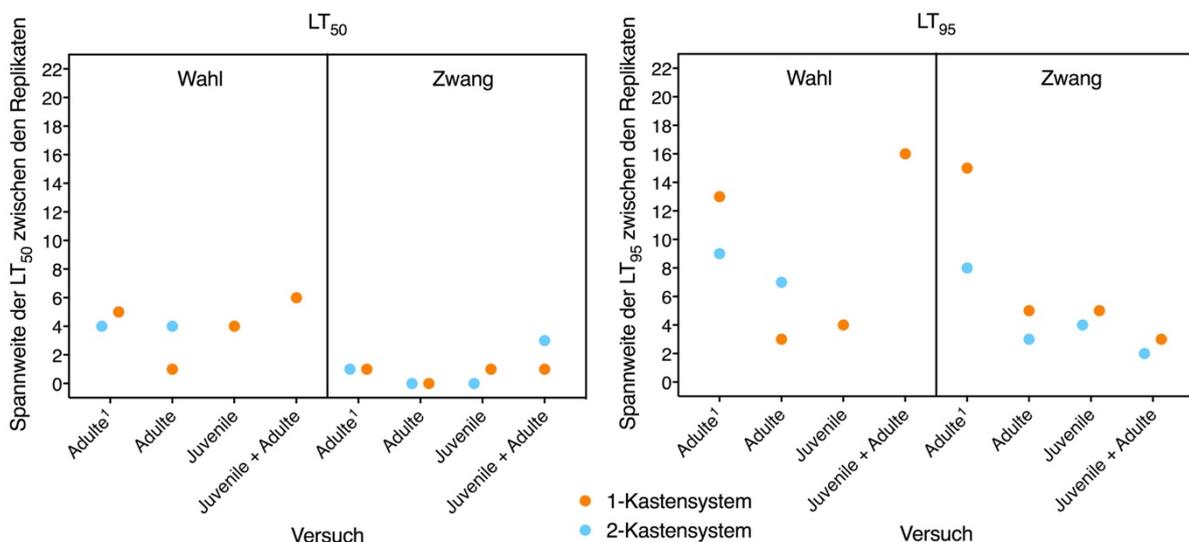


Abb. 38: Spannweite zwischen den Replikaten, in denen die LT_{50} bzw. LT_{95} von *B. germanica* als erstes und letztes erreicht wurde. Versuche mit Adulten wurden mit pulverigem Köder, alle anderen Versuche mit flüssigem Köder durchgeführt

3.1.3.2 *P. americana*

Die Streuung der Werte war in den Versuchen mit amerikanischen Schaben (Abb. 39) insgesamt größer als in den Versuchen mit deutschen Schaben (s o.). Auch hier fiel sie bei der LT_{95} größer aus als bei der LT_{50} , bis auf eine Ausnahme. Diese gab es bei den Wahlversuchen mit pK, hier gab es die größte Spannweite zwischen den LT_{50} in den Ansätzen mit adulten Tieren in den 2-KS mit $R = 20$, während sie in den LT_{95} entsprechend nur noch bei $R = 1$ lag, was daran lag, dass hier größtenteils keine Tilgungen der Tiere erfolgten.

Die Spannweiten der LT_{50} waren in 1-KS und 2-KS in den anderen Versuchen z. T. gleich groß (Adulte im Zwangsversuch mit pK, $R = 7$), mit Adulten im Wahlversuch und Einsatz des fK (1-KS: $R = 4$; 2-KS: $R = 3$) und juvenilen Tieren im Zwangsversuch (1-KS: $R = 2$; 2-KS: $R = 1$) waren die Unterschiede zwischen den Spannweiten der LT_{50} der Tiere in beiden Testsystemen gering. Auch im Zwangsversuch mit fK mit adulten Tieren (1-KS: $R = 4$; 2-KS: $R = 1$) und gemischter Population (1-KS: $R = 3$; 2-KS: $R = 0$) waren die Unterschiede zwischen den Testsystemen gering.

Die größte Spannweite der LT_{95} in den einzelnen Replikaten gab es im 1-KS in den Zwangsversuchen mit juvenilen Tieren ($R = 14$). Auch in den Wahlversuchen mit juvenilen Tieren ($R = 12$) und gemischten Testpopulationen ($R = 11$) waren große Streuungen zu finden. Die Unterschiede der Streuungen der LT_{95} waren zwischen den Testsystemen größer als bei der LT_{50} . Bis auf den Wahlversuch mit fK und adulten Tieren (1-KS: $R = 4$; 2-KS: $R = 8$) waren die Streuungen in den 1-KS immer größer als in den 2-KS. Der größte Unterschied zwischen den Spannweiten der LT_{95} der beiden Testsysteme ergab sich in den Wahlversuchen mit pK, in den 1-KS war $R = 12$ und in den 2-KS ergab sich $R = 1$, was sich aus den nicht erfolgten Tilgungen der Tiere in den Versuchen ergab. Der geringste Unterschied zwischen den Spannweiten der beiden Systeme ergab sich in den Zwangsversuchen mit gemischten Populationen (1-KS: $R = 5$; 2-KS: $R = 3$).

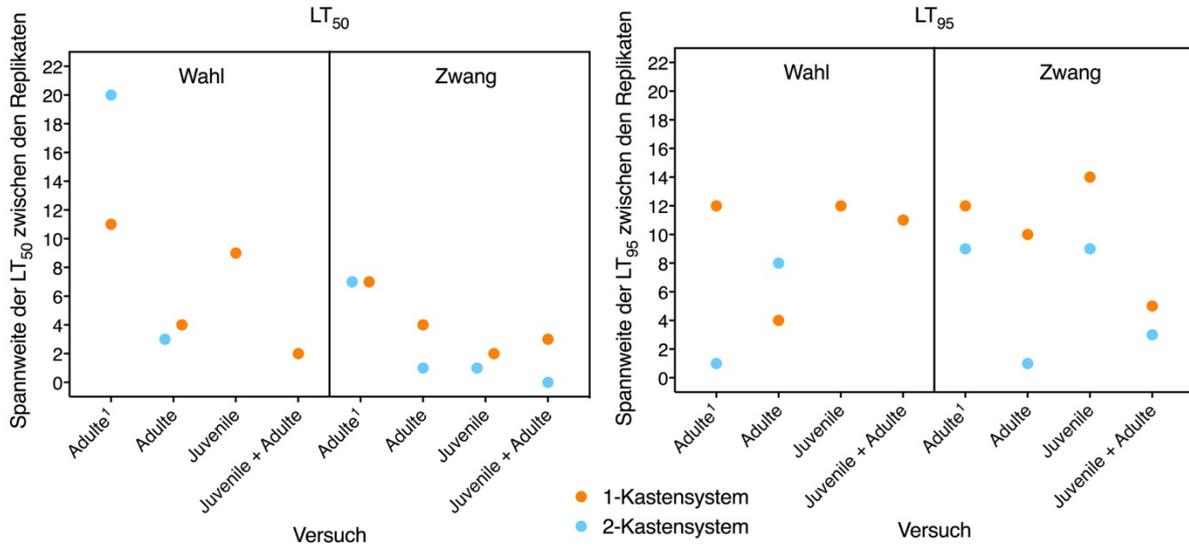


Abb. 39: Spannweite zwischen den Replikaten, in denen die LT_{50} bzw. LT_{95} von *P. americana* als erstes und letztes erreicht wurde. Versuche mit Adulten wurden mit pulverigem Köder, alle anderen Versuche mit flüssigem Köder durchgeführt

3.1.4 Monitoringsysteme zur Schabendetektion

Es wurden mit den drei Schabenarten *B. germanica*, *B. orientalis* und *P. americana* Monitoringversuche durchgeführt.

Nach dem ersten Versuchsdurchlauf mit jeder Schabenart und jedem Modell der Klebefallen waren in den kleinen und großen Klebefallen Tiere aller drei Arten gefangen. Für die weiteren Versuche wurden die kleinen Klebefallen genutzt. Diese Versuche waren jeweils zwei Wiederholungen der schon durchgeführten Versuche und zusätzlich drei Versuchsdurchgänge mit nur drei Tieren (1 Männchen, 1 Weibchen und 1 Juveniles) jeder Schabenart zur Simulation eines anfänglichen Befalls.

In Tab. 7 sind die in den Klebefallen gefangenen und die vom Kamerasystem detektierten Schabenläufe zusammengefasst. In allen Versuchen (mit 15 oder 3 eingesetzten Tieren) wurden mit dem Kamerasystem Schaben detektiert, mit den Klebefallen war dies nicht der Fall. Auf der gelben Leimplatte, die mit vier Lockstofftabletten versehen war, wurde keine Schabe gefangen. In der Styroporklebefalle wurde keine amerikanische Schabe gefangen, von den orientalischen Schaben wurden zwei Tiere und von den deutschen Schaben ein Tier gefangen. In der großen Klebefalle wurden eine amerikanische, drei deutsche und 14 orientalische Schaben gefangen. Mit insgesamt 20 von 45 Tieren wurden mit den kleinen Fallen die orientalischen Schaben am besten gefangen. 14 von 45 deutschen Schaben wurden in den beiden kleinen Klebefallen gefangen. In allen drei Versuchsdurchgängen wurde nur eine amerikanische Schabe in einer Klebefalle gefangen.

In den Versuchen mit drei eingesetzten Schaben wurden keine deutsche, eine amerikanische und acht orientalische Schaben in den kleinen Klebefallen gefangen.

Tab. 7: Zusammenfassung der Detektionen in den Versuchen mit Klebefallen und Kamerasystem. Klebefalle 1 befand sich unter dem Kamerasystem, Klebefalle 2 an der gegenüberliegenden Wand des Kamerasystems. Das Kamerasystem detektierte unter dem System entlang gelaufene Schaben.

Klebefallenmodell	Schabenart	Anzahl Replikate	Tiere je Replik	Gefangene Schaben		Aufgenommene Schaben
				Klebefalle 1	Klebefalle 2	Kamerasystem
Kleine Klebefalle	<i>B. germanica</i>	3	15	9	5	162
	<i>B. orientalis</i>	3	15	8	12	277
	<i>P. americana</i>	3	15	1	0	512
	<i>B. germanica</i>	3	3	0	0	35
	<i>B. orientalis</i>	3	3	5	3	65
	<i>P. americana</i>	3	3	0	1	76
Styroporklebefalle	<i>B. germanica</i>	2	15	0	1	141
	<i>B. orientalis</i>	2	15	2	0	115
	<i>P. americana</i>	1	15	0	0	92
Große Klebefalle	<i>B. germanica</i>	1	15	3	0	20
	<i>B. orientalis</i>	1	15	14	0	85
	<i>P. americana</i>	1	15	1	0	205
Gelbe Leimplatte	<i>B. germanica</i>	1	15	0	0	48
	<i>B. orientalis</i>	1	15	0	0	66
	<i>P. americana</i>	1	15	0	0	42

Mit dem Wilcoxon-Test wurde für die Versuche mit 15 Tieren je Replik verglichen, ob es signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl gefangener Tiere in den beiden gegenüberliegenden Fallen gab. Bei keiner der drei Schabenarten (*B. germanica* $p = 0,25$; *B. orientalis* $p = 0,5$; *P. americana* $p > 0,9999$) war dies der Fall.

Außerdem wurde überprüft, ob es signifikante Unterschiede zwischen der Anzahl gefangener Tiere der drei verschiedenen Schabenarten gab (Abb. 40). Dafür wurden die Summen der in den beiden Fallen gefangenen Tiere der drei Schabenarten mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test verglichen. Es ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl gefangener amerikanischer Schaben und orientalischer Schaben ($p = 0,0289$). Nicht signifikant waren die Unterschiede zwischen deutschen und orientalischen Schaben ($p = 0,8593$) und zwischen deutschen und amerikanischen Schaben ($p = 0,3834$). Der Median

der gefangenen Tiere in den Fallen lag bei den deutschen Schaben bei fünf, bei den amerikanischen Schaben bei 0 und bei den orientalischen Schaben bei sieben.

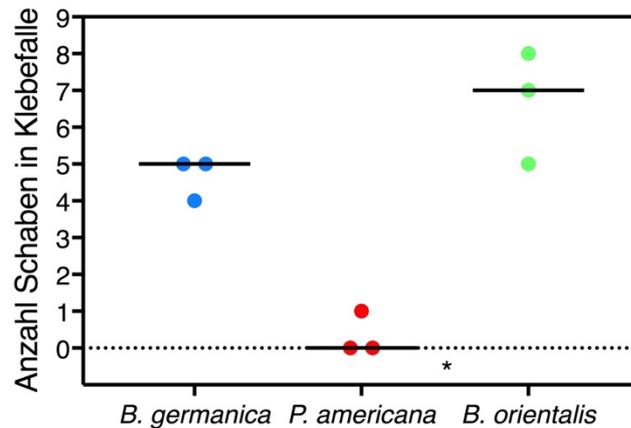


Abb. 40: In den zwei kleinen Klebefallen gefangene *B. germanica*, *P. americana* und *B. oriental* bei einem Besatz mit jeweils 15 Tieren. Der Median der Schaben in den Klebefallen ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test wurde die Anzahl gefangener Tiere der drei Testpopulationen auf signifikante Unterschiede untersucht. Signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Schabenarten sind mit * gekennzeichnet.

Außerdem wurden die durch das Kamerasystem detektierten Schaben der drei Arten mit dem Kruskal-Wallis und Dunn's Post-hoc-Test überprüft (Abb. 41). Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schabenarten (orientalische und deutsche Schaben: $p = 0,8902$; orientalische und amerikanische Schaben: $p = 0,8902$; deutsche und amerikanische Schaben: $p = 0,1107$). Der Median detektierter Tiere betrug bei deutschen Schaben 40, bei amerikanischen Schaben 116 und bei den orientalischen Schaben 87.

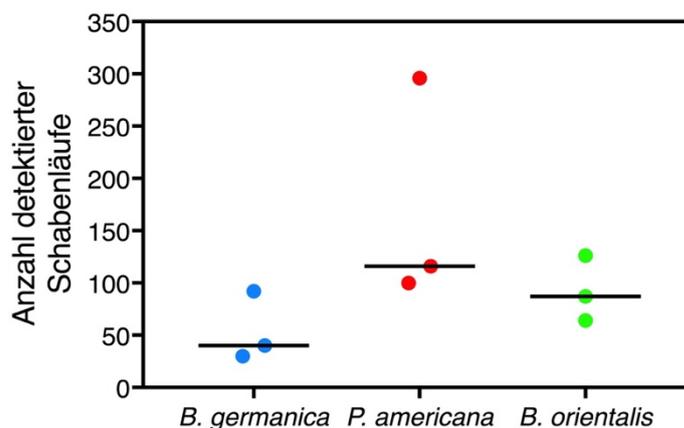


Abb. 41: Detektionen des Kamerasystems in Versuchen mit kleiner Klebefalle mit jeweils 15 Tieren der drei Schabenarten *B. germanica*, *P. americana* und *B. oriental*. Der waagerechte Strich gibt den Median detektierter Schabenläufe an.

Die Versuche mit jeweils drei Tieren der drei Schabenarten sollten zeigen, ob auch schon kleine Befälle detektiert werden. Der Median der in den Klebefallen gefangener amerikanischer und deutscher Schaben lag bei 0, der Median der orientalischen Schaben in den Klebefallen betrug drei (Abb. 42). Ein signifikanter Unterschied zwischen der Anzahl in den Klebefallen gefangener Schaben ergab sich im Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test zwischen deutschen und orientalischen Schaben ($p = 0,0415$), zwischen deutschen und amerikanischen ($p > 0,9999$) sowie zwischen orientalischen und amerikanischen ($p = 0,1467$) Schaben gab es keinen signifikanten Unterschiede.

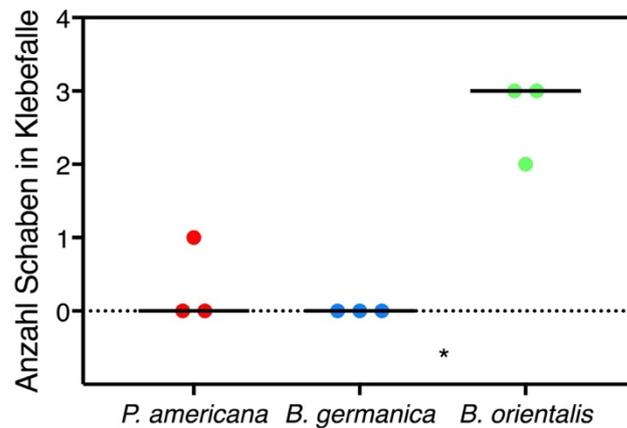


Abb. 42: In den zwei kleinen Klebefallen gefangene Tiere von *B. germanica*, *P. americana* und *B. orientalis* bei einem Besatz mit jeweils 3 Tieren. Der Median ist mit einem waagerechten Strich gekennzeichnet. Mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test wurde die Anzahl gefangener Tiere der drei Testpopulationen auf signifikante Unterschiede untersucht. Dargestellt sind signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Schabenarten mit *.

Weiterhin wurden die durch das Kamerasystem detektierten Schaben der drei Arten mit dem Kruskal-Wallis und Dunn's Post-hoc-Test überprüft (Abb. 43). Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schabenarten (orientalische und deutsche Schaben: $p = 0,465$; orientalische und amerikanische Schaben: $p > 0,9999$; deutsche und amerikanische Schaben: $p = 0,6097$). Der Median detektierter deutscher Schaben lag bei 13 Tieren, bei amerikanischen und orientalischen Schaben lag der Median bei 24 detektierten Tieren.

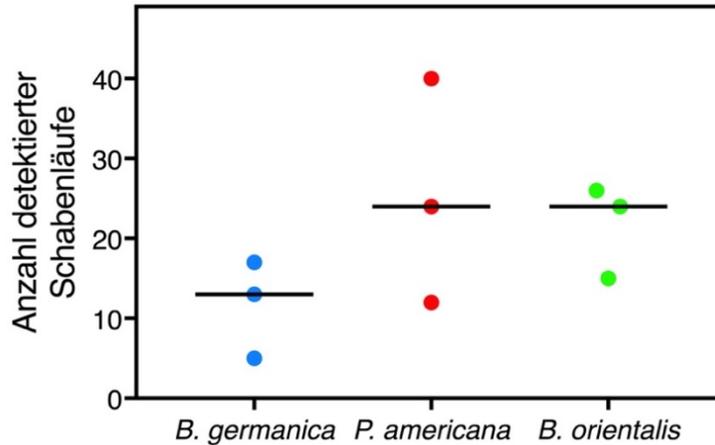


Abb. 43: Detektionen des Kamerasystems in Versuchen mit kleiner Klebefalle mit jeweils 3 Tieren der drei Schabenarten *B. germanica*, *P. americana* und *B. orientalis*. Der Median der detektierten Schabenläufe ist mit einem waagerechten Strich gekennzeichnet.

3.1.5 Aktivitätsversuche

Um zu untersuchen, ob die unterschiedlichen Ergebnisse aus den Ködertests für die unterschiedlichen Gruppen daraus resultierten, dass juvenile, männliche und weibliche Tiere verschiedene Aktivitätsmuster hatten, wurden Aktivitätsversuche in drei Replikaten mit jeweils 15 amerikanischen bzw. deutschen Schaben (5 Männchen, 5 Weibchen, 5 Juvenile), die mit Nummern markiert waren, durchgeführt. Die Versuche mit deutschen Schaben konnten nicht ausgewertet werden. Die benötigte Mindestgröße der Schilder (die Auflösung der Kamera war nicht ausreichend, um kleinere Schilder und Nummern zu verwenden) war zu groß für die Schaben. Daher fielen entweder die Schilder mit den Nummern ab oder bei Versuchen mit der Verwendung von größeren Mengen Klebstoff starben die Schaben, wahrscheinlich wegen zugeklebter Tracheenöffnungen.

Das Kamerasystem zeichnete durch das Bild gelaufene Schaben auf und mit Hilfe der Nummern konnte die Anzahl der Läufe je Schabe ausgewertet werden. Außerdem konnten tageszeitabhängige Aktivitätsmuster bestimmt werden.

Die höchste Aktivität erreichten die weiblichen Schaben. Von den insgesamt 15 weiblichen Tieren wurden 132 Läufe aufgezeichnet. Bei den 15 Männchen wurden insgesamt 64 Läufe und bei den juvenilen Tieren insgesamt 55 Läufe aufgezeichnet. Somit ergaben sich folgende Mittelwerte pro Tier: 4,3 (SD 3,6) Läufe je Männchen, 8,8 (SD 10,4) Läufe je Weibchen und 3,7 (SD 3,5) Läufe je Juvenilem (Abb. 44).

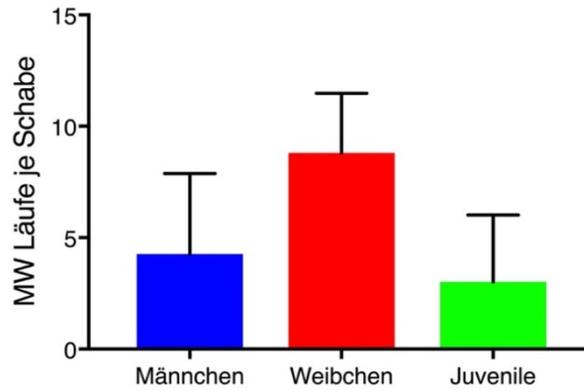


Abb. 44: Aktivität der unterschiedlichen Schabenstadien von *P. americana*. Dargestellt ist der Mittelwert mit Standardabweichung der Anzahl aller Läufe je Tier je Stadium.

Die Anzahl der Läufe der einzelnen Tiere der verschiedenen Stadien wurde mit dem Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test auf Unterschiede überprüft. Hierbei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Stadien (Juvenile und Männchen: $p > 0.9999$, Juvenile und Weibchen: $p = 0,0847$, Männchen und Weibchen: $p = 0,2488$).

Abbildung 45 zeigt, dass die Aktivität der amerikanischen Schaben im Monitoringversuch während des Zeitraums mit Tageslicht (im Sommer etwa von 6 Uhr bis 20 Uhr), deutlich reduziert war. Die höchste Aktivität wurde zwischen 21 Uhr und 7 Uhr aufgenommen.

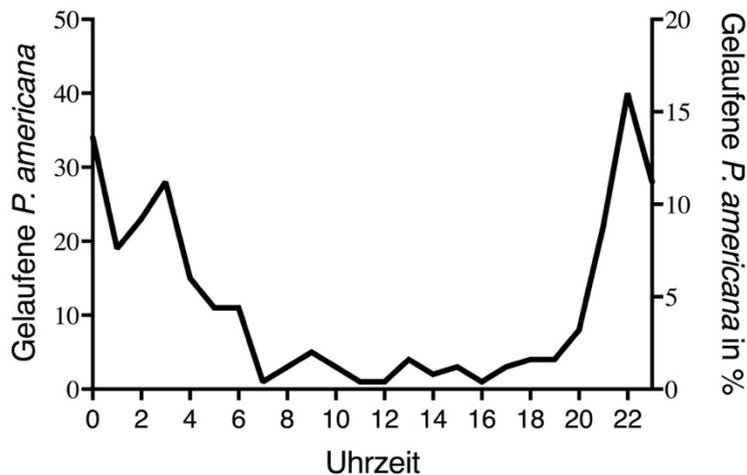


Abb. 45: Aktivität von *P. americana* abhängig von der Tageszeit. Dargestellt ist die Anzahl gelaufener Schaben nach Tageszeit, n Läufe = 274.

3.2 Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen

3.2.1 Versuche mit *T. melanocephalum* im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem

In der Eingewöhnungszeit konnten die Ameisen ihren Weg zu Futter und Wasser etablieren. Zwar sollte nach Versuchsplan nach einer Woche die Giftköderanbietung erfolgen, dies war allerdings in den 3-Kammersystemen nicht in allen Replikaten möglich, da die Ameisen die ihnen angebotenen Nester nicht sofort annahmen. Daher wurde in diesen Systemen zum Teil erst nach zwei Wochen der Köder eingesetzt.

Auch nach Einsetzen des Köders waren die Ameisen in den 3-Kammersystemen sehr mobil und zogen mit Königinnen und Brut in die Schläuche zwischen den Kästen, in die Ecken der Kästen oder an Tränke und Futterschale.

Im 1-Kammersystem konnten in zwei von fünf Replikaten innerhalb der Versuchszeit nicht alle Tiere des Volkes getötet werden. Im 3-Kammersystem wurden die Völker in zwei von sechs Replikaten nicht getilgt (Abb. 46), so dass diese mit Tag 90 gewertet wurden (siehe Methodenteil Kap. 2.4.3).

Die Dauer bis zur Tilgung und die Mortalität der Königinnen in den zwei Versuchssystemen wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Hierbei ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Dauer bis zur Tilgung: $p = 0,619$; Mortalität der Königinnen: $p = 0,9242$).

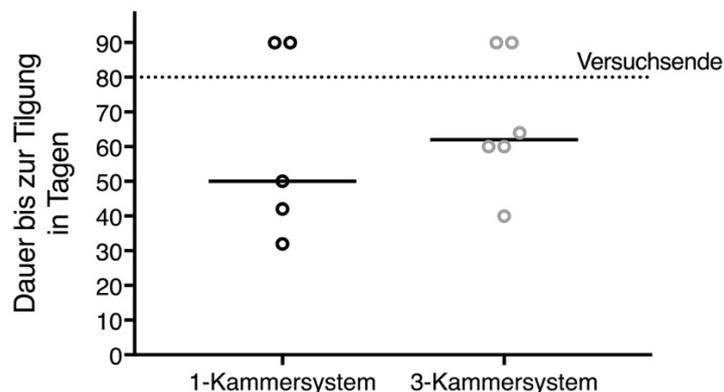


Abb. 46: Dauer bis zur Tilgung der Völker von *T. melanocephalum* in den einzelnen Replikaten im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem unter Anwendung eines Borsäureködgers. Für Replikate, in denen keine Tilgung erreicht wurde, wurde Tag 90 als Tilgungstag angegeben. Der waagerechte Strich kennzeichnet den Median der Tage der Tilgung.

In den nicht getilgten Replikaten der 1-Kammersysteme lag die Mortalität der Königinnen bei 93 % und 98 % (Tab. 8). In den 3-Kammersystemen lag die Mortalität der Königinnen bei 52 % und 88 %. In nur einem Replikat im 3-Kastensystem überlebte eine Arbeiterin, in allen anderen

nicht getilgten Replikaten gab es keine überlebenden Arbeiterinnen. In allen nicht getilgten Ansätzen gab es am Versuchsende keine Brut mehr.

Tab. 8: Übersicht über die toten und überlebenden Königinnen sowie überlebenden Arbeiterinnen von *T. melanocephalum* in den Replikaten, in denen die Ameisenvölker nicht getilgt wurden.

Versuch	nicht getilgte Replikate	tote Königinnen	überlebende Königinnen	überlebende Arbeiterinnen
1-Kastensystem	2	98	8	0
		247	5	0
3-Kastensystem	2	66	61	1
		325	46	0

3.2.2 Versuche mit unterschiedlich großen 1-Kammersystemen

3.2.2.1 Vergleich der Größe der Testsysteme

Es wurden zwei unterschiedlich große Arenen für *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* mit Imidacloprid und Indoxacarb als Wirkstoff in Fraßködern verglichen. Die Dauer bis zur Tilgung, falls diese erreicht wurde (Abb. 47), sowie die Mortalität der Königinnen (Abb. 48), die Aktivität der Arbeiterinnen während des Versuchs (Abb. 50 bis 53) und die am Versuchsende lebenden Arbeiterinnen (Abb. 49) wurden in den beiden Versuchssystemen verglichen.

Mit Imidacloprid als Wirkstoff wurden alle Tiere in den Versuchsansätzen innerhalb des Versuchszeitraums mit beiden Arten und in den beiden unterschiedlich großen Arenen getilgt (Abb. 47, A und B).

In den Versuchen mit *M. pharaonis* unter Anwendung von Imidacloprid wurden in großer und kleiner Arena die Ameisenvölker aller Replikate, bis auf eines in den großen Arenen, vor der Hälfte der Expositionszeit getilgt (Abb. 47 A). Der Median der Dauer bis zur Tilgung lag in den kleinen Arenen bei 22 Tagen und in den großen Arenen bei 27 Tagen. Hier gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich großen Arenen ($p = 0,6508$). Mit Indoxacarb wurden die Ameisenvölker in zwei Replikaten in den kleinen Arenen abgetötet, alle anderen Völker wurden nicht innerhalb des Versuchszeitraums getilgt. Auch hier ergab der Mann-Whitney-U-Test keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,4545$).

Mit Imidacloprid wurden ebenfalls alle *T. melanocephalum* getilgt, in den kleinen Arenen lag der Median der Dauer bis zur Tilgung bei 35 Tagen und in den großen Arenen bei 48 Tagen (Abb. 47 B), einen signifikanten Unterschied gab es nicht ($p = 0,3968$). Mit Indoxacarbködern fand in keinem System eine Tilgung der gesamten Ameisenvölker innerhalb des

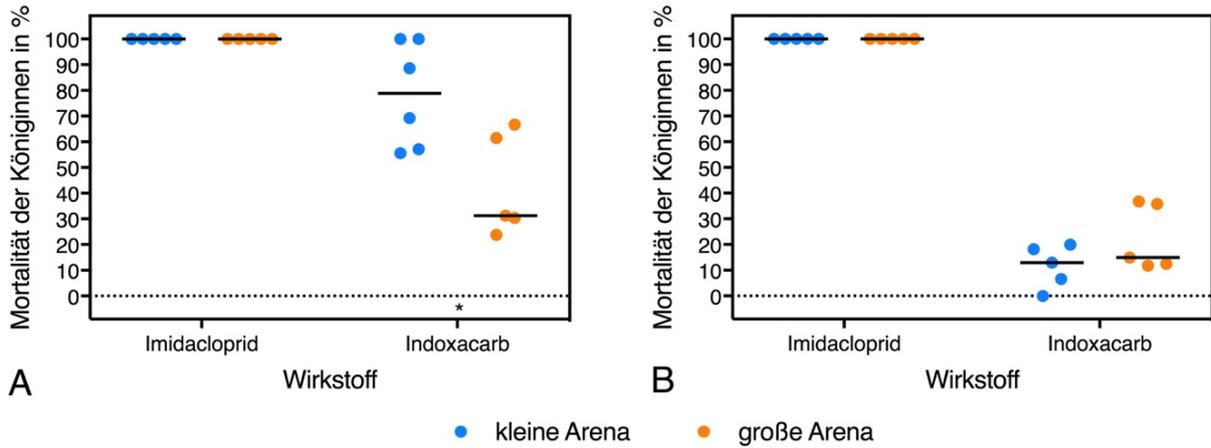


Abb. 48: Mortalität der Königinnen in beiden Testsystemen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern. **A** *M. pharaonis*. **B** *T. melanocephalum*. Der waagerechte Strich gibt den Median der Mortalität der Königinnen aller Replikate eines Testsystems an. Mit dem Mann-U-Whitney-Test wurde die Mortalität der Königinnen in beiden Testsystemen auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

Im Gegensatz zu den Versuchen mit Imidacloprid als Wirkstoff gab es überlebende Arbeiterinnen in der Mehrzahl der Versuche mit Indoxacarb als Wirkstoff (Abb. 49 A und B). Die Anzahlen überlebender Arbeiterinnen von *M. pharaonis* ($p = 0,0519$) und *T. melanocephalum* ($p = 0,0952$) in den unterschiedlichen Testsystemen waren nicht signifikant. Der Median der überlebenden Arbeiterinnen bei *M. pharaonis* lag in den kleinen Arenen bei 99,5 und in den großen Arenen bei 156. Bei *T. melanocephalum* lag der Median überlebender Arbeiterinnen in den kleinen Arenen bei 56 und in den großen Arenen bei 22.

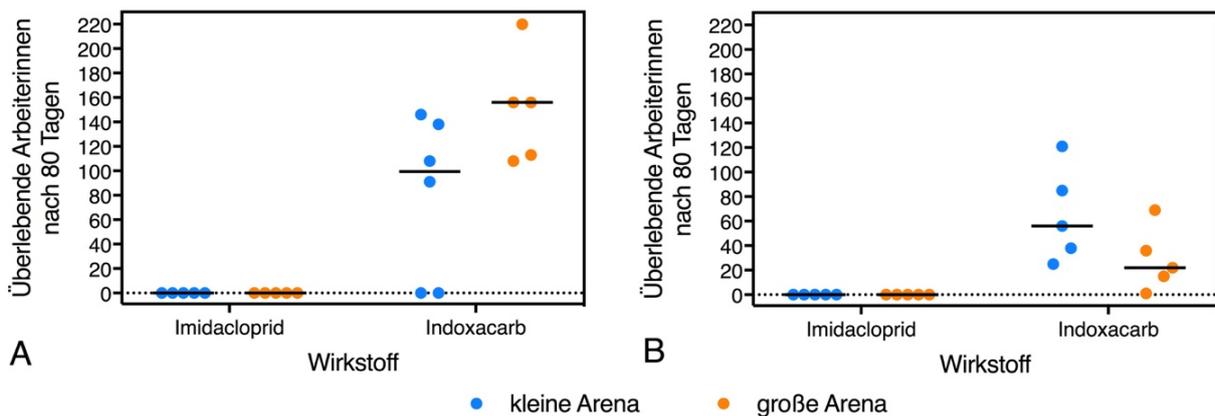


Abb. 49: Überlebende Arbeiterinnen in beiden Testsystemen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern. **A** *M. pharaonis*. **B** *T. melanocephalum*. Der waagerechte Strich gibt den Median der überlebenden Arbeiterinnen aller Replikate eines Testsystems an.

Für die Vergleiche der aktiven Arbeiterinnen wurde der höchste Wert der wöchentlichen Zählungen in jedem Replikat als 100 % gesetzt und alle anderen Werte dementsprechend berechnet. Es wurde die Aktivität der Arbeiterinnen in den Systemen an vier verschiedenen Zeitpunkten

mit beiden Wirkstoffen und Ameisenarten verglichen. Diese Zeitpunkte waren 14 Tage, 35 Tage, 56 Tage und 77 Tage nach Exposition (p. a.) des Köders. Keine Aktivität in den Versuchen bedeutete nicht, dass die Ameisen in den Versuchen getilgt waren, da in manchen Fällen im Nest auch nach Aktivitätsstopp noch Königinnen, Arbeiterinnen und Brut lebten. Die Anzahl der aktiven Arbeiterinnen wurde mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht.

In den Versuchen mit *M. pharaonis* gab es zu keinem der verglichenen Zeitpunkte signifikante Unterschiede (Abb. 50 bis 53) zwischen den Testsystemen unter Anwendung von Imidacloprid (alle Zeitpunkte $p > 0,9999$) und Indoxacarb (14 Tage: $p = 0,1429$; 35 Tage: $p = 0,2381$; 56 Tage: $p = 0,0671$; 77 Tage: $p = 0,1861$).

14 Tage p. a. von Imidacloprid waren in einem Ansatz der kleinen Arenen noch 6 % der Arbeiterinnen von *M. pharaonis* aktiv und in einem Replikat der großen Arenen noch 1 % der Arbeiterinnen (Abb. 50 A). In allen anderen Replikaten beider Systeme waren keine Arbeiterinnen mehr aktiv.

In den Versuchen mit Indoxacarb wiesen die Arbeiterinnen eine höhere Aktivität 14 Tage p. a. auf als in den Versuchen mit Imidacloprid (Abb. 50 B). Der Median der Aktivität in den kleinen Arenen lag bei 9 % und in den großen Arenen bei 20 %.

Die Aktivität der Arbeiterinnen von *T. melanocephalum* in den Versuchen mit Imidacloprid war 14 Tage nach Expositionsbeginn in den kleinen Arenen geringer als in den großen Arenen, jedoch nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,6508$). Der Median des Anteils der aktiven Arbeiterinnen lag in den kleinen Systemen bei 6 % und in den großen Arenen bei 12 %. In beiden Systemen war jeweils in zwei Replikaten keine Aktivität mehr festzustellen.

In den Versuchen mit Indoxacarb als Wirkstoff war die Aktivität in beiden Systemen höher als in Versuchen mit Imidacloprid. Der Median der aktiven Arbeiterinnen lag in den kleinen Arenen bei 67 % und in den großen Arenen bei 76 %. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen kleiner und großer Arena ($p = 0,8413$).

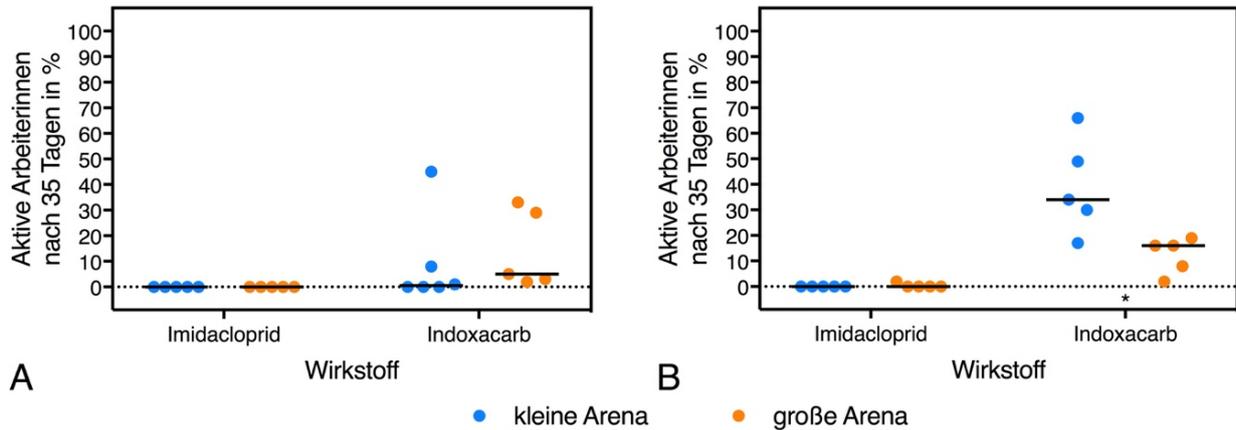


Abb. 51: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 35 Tage nach Exposition. **A** *M. pharaonis*. **B** *T. melanocephalum*. Der waagerechte Strich gibt den Median der aktiven Arbeiterinnen aller Replikate eines Testsystems an. Die Anteile der aktiven Arbeiterinnen wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

Nach 56 Tagen Exposition waren alle *M. pharaonis* unter der Anwendung von Imidacloprid getilgt und somit keine Aktivität mehr vorhanden (Abb. 52 A).

Auch in den kleinen Arenen mit Indoxacarb gab es in drei Replikaten keine Aktivität mehr, der Median lag bei 1 %. In den großen Arenen waren in allen Replikaten aktive Arbeiterinnen zu finden, der Median lag hier bei 11 %.

In den Versuchen mit *T. melanocephalum* gab es unter Anwendung von Imidacloprid nur noch in einem Replikat der großen Arenen eine Aktivität von 1 % (Abb. 52 B), alle anderen Replikate waren bereits getilgt, signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlich großen Arenen gab es nicht ($p > 0,9999$).

Die Ameisen in den Versuchen mit Indoxacarb zeigten nur noch eine geringe Aktivität. In den kleinen Arenen lag der Median bei 7 % und in den großen Arenen lag er bei 1 %, hier war in zwei Replikaten keine Aktivität mehr festzustellen. Zwischen der Aktivität in kleinen und großen Arenen ergab sich im Mann-Whitney-U-Test ein signifikanter Unterschied ($p = 0,0476$).

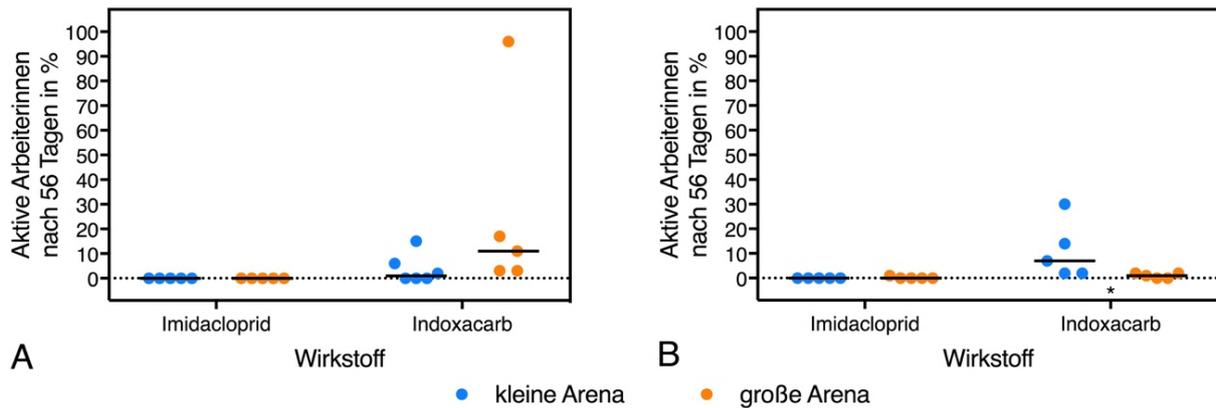


Abb. 52: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 56 Tage nach Exposition. **A** *M. pharaonis*. **B** *T. melanocephalum*. Der waagerechte Strich gibt den Median der aktiven Arbeiterinnen aller Replikate eines Testsystems an. Die Anteile der aktiven Arbeiterinnen wurden mit dem Mann-Whitney-Test auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

Nach 77 Tagen Expositionszeit war die Aktivität von *M. pharaonis* in den Versuchen mit Indoxacarb gering (Abb. 53 A). In drei der kleinen Arenen war keine Aktivität festzustellen, in zwei Ansätzen waren die Tiere bereits getilgt. Der Median der Aktivität in den kleinen Arenen lag bei 1 %, in den großen Arenen bei 2 %, hier war in allen Replikaten noch eine geringe Aktivität festzustellen.

Alle *T. melanocephalum* in den Versuchen mit Imidacloprid waren getilgt, hier gab es keine Aktivität mehr (Abb. 53 B). In den Versuchen mit Indoxacarb gab es in keiner der großen Arenen aktive Arbeiterinnen, es war aber in keinem der Replikate eine Tilgung des Volkes erfolgt. In den kleinen Arenen konnte in zwei Replikaten keine Aktivität festgestellt werden, der Median lag bei 1 %, signifikant waren diese Unterschiede nicht ($p = 0,1667$).

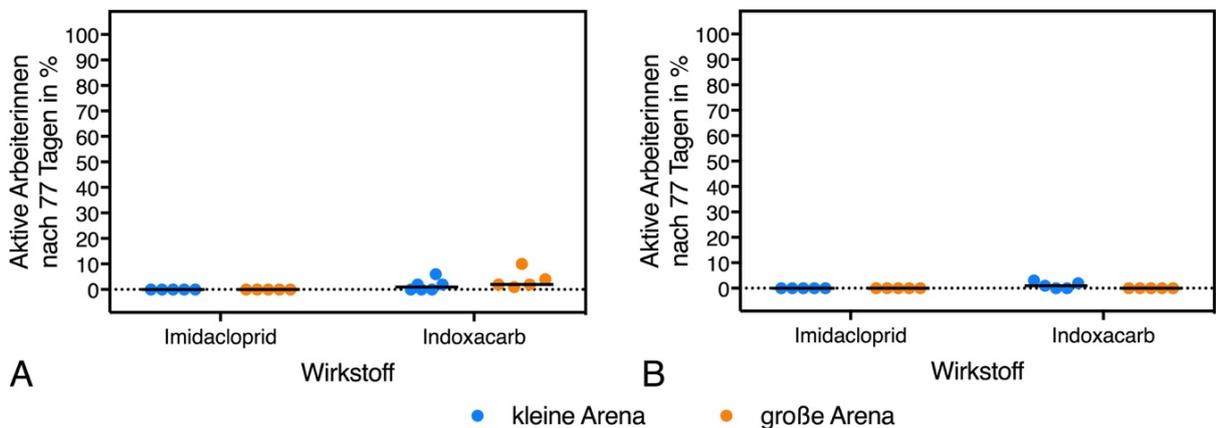


Abb. 53: Aktive Arbeiterinnen in kleinen und großen Versuchsarenen unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern 77 Tage nach Exposition. **A** *M. pharaonis*. **B** *T. melanocephalum*. Der waagerechte Strich gibt den Median der aktiven Arbeiterinnen aller Replikate eines Testsystems an.

3.2.2.2 Vergleich der Wirkstoffe Imidacloprid und Indoxacarb

Für den Vergleich der beiden verwendeten Köder wurden die Anteile der aktiven Arbeiterinnen in den kleinen bzw. in den großen Arenen mit den jeweils unterschiedlichen Ködern mit dem Mann-Whitney-U-Test an den Tagen 14, 35, 56 und 77 nach Exposition miteinander verglichen.

Zwischen den beiden eingesetzten Köderprodukten zeigten sich Unterschiede. In den kleinen und großen Arenen wurden unter der Anwendung des Imidaclopridköders alle Völker von *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* innerhalb der 80 Tage Expositionszeit getilgt, im Gegensatz dazu gab es in den Versuchen mit Indoxacarbköder nur in zwei Replikaten der kleinen Arenen Tilgungen von *M. pharaonis*.

In den kleinen Arenen mit *M. pharaonis* ergab sich 14 Tage p. a. ein signifikanter Unterschied zwischen dem Anteil aktiver Arbeiterinnen in den Versuchen mit Imidacloprid und Indoxacarb ($p = 0,0455$), der Median des Anteils aktiver Arbeiterinnen lag bei der Beköderung mit Imidacloprid bei 0 und unter Anwendung von Indoxacarb bei 9 % (Abb. 54 A). Für die kleinen Arenen ergaben sich an den anderen Zeitpunkten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Anteilen der aktiven Arbeiterinnen von *M. pharaonis* unter Anwendung der beiden Köder (nach 35, 56, 77 Tagen: $p = 0,1818$). Die Mediane der Anteile aktiver Arbeiterinnen lagen zu diesen Zeitpunkten in den Imidaclopridversuchen bei 0. In den Versuchen mit Indoxacarb lagen die Mediane des Anteils aktiver Arbeiterinnen 35 Tage p. a. bei 0,5 % und zu den anderen beiden Zeitpunkten bei 1 %.

In den großen Arenen (Abb. 54 B) gab es zu allen verglichenen Zeitpunkten signifikante Unterschiede zwischen den Anteilen der aktiven Arbeiterinnen von *M. pharaonis* in den Versuchen mit Imidacloprid- und Indoxacarbköder (alle Zeitpunkte $p = 0,0079$). Die Mediane des Anteils aktiver Arbeiterinnen lagen in den Imidaclopridversuchen zu allen Zeitpunkten bei 0. In den Versuchen mit Indoxacarb lag der Median 14 Tage p. a. bei 20 %, 35 Tage p. a. bei 5 %, 56 Tage p. a. bei 11 % und 77 Tage p. a. bei 2 %.

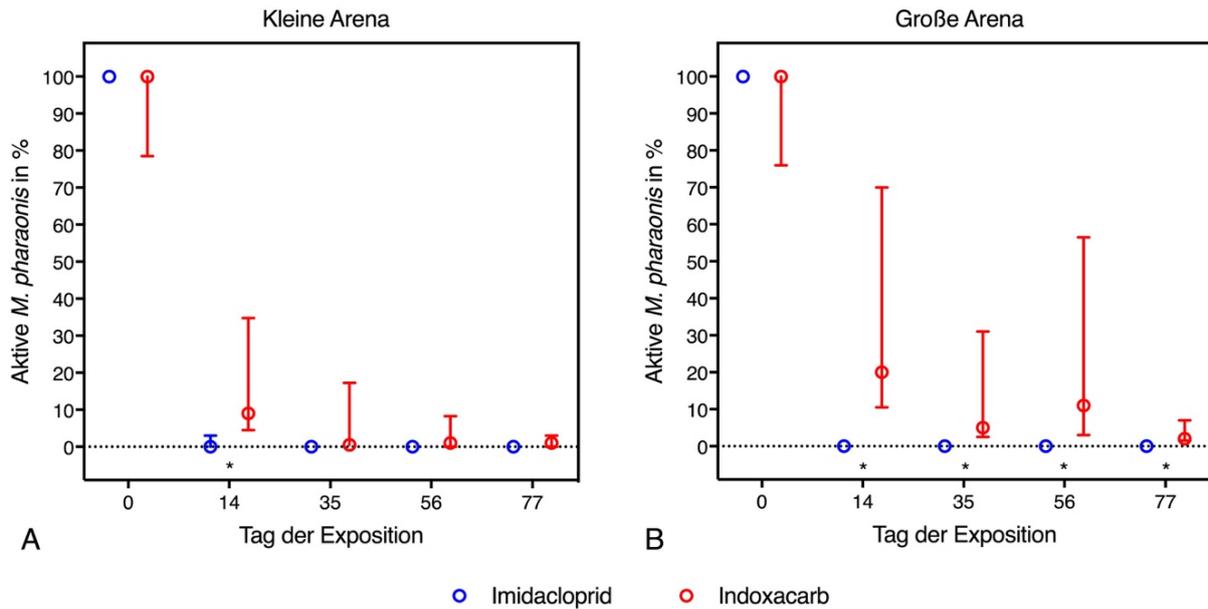


Abb. 54: Vergleichende Darstellung der Aktivität der Arbeiterinnen im Verlauf des Versuchs mit *M. pharaonis* unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern. **A** Kleine Arena. **B** Große Arena. Dargestellt sind die Mediane der aktiven Arbeiterinnen aller Replikate in den jeweiligen Testsystemen und das 1. und 3. Quartil. Die Anteile der aktiven Arbeiterinnen wurden zu den Zeitpunkten 14, 35, 56 und 77 Tage nach Exposition mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

In allen Versuchen mit *T. melanocephalum* unter der Anwendung von Imidacloprid wurden die Ameisen innerhalb der Versuchszeit getilgt, mit Indoxacarb erfolgte in keinem Versuch eine Tilgung der Ameisenvölker.

In den kleinen Arenen ergaben sich signifikante Unterschiede 14 Tage p. a. ($p = 0,0397$), 35 Tage p. a. und 56 Tage p. a. (beide $p = 0,0079$; Abb. 55 A). Nach 14 Tagen Exposition lag der Median des Anteils aktiver Arbeiterinnen in den Versuchen in kleinen Arenen mit Imidacloprid bei 6 %, zu den anderen Zeitpunkten bei 0. In den kleinen Arenen mit Indoxacarbködern lag der Median des Anteils aktiver Arbeiterinnen über dem von Imidacloprid, 14 Tage p. a. bei 67 %, 35 Tage p. a. bei 34 %, 56 Tage p. a. bei 7 % und 77 Tage p. a. bei 1 %. In den Versuchen mit *T. melanocephalum* in den großen Arenen (Abb. 54 B) ergab sich kein signifikanter Unterschied 14 Tage p. a. zwischen den beiden verwendeten Ködern ($p = 0,4683$). Der Median des Anteils der aktiven Arbeiterinnen lag zu diesem Zeitpunkt unter Anwendung von Imidacloprid bei 12 % und von Indoxacarb bei 76 %. Nach 35 Tagen Exposition wurde mit dem Mann-Whitney-Test ein signifikanter Unterschied zwischen den Anteilen der aktiven Arbeiterinnen bei Imidacloprid- und Indoxacarbbeköderung festgestellt ($p = 0,0159$), der Median des Anteils aktiver Arbeiterinnen in den Versuchen mit Imidacloprid lag bei 0 und in den Indoxacarbversuchen bei 16 %. Zu den folgenden Zeitpunkten betrug der Median in den Versuchen mit Imidacloprid 0. Die Mediane in den Versuchen mit Indoxacarb betragen 56 Tage p. a.

1 % und 77 Tage p. a. 0, signifikante Unterschiede gab es nicht (56 Tage: $p = 0,2857$; 77 Tage: $p > 0,9999$).

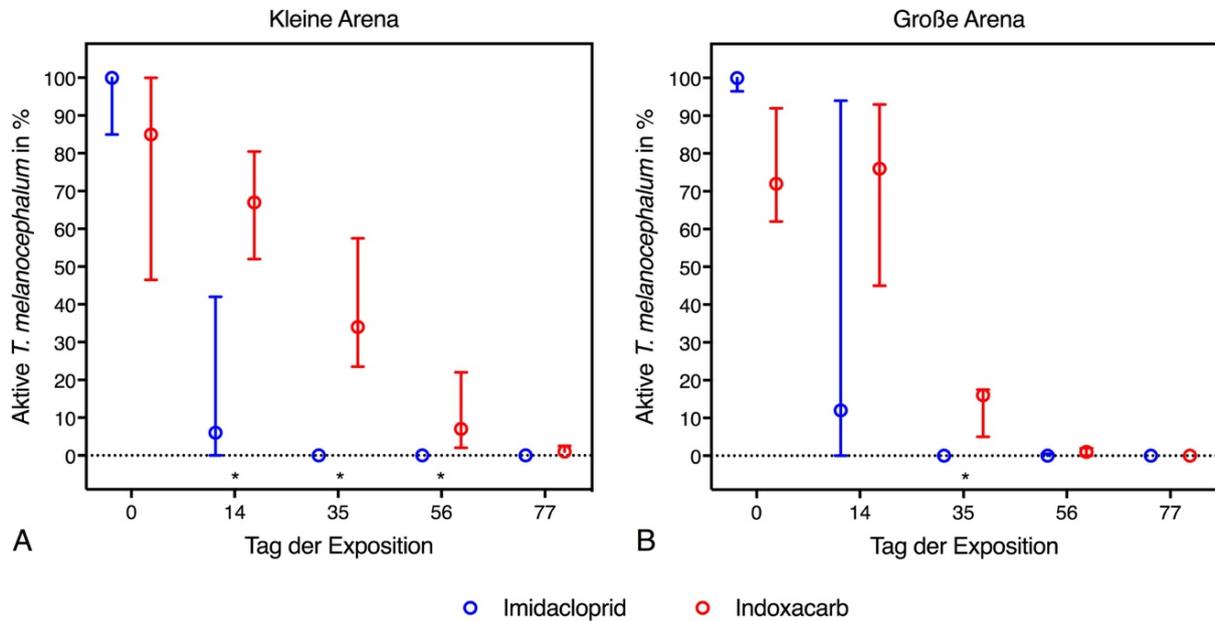


Abb. 55: Vergleichende Darstellung der Aktivität der Arbeiterinnen im Verlauf des Versuchs mit *T. melanocephalum* unter Anwendung von Imidacloprid- und Indoxacarbködern. **A** Kleine Arena. **B** Große Arena. Dargestellt sind die Mediane der aktiven Arbeiterinnen aller Replikate in den jeweiligen Testsystemen und das 1. und 3. Quartil. Die Anteile der aktiven Arbeiterinnen wurden zu den Zeitpunkten 14, 35, 56 und 77 Tage nach Exposition mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

3.2.2.3 Vergleich von *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*

Zwischen den Ameisenarten gab es unter Anwendung des Imidaclopridköders keine Unterschiede. Dies galt für die Dauer bis zur Tilgung (kleine Arenen: $p = 0,3889$; große Arenen: $p = 0,3810$) sowie die Mortalität der Königinnen (alle $p > 0,9999$). Der Median der Dauer bis zur Tilgung lag in den kleinen Arenen in den Versuchen mit *M. pharaonis* bei Tag 22, in den großen Arenen bei Tag 27, während er in den Versuchen mit *T. melanocephalum* in den kleinen Arenen bei Tag 35 und in den großen Arenen bei Tag 48 lag. Die Mortalität der Königinnen betrug in allen Versuchen 100 % und es gab keine überlebenden Arbeiterinnen. Auch in den Vergleichen der Anteile aktiver Arbeiterinnen nach 14 Tagen (kleine Arenen: $p = 0,2857$; große Arenen: $p = 0,1667$) sowie zu den anderen Zeitpunkten (alle $p > 0,9999$) wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden.

In den Versuchen mit Indoxacarb ergaben sich bei der Dauer bis zur Tilgung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Arten (kleine Arenen: $p = 0,4545$; große Arenen: $p > 0,9999$). Nur in zwei Replikaten erfolgten Tilgungen der Ameisen (*M. pharaonis*).

Die Mortalität der Königinnen beider Arten unter Anwendung des Indoxacarbköders unterschied sich signifikant in den kleinen Arenen ($p = 0,0043$). Der Median des Anteils der toten Königinnen lag hier bei *M. pharaonis* bei 78,9 % und bei *T. melanocephalum* bei 13 % (Abb. 56 A). In den großen Arenen gab es keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,2222$), hier lag der Median des Anteils toter Königinnen in Versuchen mit *M. pharaonis* bei 31,3 % und in Versuchen mit *T. melanocephalum* bei 14,9 %.

Die Anzahl der überlebenden Arbeiterinnen lag in den Versuchen mit *M. pharaonis* über der in den Versuchen mit *T. melanocephalum* (Abb. 56 B). In den kleinen Arenen ergab sich hier kein signifikanter Unterschied ($p = 0,6190$), der Median der überlebenden Arbeiterinnen von *M. pharaonis* lag bei 99,5 und der von *T. melanocephalum* bei 56. Im Gegensatz dazu wurde in den großen Arenen ein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 0,0079$), der Median der überlebenden Arbeiterinnen von *M. pharaonis* lag bei 156 und von *T. melanocephalum* bei 22.

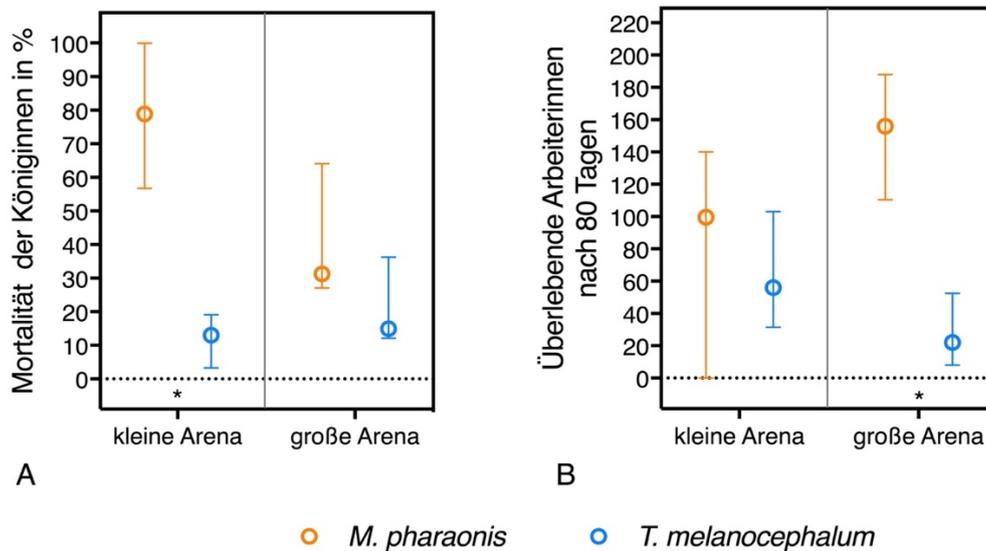


Abb. 56: Mortalität der Königinnen und überlebende Arbeiterinnen von *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* in Versuchen mit einem Indoxacarbköder. **A** Mortalität der Königinnen. **B** Überlebende Arbeiterinnen. Dargestellt sind die Mediane der Replikate in den jeweiligen Testsystemen und das 1. und 3. Quartil. *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

In den Versuchen mit Indoxacarb sank die Aktivität von *M. pharaonis* schneller als die von *T. melanocephalum* in den kleinen Arenen (Abb. 57 A). An Tag 35 unterschieden sich die Anteile aktiver Arbeiterinnen signifikant ($p = 0,0281$). Der Median der Anteile der aktiven Arbeiterinnen von *M. pharaonis* lag bei 0,5 % und von *T. melanocephalum* bei 34 %. Nach 14 Tagen ($p = 0,0758$), 56 Tagen ($p = 0,1688$) und 77 Tagen ($p > 0,9999$) Exposition waren die Unterschiede in der Aktivität der Ameisen nicht signifikant.

In den großen Arenen unterschieden sich die Anteile aktiver Arbeiterinnen nach 14 Tagen ($p = 0,1587$) und 35 Tagen ($p > 0,9999$) nicht signifikant (Abb. 57 B). 56 und 77 Tage p. a.

ergaben sich allerdings signifikante Unterschiede (beide Zeitpunkte: $p = 0,0079$). Die Mediane des Anteils aktiver Arbeiterinnen von *M. pharaonis* betragen 56 Tage p. a. 11 % und 77 Tage p. a. 2 %, von *T. melanocephalum* 56 Tage p. a. 1 % und 77 Tage p. a. 0.

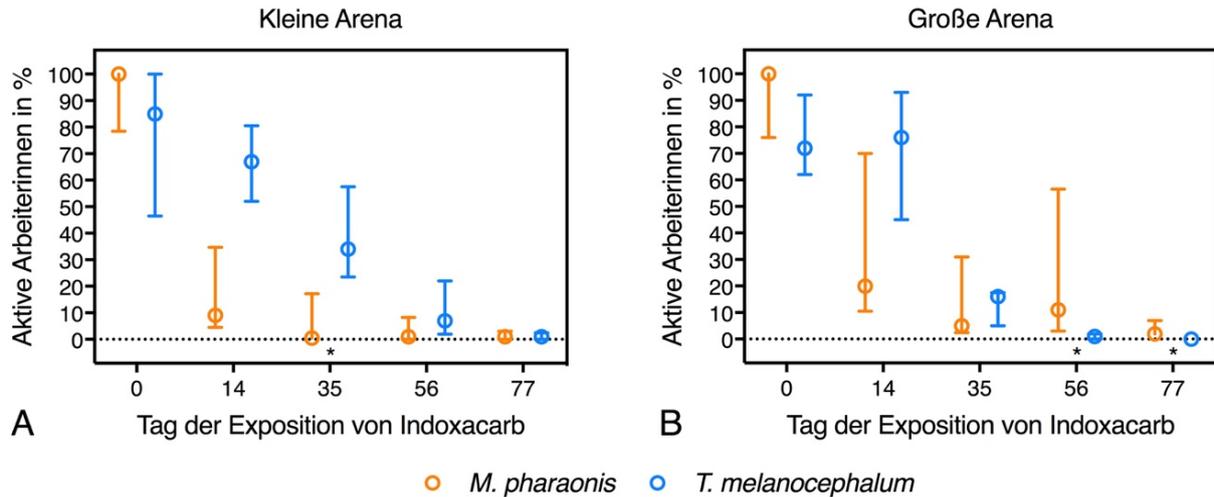


Abb. 57: Aktivität der Arbeiterinnen von *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*. **A** Versuche in kleiner Arena. **B** Versuche in großer Arena. Dargestellt sind der Median und das 1. und 3. Quartil. Die Anteile der aktiven Arbeiterinnen beider Arten wurden zu den jeweiligen Zeitpunkten mit dem Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht und bei $p < 0,05$ mit * gekennzeichnet.

3.3 Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen

3.3.1 Repellentienversuche mit Ameisen

3.3.1.1 Forced choice-Test

Im *forced choice*-Test wurden sieben verschiedene Substanzen gegen die drei Ameisenarten *T. melanocephalum*, *M. pharaonis* und *L. niger* getestet (Abb. 58). Die 50 bis 70 eingesetzten Ameisen hatten die Möglichkeit, von einer Petrischale über einen von zwei Objektträgern zu laufen, von denen einer mit einer repellierenden Substanz behandelt und einer unbehandelt war. In den Kontrollen, in denen beide Objektträger unbehandelt waren, zeigte sich, dass alle drei Arten keine Seitenpräferenz hatten. Es gab keine Unterschiede bei der Wahl der beiden unbehandelten Brücken (Mediane *T. melanocephalum*: 50 %, *M. pharaonis*: 50,95 %, *L. niger*: 52 %). In den Versuchen mit den Substanzen wurden die Ameisen, die über die Kontrollbrücke liefen, als repellierte gewertet. Die Ergebnisse der jeweils sieben Replikate aller Substanzen wurden untereinander mit dem Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test verglichen. Es zeigte sich, dass alle drei Arten von DEET (*T. melanocephalum* $p = 0,001$, *M. pharaonis* $p = 0,0001$, *L. niger* $p = 0,0075$) und Zimtöl (*T. melanocephalum* $p = 0,004$, *M. pharaonis* $p = 0,0004$, *L. niger* $p = 0,0132$) repellierte wurden, also ein signifikant unterschiedliches Verhalten bei der Wahl der Brücke im Vergleich zu den Kontrollen zeigten. In den Versuchen mit

Zimtpulver wurden *M. pharaonis* ($p = 0,0093$) und *L. niger* ($p = 0,001$) repelliert, für *T. melanocephalum* ($p = 0,1732$) gab es keinen signifikanten Unterschied zur Kontrolle. Die Mediane repellierter *T. melanocephalum* betragen unter Anwendung von DEET 96 %, Zimtpulver 88 % und Zimtöl 95 %. Die Mediane von *M. pharaonis*, die über die Kontrollbrücke liefen, lagen in den Versuchen mit DEET bei 100 %, mit Zimtpulver bei 98 % und mit Zimtöl bei 100 %, die Mediane repellierter *L. niger* betragen in Versuchen mit DEET 98 %, mit Zimtpulver 100 % und mit Zimtöl 96 %. Margosa 100 % wirkte gegen *T. melanocephalum* ($M = 98$ %; $p < 0,0001$) repellierend, nicht aber gegen *L. niger* ($M = 65$ %; $p > 0,9999$) und *M. pharaonis* ($M = 98$ %; $p = 0,059$). Margosa 10 %, Natron und Seesand zeigten keine repellierende Wirkung (alle $p > 0,9999$) auf die drei getesteten Arten. Die Mediane repellierter *T. melanocephalum* lagen in den Versuchen mit Margosa 10 % bei 51 %, mit Natron bei 64 % und mit Seesand bei 66 %. In den Versuchen mit Margosa 10 % lagen die Mediane der repellierten *M. pharaonis* bei 69 %, mit Natron bei 54 % und mit Seesand bei 67 %. Für *L. niger* lagen die Mediane repellierter Ameisen in den Versuchen mit Margosa 10 % bei 67 %, mit Natron bei 55 % und mit Seesand bei 51 %.

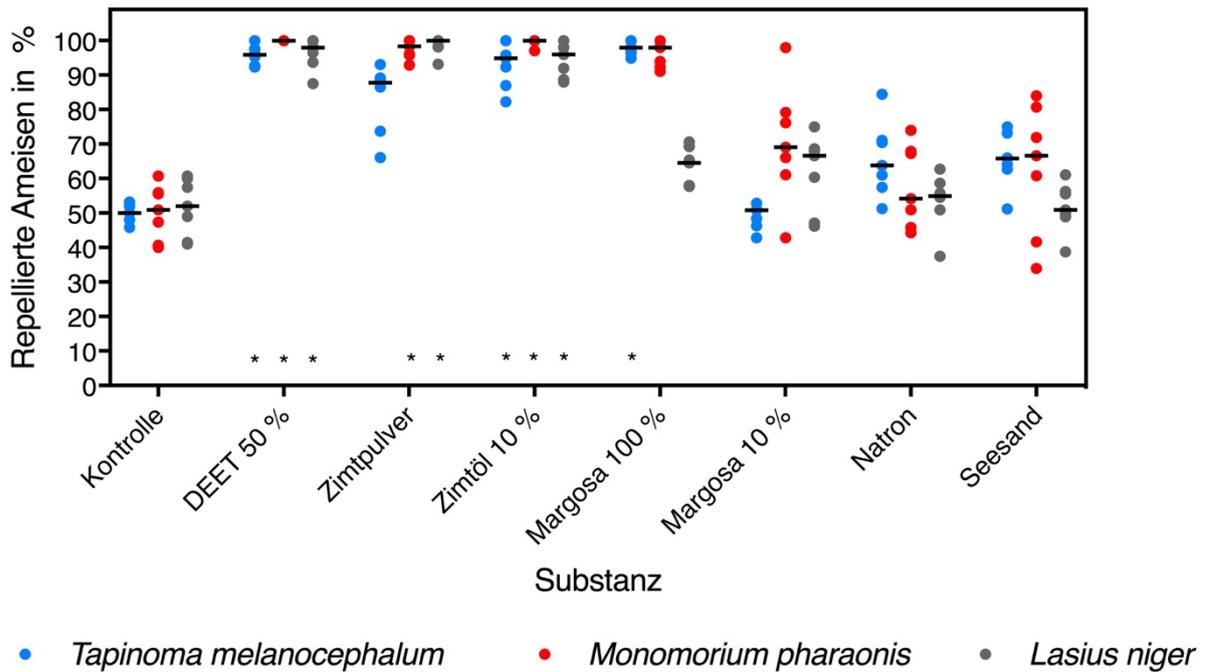


Abb. 58: Repellierte *T. melanocephalum*, *M. pharaonis* und *L. niger* im *forced choice*-Test. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Replikate ($n = 7$) für die drei Arten und sieben Substanzen im Test, der Median der repellierte Ameisen ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Ameisen, die in den Versuchen über die Kontrolle liefen, wurden als repellierte gewertet. Die Ergebnisse für die verschiedenen Substanzen wurden im Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test mit den Kontrollen verglichen, die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) sind mit * gekennzeichnet.

3.3.1.2 Simulated use-Test

Die Versuche mit *L. niger* wurden abgebrochen, da sich während der ersten Versuche zeigte, dass die Aktivität der Arbeiterinnen nicht für eine Auswertung ausreichend war. Es liefen innerhalb der Zeitspanne von 5 min teilweise weniger als fünf und im Maximum nicht mehr als 20 Tiere über die Brücken. Um eine Auswertung möglich zu machen, wären Beobachtungszeiten von jeweils etwa einer Stunde nötig gewesen. Dies wäre im Versuchsablauf nicht realisierbar gewesen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwendung größerer Ameisenvölker gewesen, die allerdings im FG nicht zur Verfügung standen. Daher wurden die Versuche nur mit *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* fortgeführt.

Im *simulated use*-Test wurden die gleichen Substanzen wie im *forced choice*-Test eingesetzt. Es gab Zählungen von jeweils 5 min, direkt nach Exposition, nach drei bis fünf Stunden sowie nach 24 h und 48 h p. a. Hier wurden jeweils über beide Objektträger laufende Ameisen gezählt. Als Vergleichswert aus den Kontrollreplikaten wurden die Anteile der Ameisen herangezogen, die über den nach der Eingewöhnungszeit neu dazugekommenen Objektträger (äquivalent zu den unbehandelten Objektträgern in den Versuchen mit Substanzen) liefen.

Die beiden Kontrollbrücken wurden nicht zu gleichen Teilen belaufen wie im *forced choice*-Test. Beide Ameisenarten beliefen die Objektträger, die auch schon in der Eingewöhnungszeit passierbar waren, mehr als die erst nach der Eingewöhnungszeit hinzugekommenen Kontrollbrücken.

3.3.1.2.1 *Simulated use-Test mit T. melanocephalum*

Direkt nach Versuchsbeginn lag der Median des Anteils der über den nach der Eingewöhnungszeit neu hinzugekommenen Objektträger gelaufenen *T. melanocephalum* in den Kontrollreplikaten bei 27,7 % (Abb. 59 A). Keine signifikanten Unterschiede gab es im Vergleich der repellierte Ameisen in den Versuchen mit Seesand (M = 68,2 %; $p > 0,9999$), Natron (M = 71,1 %; $p > 0,9999$) und Margosa 10 % (M = 54 %; $p > 0,9999$). Signifikant unterschiedlich zu den Ameisen in der Kontrolle liefen die Ameisen über die Kontrollbrücke in den Versuchen mit Margosa 100 % (M = 100 %; $p < 0,0001$), Zimtpulver (M = 99,5 %; $p = 0,0066$), Zimtöl (M = 100 %, $p < 0,0001$) und DEET (M = 100 %; $p < 0,0001$), dies zeigte die stark repellierende Wirkung der Substanzen auf die Ameisen.

Die Streuungen der Werte zwischen den einzelnen Replikaten in den Versuchen mit nicht repellierenden Substanzen waren sehr viel größer als bei den repellierenden Substanzen. So ergab sich beispielsweise bei Natron eine Spannweite von 51,4 Prozentpunkten zwischen den in den einzelnen Replikaten repellierte Ameisen (Minimum 40 %, Maximum 91,4 %), wohingegen Zimtpulver die größten Streuungen von den signifikant repellierenden Substanzen hatte, aber nur 4,3 Prozentpunkte zwischen den einzelnen Replikaten lagen (Minimum 95,7 %, Maximum 100 %) lag.

Drei bis fünf Stunden p. a. lag der Median des Anteils der Ameisen, die in den Kontrollreplikaten über die hinzugekommene Brücke liefen bei 18,1 % und damit unter dem Median direkt p. a. (Abb. 59 B). Die nicht über Seesand (M = 75,5 %), Natron (M = 77,8 %) und Margosa 10 % (M = 67,5 %) gelaufenen Ameisen unterschieden sich nicht signifikant zur Kontrolle (alle $p > 0,9999$). Auch zu diesem Kontrollzeitpunkt waren die von Margosa 100 % (M = 100 %; $p < 0,0001$), Zimtpulver (M = 100 %, $p = 0,0011$), Zimtöl (M = 100 %, $p < 0,0001$) und DEET (M = 100 %, $p < 0,0001$) repellierte Ameisen signifikant unterschiedlich zu den Ameisen, die in den Kontrollen über den neu hingekommenen Objektträger liefen. Große Streuungen der Ergebnisse innerhalb der einzelnen Replikate traten bei den nicht signifikant repellierenden Substanzen (z. B. Margosa 10 % mit 68,5 Prozentpunkten; Minimum 18,1 %, Maximum 86,6 %) auf, wohingegen bei den signifikant repellierenden Substanzen die

größte Spannweite nur 5,1 Prozentpunkte hatte (Zimtpulver Minimum 94,9 %, Maximum 100 %).

Der Median des Anteils der Ameisen in den Kontrollreplikaten, die über die neu hinzugekommene Brücke liefen betrug 24 h p. a. 8,1 %, dies war der niedrigste Wert während des gesamten Versuchs (Abb. 59 C). Nicht signifikant unterschiedlich zur Kontrolle liefen die Ameisen auch hier wieder in den Versuchen mit Seesand ($M = 88,3 \%$; $p = 0,6926$), Natron (Median 73,3 %; $p > 0,9999$) und Margosa 10 % (Median 71,6 %; $p > 0,9999$). Die über die Kontrollbrücke gelaufenen Ameisen unterschieden sich signifikant zur Kontrolle in den Versuchen mit Margosa 100 % ($M = 100 \%$; $p = 0,0002$), Zimtpulver ($M = 100 \%$; $p = 0,0002$), Zimtöl (Median 100 %; $p < 0,0001$) und DEET (Median 100 %; $p > 0,0001$).

Es zeigten sich große Streuungen zwischen den Ergebnissen der einzelnen Replikate der nicht repellierenden Substanzen, zu diesem Zeitpunkt schwankten die Ergebnisse bei Margosa 10 % (Minimum 28,4 % und Maximum 95,5 %) mit 67,1 Prozentpunkten am stärksten, von den stark repellierenden Substanzen lag die größte Spannweite mit einem Prozentpunkt bei Zimtpulver (Minimum 99 %, Maximum 100 %).

In den Kontrollen lag der Median des Anteils der Ameisen, die über die neu hinzugekommene Brücke liefen 48 h p. a. bei 11,4 % (Abb. 59 D). Zu diesem Zeitpunkt waren die repellierte Ameisen in den Versuchen mit Seesand ($M = 93,8 \%$; $p = 0,1645$), Natron ($M = 77,6 \%$; $p > 0,9999$) und Margosa 10 % ($M = 85 \%$; $p > 0,9999$) nicht signifikant zur Kontrolle. Es zeigten sich dagegen zur Kontrolle signifikante Unterschiede der repellierte Ameisen in den Versuchen mit Margosa 100 %, Zimtöl und DEET (alle $M = 100 \%$ und $p < 0,0001$) sowie mit Zimtpulver ($M = 100 \%$; $p = 0,0003$).

Die größten Streuungen ergaben sich erneut in den Versuchen mit nicht signifikant repellierenden Substanzen. Die größte Spannweite gab es mit 73,7 Prozentpunkten bei Margosa 10 % (Minimum 25,3 % und Maximum 99), im Gegensatz dazu war bei den zur Kontrolle signifikant unterschiedlichen Substanzen die größte Spannweite zwischen den einzelnen Replikaten in den Versuchen mit Zimtpulver mit 2,2 Prozentpunkten (Minimum 97,8 %, Maximum 100 %) zu finden.

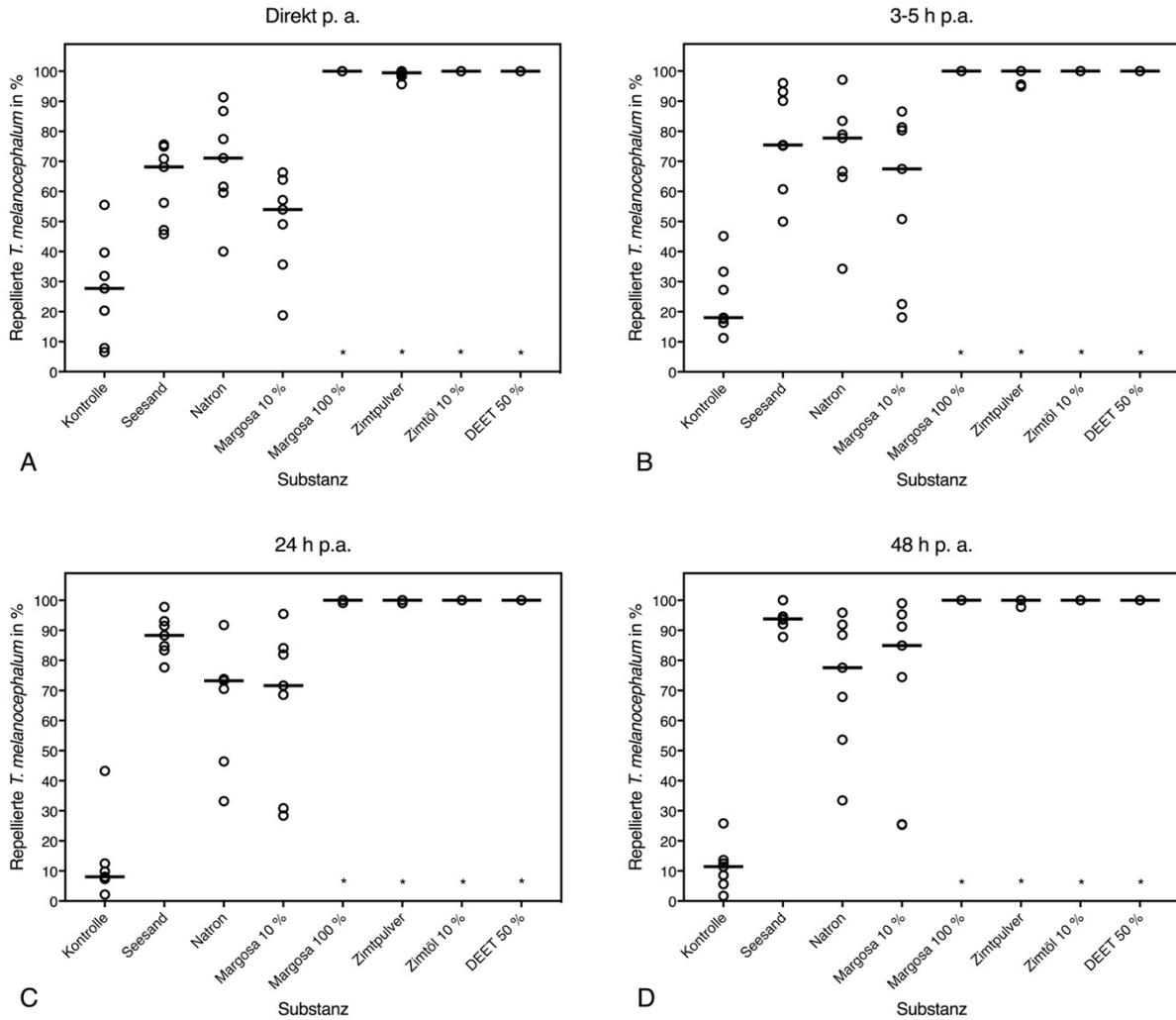


Abb. 59: Repellierte *T. melanocephalum* im *simulated use*-Test. **A** Direkt p. a. **B** Drei bis fünf Stunden p. a. **C** 24 h p. a. **D** 48 h p. a. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Replikate ($n = 7$) für *T. melanocephalum* und die sieben Substanzen im Test, der Median ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Ameisen, die in den Versuchen über die Kontrolle liefen, wurden als repelliert gewertet. Die Ergebnisse für die verschiedenen Substanzen wurden im Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test mit den Kontrollen verglichen, die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) sind mit * gekennzeichnet.

Die Mediane der Anteile der Ameisen, die über den zweiten Objektträger in den Kontrollreplikaten liefen, wurden im Laufe des Versuchs kleiner, die Ameisen nutzten die auch schon in der Eingewöhnungszeit offene Brücke intensiver, nur einen leichten Anstieg gab es nach 48 h (Abb. 59). In den Versuchen mit Margosa 100 %, Zimtpulver, Zimtöl und DEET liefen während des gesamten Versuchs nahezu alle Ameisen über die Kontrollbrücke. In den Versuchen mit Seesand und Margosa 10 % stieg der Anteil der über die Kontrollbrücke gelaufenen Ameisen im Laufe der Versuchszeit. Die Wirkung von Natron schwankte leicht, blieb aber während des gesamten Versuchs im Bereich zwischen 70 % und 80 %.

3.3.1.2.2 *Simulated use-Test mit M. pharaonis*

Direkt nach Austausch der Objektträger lag der Median des Anteils der *M. pharaonis*, die über die hinzugekommene Brücke liefen in den Kontrollreplikaten bei 21,1 % (Abb. 60 A). In den Versuchen mit Seesand (M = 27,1 %), Natron (M = 54 %) und Margosa 10 % (M = 49,3 %) waren die Anteile der repellierte Ameisen nicht signifikant unterschiedlich zur Kontrolle (alle $p > 0,9999$). Die Anteile der Ameisen, die über die Kontrollbrücke liefen, unterschieden sich in den Versuchen mit Margosa 100 % (M = 96,44 %, $p = 0,0314$), Zimtpulver (M = 99,3 %, $p = 0,0105$), Zimtöl (M = 100 %, $p = 0,0001$) und DEET (M = 100 %, $p = 0,0001$) dagegen signifikant. Die hier eingesetzten Substanzen wirkten stark repellierend auf *M. pharaonis*.

Wie auch in den Versuchen mit *T. melanocephalum* gab es große Streuungen der Ergebnisse in Versuchen mit Substanzen, die keine repellierende Wirkung auf die Ameisen hatten, wie z. B. Seesand mit 58,3 Prozentpunkten (Maximum 62,5 %, Minimum 4,2 %), im Gegensatz zu den Versuchen mit Substanzen, die stark repellierend wirkten wie bei Zimtpulver mit 8,4 Prozentpunkten (Minimum 91,6 %, Maximum 100 %).

In den Kontrollreplikaten lag der Median des Anteils der Ameisen, die über den neuen Objektträger liefen, drei bis fünf Stunden p. a. bei 33,3 % und damit über dem Wert direkt p. a. (Abb. 60 B). Die Anteile der Ameisen, die in den Versuchen mit Seesand (M = 38,7 %), Natron (M = 39,61 %) und Margosa 10 % (M = 46,8 %) über die Kontrollbrücke liefen, waren nicht signifikant unterschiedlich zur Kontrolle (alle $p > 0,9999$). Auch in den Versuchen mit Margosa 100 % (M = 95,2 %; $p = 0,254$) und Zimtpulver (M = 93,8 %, $p = 0,1708$) war zu diesem Zeitpunkt der Unterschied des Anteils der repellierte Ameisen nicht signifikant zur Kontrolle. In den Versuchen mit Zimtöl (M = 100 %, $p = 0,002$) und DEET (M = 100 %, $p = 0,002$) dagegen waren die Anteile der repellierte Ameisen signifikant unterschiedlich zur Kontrolle und die Substanzen damit repellierend.

Die größte Streuung der Ergebnisse gab es zu diesem Zeitpunkt bei Natron mit einer Spannweite von 53,8 Prozentpunkten zwischen einzelnen Replikaten (Minimum 30,9 %, Maximum 84,7 %). In den Versuchen mit stark repellierenden Substanzen gab es keine Streuungen.

In den Kontrollreplikaten betrug der Median d der Ameisen, die über den zweiten Objektträger liefen, 24 h p. a. 28,6 %. (Abb. 60 C). Es gab keine signifikanten Unterschiede (alle $p > 0,9999$) in den Anteilen über die Kontrollbrücke gelaufener Ameisen zur Kontrolle in den Versuchen mit Seesand (M = 43,1 %), Natron (M = 42 %) und Margosa 10 % (M = 40,3 %). Ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich waren die Anteile repellierter Ameisen in den Versuchen mit

Zimtpulver (M = 91,5 %; p = 0,01448). In den Versuchen mit Margosa 100 % (M = 99,2 %; p = 0,0076), Zimtöl (M = 100 %; p = 0,0007) und DEET (M = 100 %; p < 0,0001) waren die Anteile repellierter Ameisen signifikant unterschiedlich zur Kontrolle.

Die größte Streuung zwischen den einzelnen Ergebnissen gab es in den Versuchen mit Natron (Minimum 17,3 %, Maximum 91,9 %) mit 74,6 Prozentpunkten, in den Versuchen mit den repellierenden Substanzen war die größte Spannweite in Versuchen mit Margosa 100 % mit 17,6 Prozentpunkten (Minimum 82,4 %, Maximum 100 %) zu finden.

48 h p. a. lag der Median des Anteils der Ameisen in den Kontrollen bei 27,3 % (Abb. 60 D). In den Versuchen mit Zimtöl (M = 94,1 %; p = 0,0886) war der Anteil über die Kontrollbrücke gelaufener *M. pharaonis* nicht mehr signifikant unterschiedlich zur Kontrolle, auch in den Versuchen mit Zimtpulver (M = 94,8 %; p = 0,3441) sowie mit Seesand (M = 45,3 %), Natron (M = 50,6 %) und Margosa 10 % (M = 48,9 %) wurden die Ameisen nicht signifikant unterschiedlich zur Kontrolle repelliert (alle p > 0,9999). Es zeigten sich signifikante Unterschiede der über die Kontrollbrücke gelaufenen Ameisen in den Versuchen mit Margosa 100 % (M = 100 %; p = 0,0007) und DEET (M = 100 %; p = 0,0007).

Die größte Streuung ergab sich in den Ergebnissen der Versuche mit Natron (Minimum 16,9 %, Maximum 92,2 %) mit 75,3 Prozentpunkten, in den Versuchen mit stark repellierenden Substanzen gab es keine Streuungen.

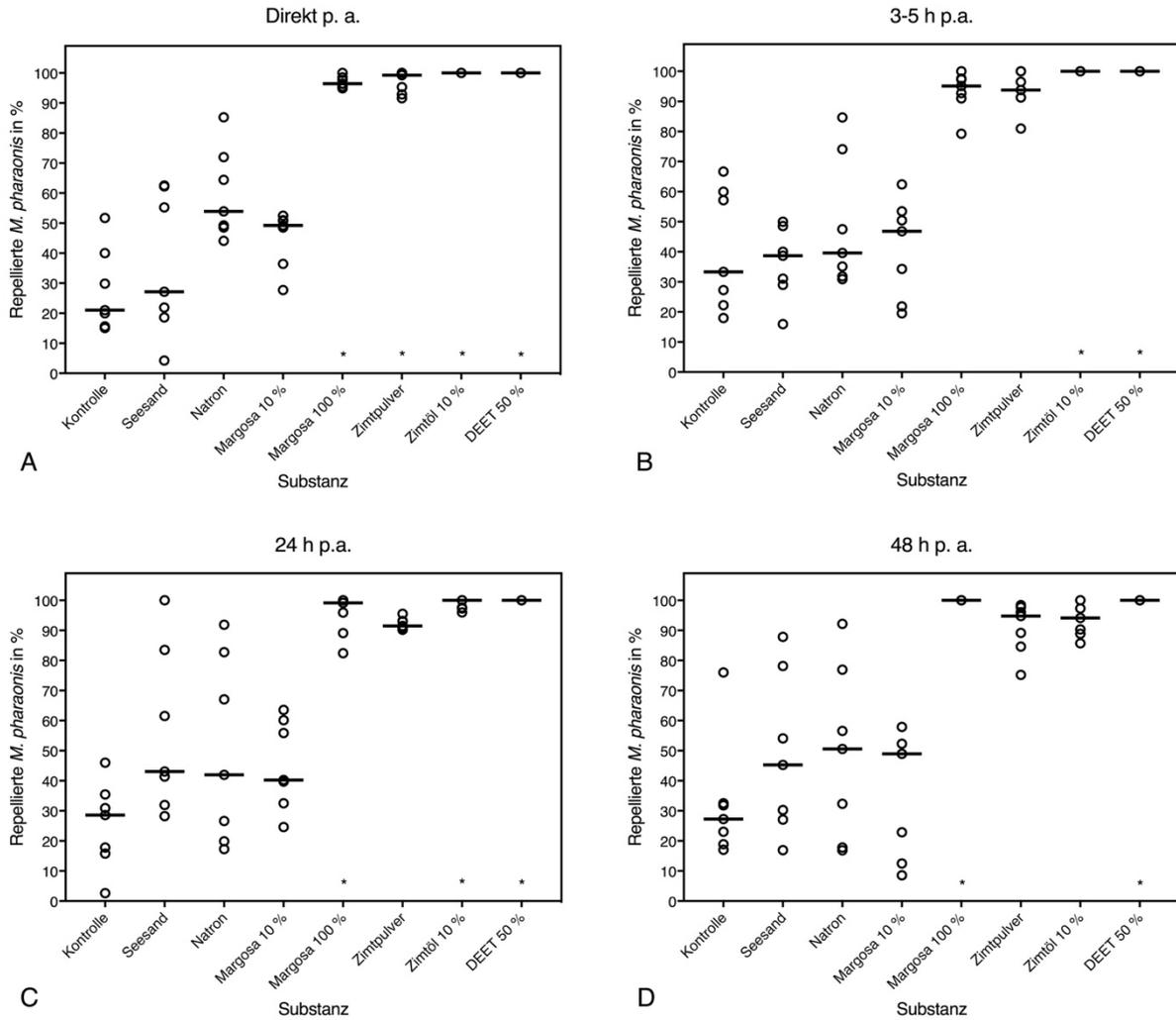


Abb. 60: Repellierte *M. pharaonis* im *simulated use*-Test. **A** Direkt p. a. **B** Drei bis fünf Stunden p. a. **C** 24 h p. a. **D** 48 h p. a. Dargestellt sind die Ergebnisse der einzelnen Replikate (n = 7) für *M. pharaonis* und die sieben Substanzen im Test, der Median ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Ameisen, die in den Versuchen über die Kontrolle liefen, wurden als repelliert gewertet. Die Ergebnisse für die verschiedenen Substanzen wurden im Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test mit den Kontrollen verglichen, die signifikanten Unterschiede (p < 0,05) sind mit * gekennzeichnet.

Der Median des Anteils der Ameisen, die über die nach der Eingewöhnungszeit in den Kontrollreplikaten hinzugekommene Brücke liefen, war direkt p. a. am niedrigsten, drei bis fünf Stunden p. a. am höchsten und wurde danach wieder niedriger. DEET war die einzige Substanz, die während des gesamten Versuchs stark repellierend auf *M. pharaonis* wirkte. Zimtpulver war direkt nach der Exposition stark repellierend, diese Wirkung ließ im weiteren Verlauf nach. Während der Kontrollzeitpunkte wurde beobachtet, dass die Arbeiterinnen mit ihren Hinterbeinen das Pulver von den Brücken schoben, um diese passieren zu können. Daher wurde die Zimtschicht nach der Zählung 24 h p. a. wieder erneuert.

3.3.1.3 Vergleich von *forced choice*-Test und *simulated use*-Test

In beiden Testsystemen wurde die Wirkung der verschiedenen Substanzen auf die beiden Ameisenarten erkennbar. Es gab aber Unterschiede zwischen den Ergebnissen der beiden Systeme, selbst wenn innerhalb eines Systems eine Substanz signifikant unterschiedlich zur Kontrolle wirkte. Die Ergebnisse jeder Substanz aus dem *forced choice*-Test wurden mit jedem Ergebnis der Kontrollzeitpunkte des *simulated use*-Tests für beide Arten mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test auf signifikante Unterschiede untersucht. Dies diente der Überprüfung, ob das Testdesign einen Einfluss auf die Ergebnisse der Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen Ameisen hatte. Signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen für die Substanzen in den Testsystemen würden zeigen, dass es einen Einfluss des Testdesigns auf das Prüfergebnis gibt.

Die Vergleiche der Ergebnisse aus dem *simulated use*-Test zu den einzelnen Kontrollzeitpunkten mit den Ergebnissen aus dem *forced choice*-Test, zeigten, dass sich im Versuchsverlauf das Verhalten der Ameisen gegenüber der Substanz veränderte. Die Vergleiche zwischen den Ergebnissen aus dem *forced choice*-Test und den direkt p. a. im *simulated use*-Test erhaltenen Ergebnisse, waren in der Mehrzahl nicht signifikant unterschiedlich, vor allem bei *T. melanocephalum* stieg der Anteil der repellierte Ameisen im Versuchsverlauf.

Die Ergebnisse der Kontrollversuche im *forced choice*-Test und im *simulated use*-Test unterschieden sich in den Versuchen mit *T. melanocephalum* signifikant an den Zeitpunkten 24 h p. a. ($p = 0,0013$) und 48 h p. a. ($p = 0,00018$) wie in Abb. 61 dargestellt, direkt p. a. ($p = 0,3245$) sowie drei bis fünf Stunden p. a. ($p = 0,3039$) dagegen nicht. Die Anteile repellierter Ameisen im *simulated use*-Test unter Anwendung von Seesand unterschieden sich nicht signifikant direkt p. a. und drei bis fünf Stunden p. a. (beide $p > 0,9999$) sowie 24 h p. a. ($p = 0,075$) von den Anteilen repellierter Ameisen im *forced choice*-Test, aber 48 h p. a. ($p = 0,0022$) ergaben sich signifikante Unterschiede. Die Anteile repellierter Ameisen in den Versuchen mit Natron (alle $p > 0,9999$) und Margosa 10 % (direkt p. a., 3-5 h p. a., 24 h p. a. $p > 0,9999$; 48 h p. a.: $p = 0,6039$) im *simulated use*-Test waren zu keinem Zeitpunkt signifikant unterschiedlich zu den Anteilen repellierter Ameisen im *forced choice*-Test. Für Margosa 100 % wurden zwischen den Anteilen repellierter Ameisen in den Versuchen in beiden Testsystemen signifikante Unterschiede an allen vier Zeitpunkten (direkt p. a., 3-5 h p. a. und 48 h p. a.: $p = 0,0035$; 24 h p. a.: $p = 0,0289$) festgestellt. Auch die Anteile repellierter Ameisen in den Versuchen mit Zimtpulver im *simulated use*-Test unterschieden sich signifikant zu denen

im *forced choice*-Test (direkt p. a.: $p = 0,044$; 3-5 h p. a.: $p = 0,0076$; 24 h p. a.: $p = 0,0006$; 48 h p. a.: $p = 0,0008$). Signifikant unterschiedlich zu den Ergebnissen aus den Versuchen im *forced choice*-Test waren außerdem die Ergebnisse aus dem *simulated use*-Test in den Versuchen mit Zimtöl (alle $p = 0,00018$) und DEET (alle $p = 0,0003$).

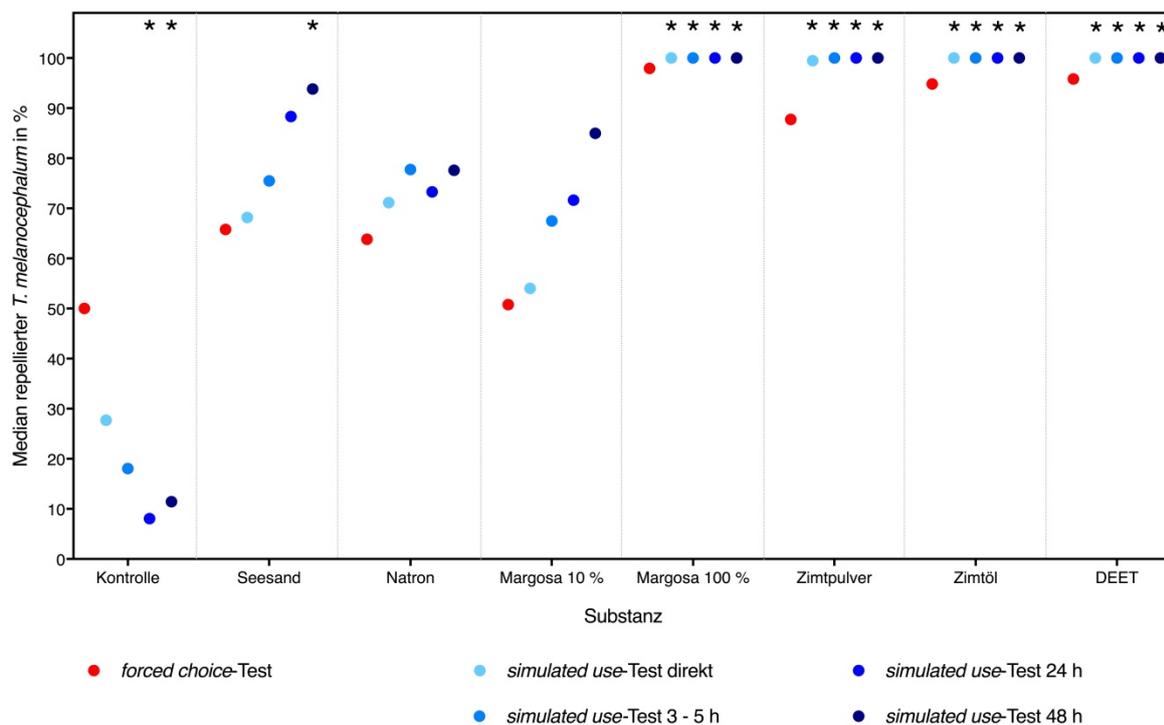


Abb. 61: Vergleich der repellierten *T. melanocephalum* im *forced choice*-Test und zu den einzelnen Kontrollzeitpunkten im *simulated use*-Test. Dargestellt ist der Median der Replikate ($n = 7$). Ameisen, die in den Versuchen über die Kontrolle liefen, wurden als repelliert gewertet. Die Ergebnisse für die verschiedenen Substanzen wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test mit den Ergebnissen der jeweiligen Substanz im *forced choice*-Test verglichen, die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) sind mit * gekennzeichnet.

Die Ergebnisse aus den Kontrollversuchen mit *M. pharaonis* (Abb. 62) unterschieden sich im *forced choice*-Test und im *simulated use*-Test nicht signifikant (direkt p. a.: $p = 0,0842$; 3-5 h p. a.: $p > 0,9999$; 24 h p. a.: $p = 0,075$; 48 h p. a.: $p = 0,3461$). Für Seesand (direkt p. a.: $p = 0,3246$; 3-5 h p. a.: $p = 0,304$; 24 h p. a. und 48 h p. a.: $p > 0,9999$) und Natron (alle $p > 0,9999$) ergaben sich zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede in den Anteilen repellierter Ameisen in den Testsystemen. Die Anteile repellierter Ameisen in den Versuchen mit Margosa 10 % waren 48 h p. a. ($p = 0,0228$) signifikant unterschiedlich zwischen den Testsystemen, die Ergebnisse direkt p. a. ($p = 0,1642$), drei bis fünf Stunden p. a. ($p = 0,0668$) und 24 h p. a. ($p = 0,2326$) unterschieden sich nicht signifikant. Für die Anteile repellierter Ameisen in den Versuchen mit Margosa 100 % ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Testsystemen (direkt p. a., 3-5 h p. a. und 24 h p. a.: $p > 0,9999$; 48 h: $p = 0,087$). Dies war ebenso in den Versuchen mit Zimtpulver (direkt p. a. und 3-5 h p. a.: $p > 0,9999$; 24 h p. a.:

$p = 0,1013$; 48 h: $p = 0,3942$), Zimtöl (direkt $p. a.$, 3-5 h $p. a.$ und 24 h $p. a.$: $p > 0,9999$; 48 h: $p = 0,077$), für DEET gab es zu keinem Zeitpunkt signifikante Unterschiede der repellierte Ameisen, da in allen Versuchen und zu allen Zeitpunkten 100 % der Ameisen repelliert wurden.

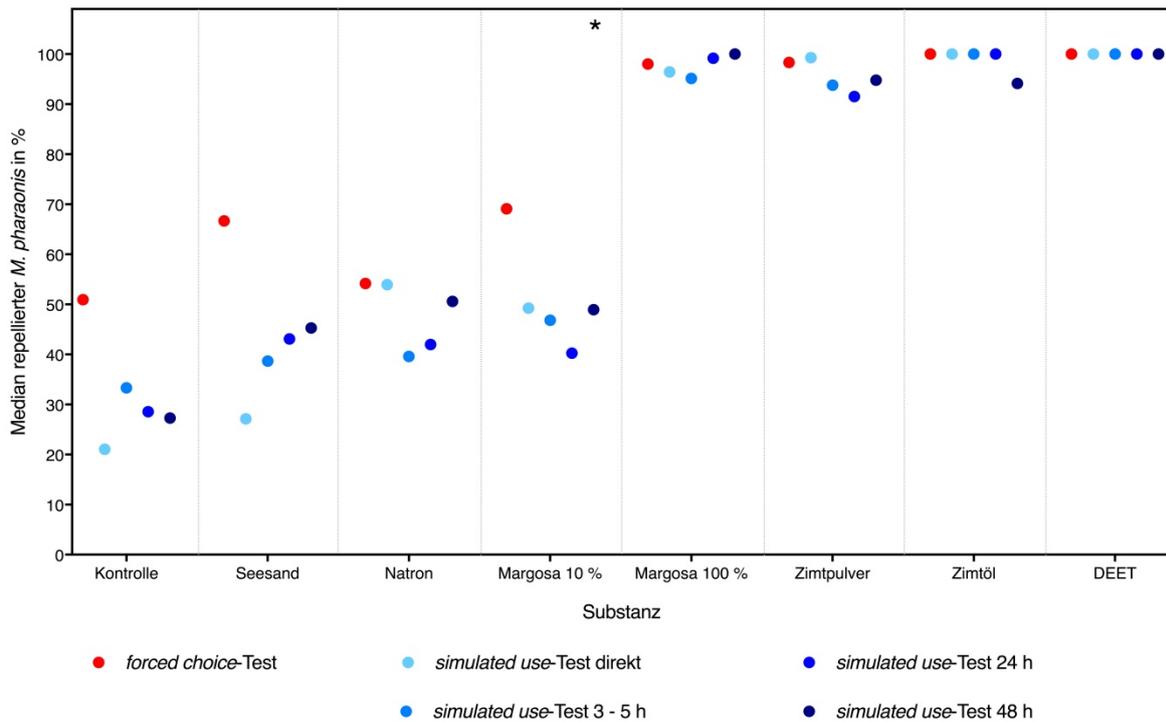


Abb. 62: Vergleich der repellierte *M. pharaonis* im *forced choice*-Test und zu den einzelnen Kontrollzeitpunkten im *simulated use*-Test. Dargestellt ist der Median der Replikate ($n = 7$). Ameisen, die in den Versuchen über die Kontrolle liefen, wurden als repelliert gewertet. Die Ergebnisse für die verschiedenen Substanzen wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test mit den Ergebnissen der jeweiligen Substanz im *forced choice*-Test verglichen, die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) sind mit * gekennzeichnet.

3.3.1.4 Vergleich der Ergebnisse von *T. melanocephalum* und *M. pharaonis*

Für den Vergleich der beiden Arten im *simulated use*-Test wurden die Anteile der repellierte Ameisen jedes Replikats der jeweiligen Art im gesamten Versuchszeitraum zusammengefasst. Die Anteile der repellierte Tiere wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test miteinander verglichen (Abb. 63). Insgesamt wurden *T. melanocephalum* stärker von allen Substanzen repelliert als *M. pharaonis*.

Die Wirkung der eingesetzten Substanzen auf die Ameisenarten *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* unterschied sich nicht signifikant in den Versuchen mit Natron ($p = 0,2593$), Margosa 10 % ($p = 0,1282$) und DEET ($p > 0,9999$). In den Versuchen mit DEET nutzten beide Arten ausschließlich die Kontrollbrücke. In den Versuchen mit Natron und Margosa 10 % waren die Ergebnisse beider Arten stark gestreut, diese Substanzen wirkten auf beide Arten nur gering oder gar nicht repellierend. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Anteilen repellierte *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* wurde in den Versuchen mit Seesand ($p = 0,0023$)

festgestellt, in denen *T. melanocephalum* stärker von der Substanz repelliert wurde als *M. pharaonis*. Auch in den Versuchen mit Margosa 100 % ($p = 0,0006$), Zimtpulver ($p = 0,0006$) und Zimtöl ($p = 0,0047$) gab es signifikante Unterschiede zwischen den Anteilen repellierter Ameisen der beiden Arten, hier wurden ebenfalls die Arbeiterinnen von *T. melanocephalum* stärker repelliert.

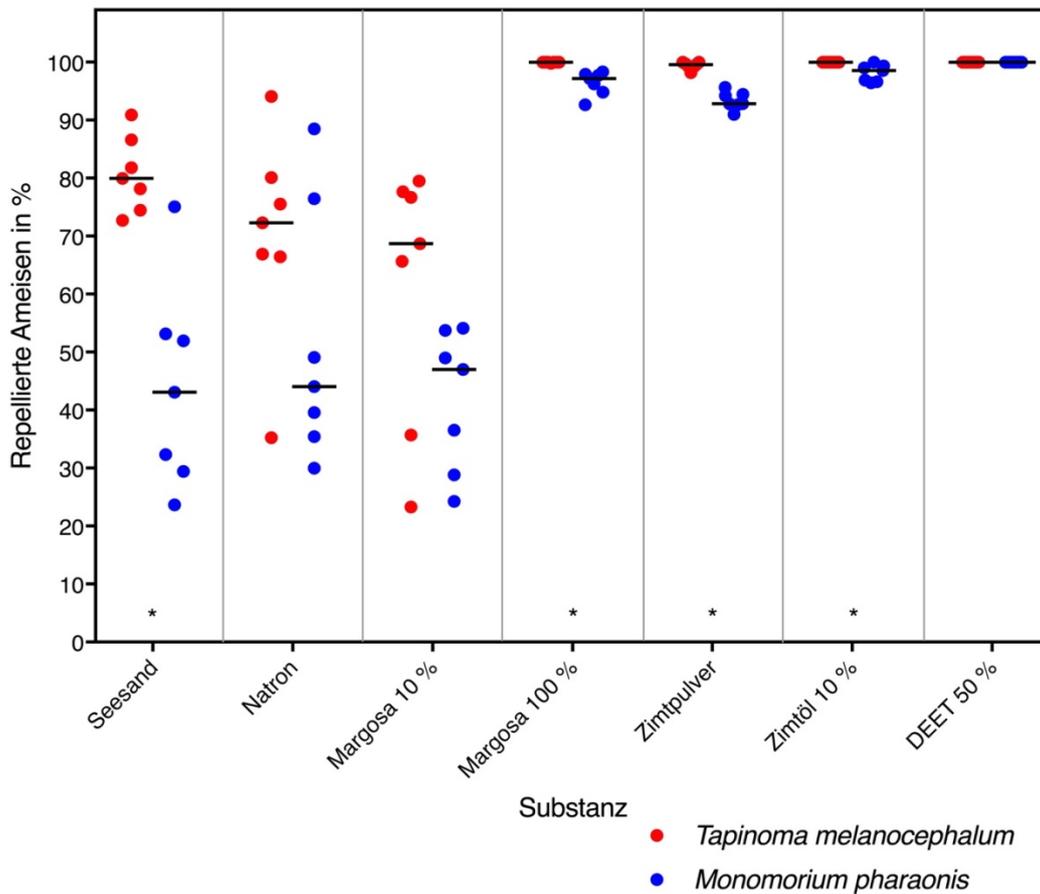


Abb. 63: Vergleich der Anteile repellierter *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* im *simulated use*-Test. Der Median der Replikate ($n = 7$) ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Ameisen, die in den Versuchen über die Kontrolle liefen, wurden als repelliert gewertet. Es wurden die Daten aller Zeitpunkte zusammengefasst und verglichen. Die Ergebnisse beider Systeme wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test untersucht und signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) mit einem * gekennzeichnet.

3.3.2 Repellentienversuche mit *C. lectularius*

Die repellierende Wirkung der Substanzen Icaridin 20 %, DEET 50 %, Permethrin 2 %, Zimtöl 10 % und Margosa 10 % gegen Bettwanzen wurde vergleichend in *forced choice*-Tests (Kristallisierschalen) und *simulated use*-Tests (siehe Methodenteil Kap. 2.5.2.2.1) durchgeführt.

3.3.2.1 *Forced choice-Test*

In jeweils sieben Replikaten je Substanz wurde innerhalb der ersten Stunde nach dem Einsetzen der Bettwanzen im Abstand von 5 min die örtliche Verteilung der Bettwanzen in den Schalen visuell überprüft. Es wurde dabei unterschieden zwischen Aufgehalten in behandeltem Versteck, unbehandeltem Versteck und außerhalb beider Verstecke (Abb. 64 A bis E).

Die Bettwanzen hielten sich in den Versuchen mit Icaridin-behandeltem Versteck 5 min nach Einsetzen am häufigsten außerhalb beider Verstecke (etwa 60 %) auf (Abb. 64 A). Bereits nach 10 min hatten sich etwa 70 % im unbehandelten Versteck aggregiert. Innerhalb der ersten Stunde stieg der Anteil der Tiere im unbehandelten Versteck auf etwa 90 %. 10 % der Bettwanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt außerhalb von beiden Verstecken. Das mit Icaridin behandelte Versteck wurde durchgängig gemieden, ein Maximum von 5 % der Bettwanzen wurde in einem Replikat 5 min p. a. und in einem anderen Replikat 10 min p. a. erreicht.

In den Versuchen mit einem DEET-behandelten Versteck hielten sich die Bettwanzen in den ersten 10 min vorwiegend außerhalb von Verstecken auf (5 min: 90 %, 10 min: 80 %), ab 15 min p. a. befand sich der überwiegende Anteil (60 %) im unbehandelten Versteck (Abb. 64 B). Ab Minute 20 und bis zum Ende der ersten Stunde stieg der Anteil der Bettwanzen, die sich im unbehandelten Versteck aufhielten auf 70 % bis 80 %. Die anderen Bettwanzen hielten sich außerhalb der Verstecke auf. Das mit DEET behandelte Versteck wurde gemieden, der maximale Anteil von sich dort aufhaltenden Tieren lag in einzelnen Replikaten bei 3 % zu den Zeitpunkten 5 min und 25 min p. a.

Die Bettwanzen in den Versuchen mit Zimtöl-behandelten Verstecken aggregierten ab der 5. Minute p. a. mit 60 % mehrheitlich im unbehandelten Versteck (Abb. 64 C). Die restlichen 40 % waren außerhalb der Verstecke zu finden. Ab der 20. Minute p. a. hielten sich etwa 80 % der Bettwanzen bis zum Ende der ersten Stunde im unbehandelten Versteck auf und 20 % außerhalb der Verstecke. Das behandelte Versteck wurde dauerhaft gemieden.

In den Versuchen mit Permethrin-behandeltem Versteck (Abb. 64 D) orientierte sich von Beginn an der größere Anteil der Bettwanzen zum unbehandelten Versteck, 5 min p. a. waren dies etwa 60 %, zu diesem Zeitpunkt hielten sich die restlichen 40 % außerhalb der beiden Verstecke auf. Ab 15 min p. a. und bis 60 min p. a. lag der Anteil der Bettwanzen im unbehandelten Versteck bei etwa 80 %. Ein Anteil von etwa 20 %, der sich nicht im unbehandelten Versteck aufhielt, verteilte sich zu nahezu gleichen Teilen auf das behandelte Versteck und außerhalb beider Verstecke. Permethrin wirkte damit weniger stark repellierend als Icaridin, DEET und Zimtöl. Die Verteilung der Bettwanzen in den Versuchen mit Margosa-behandeltem Versteck war weniger eindeutig (Abb. 64 E). Bis zu 35 min nach Einsetzen der Tiere hielten sich die meisten

Bettwanzen außerhalb beider Verstecke auf. Der Anteil der Bettwanzen hier schwankte zwischen etwa 40 % und 65 %. Im unbehandelten Versteck hielten sich zu Beginn etwa 20 % der Tiere auf, dieser Wert stieg bis auf fast 70 % 55 min p. a., außerhalb der Verstecke blieben bis zum Ende der ersten Stunde dauerhaft mindestens 30 % der Bettwanzen. Im behandelten Versteck hielten sich in einzelnen Replikaten z. B. 10 min p. a. und 45 min p. a. bis zu 36 % der Tiere auf.

Die Anzahl aller Kontakte in behandeltem, unbehandeltem oder außerhalb von Verstecken innerhalb der ersten Stunde für die einzelnen Substanzen wurden zum Überblick über die Verteilung zusammen dargestellt (Abb. 64 F). Hier zeigte sich nochmals, dass die behandelten Verstecke bei Icaridin (0,7 %), DEET (0,4 %) und Zimtöl (0 %) von den Bettwanzen nicht genutzt wurden. Die unbehandelten Verstecke waren am häufigsten frequentiert in den Versuchen mit Icaridin (81,5 %), DEET (66,4 %), Zimtöl (81,1 %) und Permethrin (77,4 %). In den Versuchen mit Margosa hielten sich die Tiere mit 44 % am häufigsten außerhalb beider Verstecke auf, im unbehandelten Versteck mit 42,5 % und im behandelten Versteck mit 13,4 %.

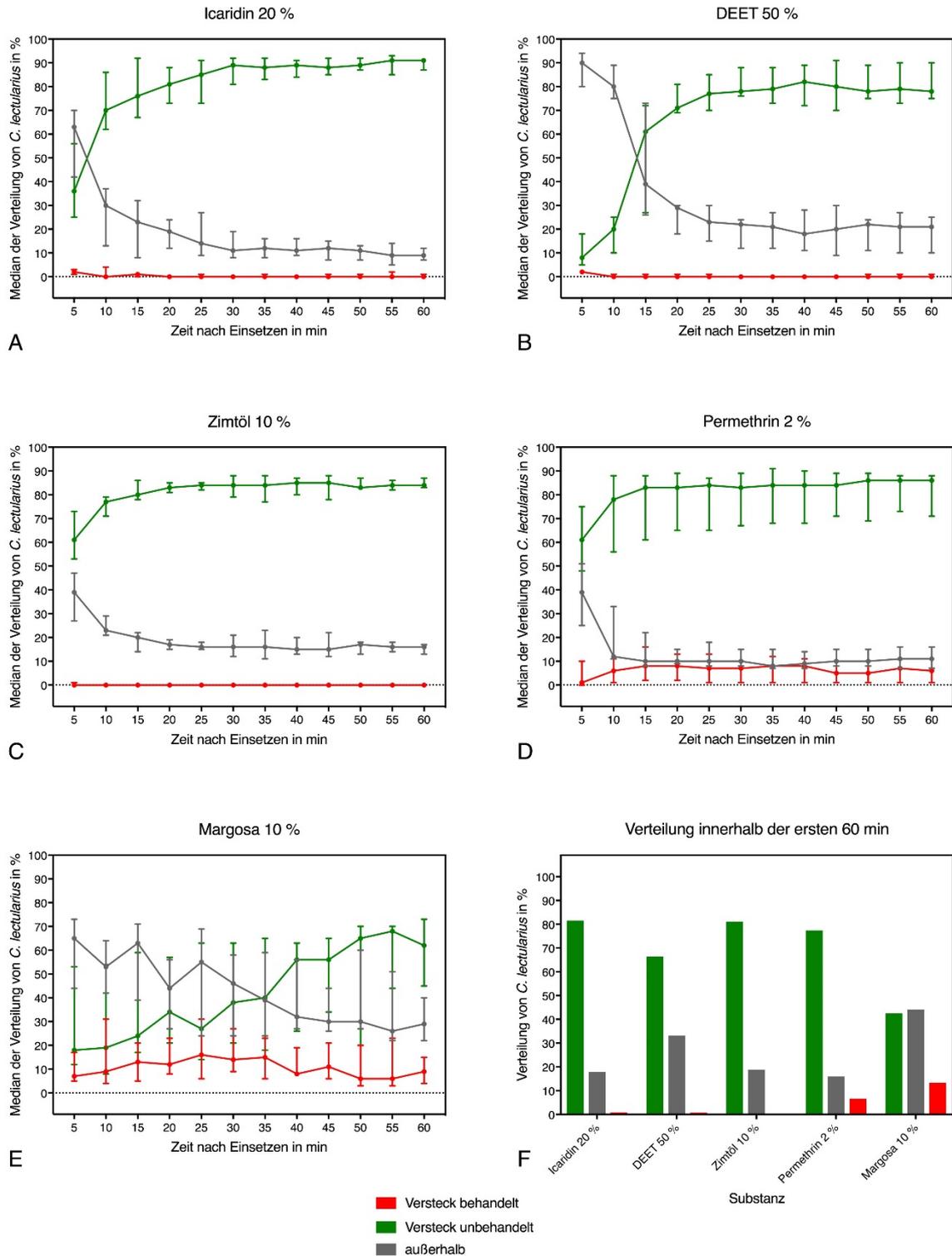


Abb. 64: Örtliche Verteilung von *C. lectularius* innerhalb der ersten Stunde nach Einsetzen der Tiere in den *forced choice*-Test. Dargestellt sind Median sowie 1. und 3. Quartil, n = 7. **A** Verteilung der Bettwanzen bei Zählungen im Abstand von 5 min nach Einsetzen in die Versuche mit Icaridin. **B** Verteilung der Bettwanzen bei Zählungen im Abstand von 5 min nach Einsetzen in die Versuche mit DEET. **C** Verteilung der Bettwanzen bei Zählungen im Abstand von 5 min nach Einsetzen in die Versuche mit Zimtöl. **D** Verteilung der Bettwanzen bei Zählungen im Abstand von 5 min nach Einsetzen in die Versuche mit Substanz Permethrin. **E** Verteilung der Bettwanzen bei Zählungen im Abstand von 5 min nach Einsetzen in die Versuche mit Substanz Margosa. **F** Zusammenfassung der Verteilung der Bettwanzen innerhalb der ersten Stunde nach Einsetzen vergleichend für alle verwendeten Substanzen.

Nach 24 h wurde der Aufenthaltsort der Bettwanzen nochmals protokolliert (Abb. 65 A). In den unbehandelten Kontrollen zeigte sich, dass es keine Gleichverteilung zwischen den beiden angebotenen Verstecken gab. Insgesamt hielten sich 64,4 % der Bettwanzen im linken Versteck auf. In den Versuchen mit Icaridin, DEET und Zimtöl lag der Anteil der Bettwanzen, die sich im unbehandelten Versteck aufhielten, bei über 98 %. Außerhalb der Verstecke hielten sich in den Versuchen mit den genannten Substanzen die meisten Bettwanzen (1 %) in den Versuchen mit DEET auf sowie im behandelten Versteck (0,3 %). Im unbehandelten Versteck in den Versuchen mit Permethrin hielten sich 88,9 % der Bettwanzen auf, 1,9 % befanden sich im behandelten Versteck und außerhalb der Verstecke hielten sich 9,3 % der Bettwanzen auf. In den Versuchen mit Margosa befanden sich 96 % der Bettwanzen im unbehandelten Versteck, außerhalb der Verstecke 0,7 % der Bettwanzen und 3,3 % hielten sich im behandelten Versteck auf.

Die Anteile der Bettwanzen im linken Versteck der Kontrollreplikate wurden als Vergleichswerte im Kruskal-Wallis-Test und Dunn's Post-hoc-Test im Vergleich zu den Anteilen repellierter Bettwanzen (Aufenthalt im unbehandelten Versteck und außerhalb beider Verstecke) in den Versuchen mit den verschiedenen Substanzen herangezogen (Abb. 65 B). Die Anteile der repellierten Bettwanzen waren in den Versuchen mit folgenden eingesetzten Substanzen signifikant unterschiedlich zum linken Versteck in den Kontrollversuchen: Icaridin ($p = 0,0004$), DEET ($p = 0,0005$), Zimtöl ($p < 0,0001$) und Margosa ($p = 0,0094$). Nicht signifikant waren die Anteile repellierter Bettwanzen in den Versuchen mit Permethrin ($p = 0,0196$).

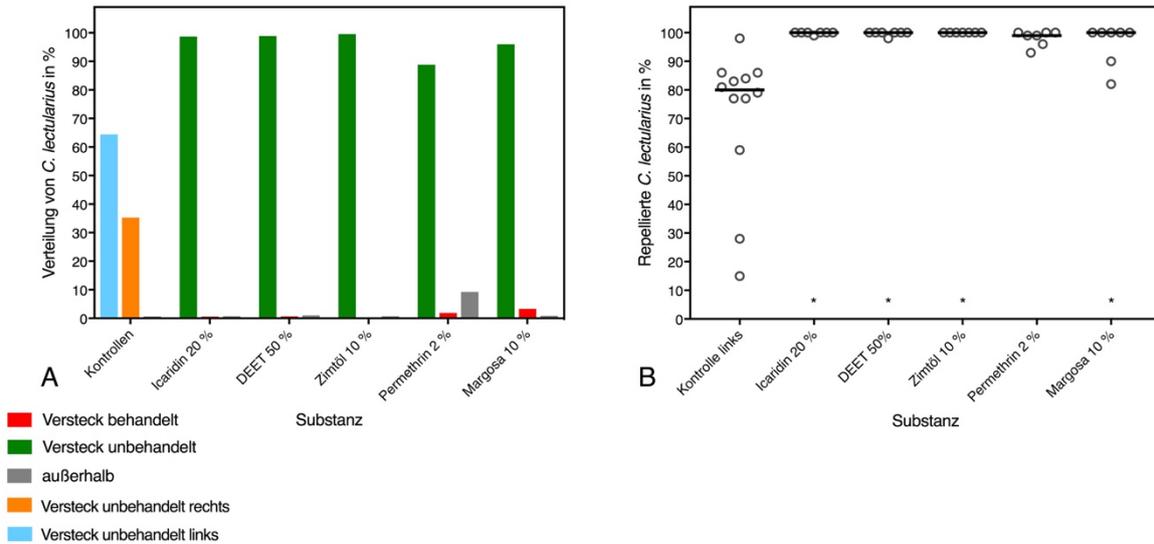


Abb. 65: Örtliche Verteilung der *C. lectularius* im *forced choice*-Test nach 24 h. **A** Verteilung innerhalb der Kristallisierschalen. **B** Repellierte Bettwanzen, die außerhalb und im unbehandelten Versteck waren. Der Median der Replikate ($n = 7$) ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Die repellierte Bettwanzen aus den Versuchen mit Substanzen und die Bettwanzen in dem Versteck der Kontrollreplikate, in dem sich mehr Bettwanzen aggregierten, wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test verglichen und signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) mit einem * dargestellt.

3.3.2.2 Simulated use-Test

Im *simulated use*-Test hatten die jeweils 100 eingesetzten Bettwanzen 24 h Zeit, zu einem durch Wärme und CO_2 simulierten Wirt zu laufen. Auf diesem Weg fielen die Bettwanzen in einen Auffangbehälter, so dass sie nicht zurück in ihr Versteck konnten und so zwischen gelaufenen und nicht gelaufenen Bettwanzen unterschieden werden konnte. Es wurde in den Kontrollreplikaten gezeigt, dass zwischen 55 % und 90 % der Bettwanzen den Wirt aufsuchten, wenn keine Substanz eingesetzt wurde, der Median lag hier bei 70 % gelaufenen Bettwanzen bzw. 30 % nicht gelaufenen Bettwanzen (Abb. 66). In den Versuchen mit den Substanzen wurde davon ausgegangen, dass bei einer repellierenden Wirkung durch die jeweilige Substanz weniger Bettwanzen den simulierten Wirt aufsuchten. Die Anteile nicht gelaufener Bettwanzen in den Versuchen mit den einzelnen Substanzen wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test mit den nicht gelaufenen Bettwanzen in den Kontrollen verglichen. Die einzige Substanz, bei deren Anwendung ein signifikanter Unterschied der nicht gelaufenen Bettwanzen zur Kontrolle eintrat, war DEET ($p = 0,0022$). Hier liefen in allen drei Replikaten nur maximal 3 % der Bettwanzen über die Substanz. In den Versuchen mit Icaridin ($p = 0,2584$) lag der Median, der nicht gelaufenen Bettwanzen bei 79 %. In den Versuchen mit Zimtöl ($p = 0,1708$) liefen 76 % der Bettwanzen nicht zum simulierten Wirt. In den Versuchen mit Permethrin ($p = 0,6101$) lag der Median der nicht gelaufenen Bettwanzen bei 67 %, jedoch lagen hier die

einzelnen Replikate weit auseinander (Minimum 45 %, Maximum 84 %). In den Versuchen mit Margosa ($p > 0,9999$) betrug der Median nicht gelaufener Bettwanzen 61 %.

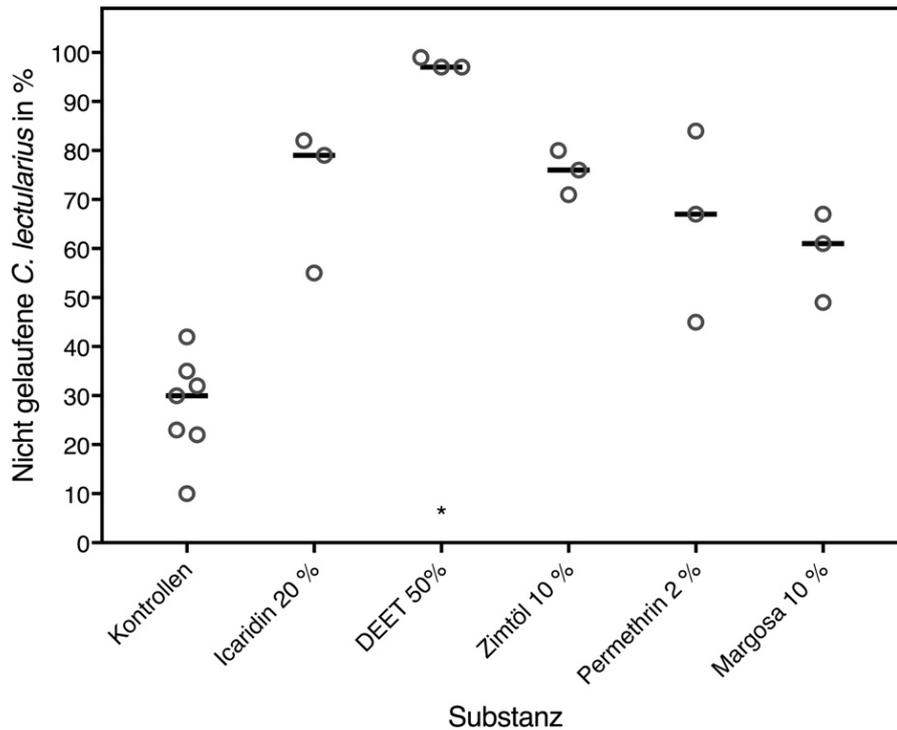


Abb. 66: Nicht gelaufene *C. lectularius* im *simulated use*-Tests nach 24 h. Der Median der Replikate (Kontrollen $n = 7$, Substanzen $n = 3$) ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Die repellierte Bettwanzen aus den Versuchen mit Substanzen und die Bettwanzen in dem Versteck der Kontrollreplikate, in dem sich mehr Bettwanzen aggregierten, wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test und dem Dunn's Post-hoc-Test verglichen. Die signifikanten Unterschiede sind mit einem * dargestellt.

In den Versuchen liefen insgesamt mehr Weibchen zum simulierten Wirt als Männchen (Tab. 9). In den Kontrollen lag der Anteil der Weibchen bei 55 % der gelaufenen Tiere, in den Versuchen mit den repellierenden Substanzen war der Anteil der Weibchen bei den gelaufenen Tieren höher (61 % bis 75 %).

Tab. 9: Im *simulated use*-Test zum simulierten Wirt gelaufene *C. lectularius*.

Substanz	Gesamtzahl der eingesetzten Tiere	Anzahl zum Wirt gelaufener Bettwanzen	Anteil Weibchen der gelaufenen Tiere in %
Kontrolle	700	502	55
Icaridin	300	84	75
DEET	300	7	71
Zimtöl	300	73	70
Permethrin	300	104	63
Margosa	300	75	61

3.3.2.3 Vergleich von *forced choice*-Test und *simulated use*-Test

Im *forced choice*-Test wurden unter Verwendung aller Substanzen signifikant mehr Tiere repellierte als im *simulated use*-Test (Abb. 67). Dies galt für die innerhalb der ersten 60 min im *forced choice*-Test repellierte Bettwanzen in den Versuchen mit Icaridin, Margosa und Permethrin (alle $p = 0,0167$) sowie für Zimtöl ($p = 0,0083$). Auch 24 h p. a. waren die Unterschiede der Anteile repellierter Bettwanzen zwischen beiden Testsystemen signifikant: DEET und Permethrin (beide $p = 0,0167$) sowie Icaridin, Zimtöl und Margosa (alle $p = 0,0083$).

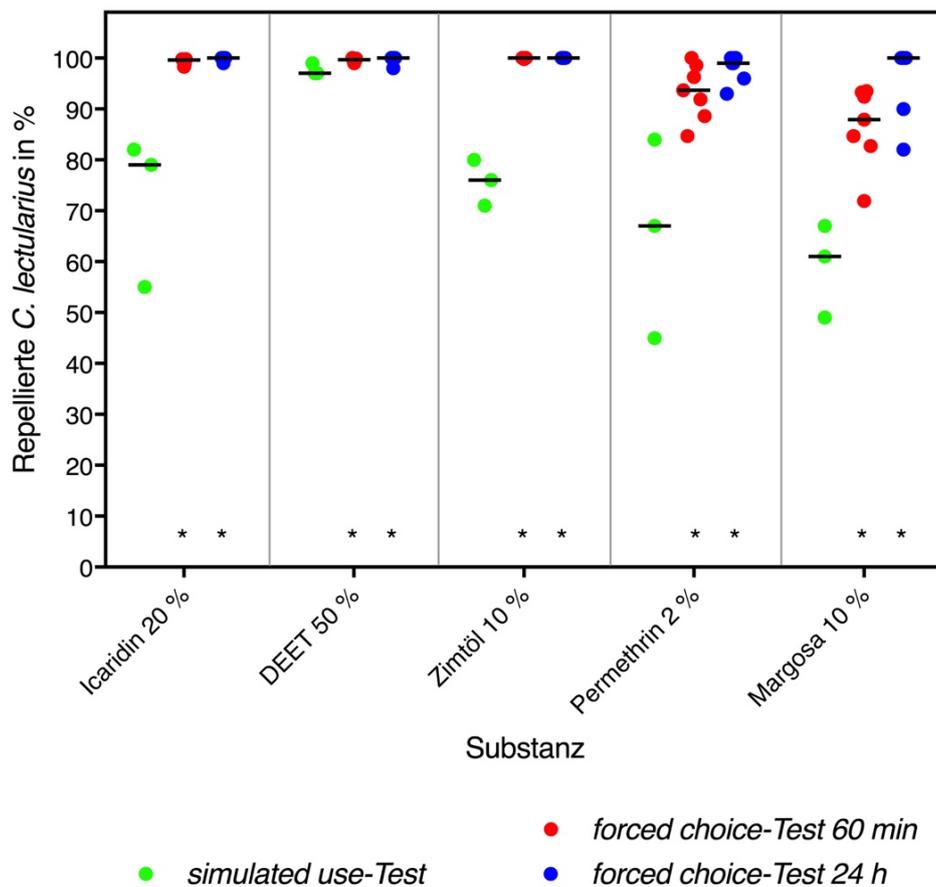


Abb. 67: Vergleich der Anteile der repellierten *C. lectularius* im *simulated use*-Test und im *forced choice*-Test innerhalb der ersten 60 min und nach 24 h. Der Median der Replikate (*forced choice*-Test $n = 7$, *simulated use*-Test $n = 3$) ist mit einem waagerechten Strich dargestellt. Die repellierten Bettwanzen (*simulated use*-Test: nicht gelaufenen; *forced choice*-Test: nicht im behandelten Versteck) aus den Versuchen im *simulated use*-Test wurden jeweils mit den repellierten Bettwanzen innerhalb der ersten 60 min und nach 24 h mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. Die signifikanten Unterschiede zwischen *simulated use*-Test und den Ergebnissen des jeweiligen Zeitpunkts im *forced choice*-Test wurden mit * gekennzeichnet.

4 Diskussion

4.1 Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben

4.1.1 Fraßköderversuche

Fraßköderversuche wurden vergleichend in zwei Testsystemen durchgeführt, um zu ermitteln, ob die Größe der Testarena in Versuchen mit *B. germanica* und *P. americana* Unterschiede im Testverlauf und Testergebnis verursacht. Außerdem wurde überprüft, welchen Einfluss die Populationszusammensetzung auf das Ergebnis von Wirksamkeitsprüfungen hat. Für diese Versuche wurden zwei Köderformulierungen eingesetzt. Beide Köder beinhalteten als aktive Substanz Borsäure, ein Köder war pulverig, der andere flüssig. Borsäure ist ein anorganischer Wirkstoff, der in der Literatur als ein sehr wirksames Insektizid gegen Schaben beschrieben wurde (COCHRAN 1995, GORE und SCHAL 2004, GORE et al. 2004). In den Vergleichsversuchen der Gesamtlaufläche der Testsysteme wurden in Versuchsansätzen mit adulten Tieren in beiden Testsystemen diese Köderformulierungen eingesetzt. Es zeigte sich hierbei, dass mit pulverigem Köder trotz wesentlich höherer Dosierung der Borsäure (deutsche Schaben: 15 %, amerikanische Schaben: 25 %) als im flüssigen Köder (1 %) die LT_{50} bei beiden Schabenarten später erreicht und in weniger Replikaten die Tiere getilgt wurden. Außerdem waren Versuche mit *B. germanica* schneller getilgt als Versuche mit *P. americana*. Deutsche Schaben haben im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht einen höheren Wasserverlust als *P. americana* (GUNN 1935) und müssen daher häufiger Flüssigkeit zu sich nehmen, um den Wasserverlust auszugleichen. Das würde zumindest für die Versuche mit Flüssigköder erklären, weshalb Versuche mit *B. germanica* eher getilgt wurden als Versuche mit *P. americana*. Der Wasserbedarf der Schaben führte wahrscheinlich dazu, dass der flüssige Köder in größeren Mengen und regelmäßiger aufgenommen wurde als der trockene pulverige Köder. In Versuchen mit unterschiedlich formulierten Abamectin-Ködern wurden Gelköder trockenen Formulierungen von gemischten Populationen von *B. germanica* bevorzugt aufgenommen (APPEL und BENSON 1995). Außerdem war ein Unterschied in der Aufnahmerate der Gelköder festzustellen, wenn die in den Versuchen eingesetzten Männchen vorher kein Futter und Wasser bekommen hatten. In diesem Fall wurde der Gelköder stärker konsumiert als von Männchen, die ausreichend Futter und Wasser vor Versuchsbeginn bekamen (APPEL und BENSON 1995). In Vergleichsversuchen mit verschiedenen Borsäureköderformulierungen zeigte sich, dass eine Saccharoselösung (0,5 mol/l) mit 1 % Borsäure die attraktivste und zugleich effektivste Wirkung auf *B. germanica* hatte (GORE und SCHAL 2004). Diese Formulierung wurde in den hier vorgestellten Versuchen eingesetzt.

BUCZKOWSKI et al. (2001) konnten zeigen, dass Köder mit hohem Wassergehalt für Schaben attraktiver und effektiver in der Wirkung sind als trockenere Ködervarianten. NALYANYA et al. (2001) dagegen stellten keinen Unterschied in der Attraktivität fest, in ihren Versuchen mit *B. germanica* und *Supella longipalpa* zeigte sich ein pulveriger Köder am attraktivsten. Wahrscheinlich ist, dass der Zugang zu Wasser einen Einfluss auf die Attraktivität der Köderformulierung hat. Ein weiterer Grund für die schnellere Mortalität in den Versuchen mit flüssigem Köder könnte auch die sekundäre Transmission des Köders über Fäzes sein. So zeigten BUCZKOWSKI et al. (2001), dass deutsche Schaben nach dem Verzehr eines Gelköders mehr Fäzes ausschieden als nach dem Verzehr von trockenen Ködern. Wenn in den Versuchen also mehr Fäzes mit dem insektiziden Wirkstoff im Versteck abgegeben wurde, könnte der Faktor der sekundären Transmission durch Berührung oder Aufnahme von Fäzes einen größeren Einfluss auf die Mortalität ausgeübt haben. Dass durch Kontakt mit insektizidhaltigem Fäzes eine sekundäre Vergiftung erfolgt, wurde ebenfalls nachgewiesen (BUCZKOWSKI et al. 2001). In Versuchen mit pulverigem Köder wurden größere Spannweiten der LT_{50} und LT_{95} zwischen den einzelnen Replikaten festgestellt. Dies kann ebenso an dem ständigen Aufnahmebedarf an Wasser liegen, der stärker ist als die Notwendigkeit ständig Nahrung aufnehmen zu müssen. Ein weiterer Einfluss für die Annahme eines Köders ist, ob die Schaben vor Versuchsbeginn ausreichend Futter und Wasser zu sich nehmen konnten oder hungern bzw. dursten mussten (APPEL und BENSON 1995). In den im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Versuchen gab es für die Testpopulationen vor Versuchsbeginn Futter und Wasser *ad libitum*, so dass die Köderaufnahme nicht durch Hungerphasen vor Expositionsbeginn gesteigert wurde.

4.1.1.1 Größe der Lauffläche

Die Größe der Gesamtauffläche des Testsystems sowie die unterschiedliche Distanz zwischen Versteck und Köder hatten keinen Einfluss auf den Verlauf und das Ergebnis der Fraßköderprüfungen mit deutschen und amerikanischen Schaben. In den Versuchen zum Vergleich verschieden großer Gesamtaufflächen von Testsystemen ergaben sich bei den deutschen Schaben keine signifikanten Unterschiede in den Wahl- und Zwangsversuchen mit adulten Tieren und in Zwangsversuchen mit gemischten Ansätzen. Nur in einem Vergleich der LT_{50} in Zwangsversuchen mit juvenilen Testpopulationen wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt. Die Differenz der Mediane der LT_{50} lag bei nur einem Tag, durch die geringe Streuung ergab sich aber der signifikante Unterschied. In den anderen Versuchen lagen die Mediane der LT_{50} bzw. LT_{95} ebenfalls sehr eng beieinander, nur die Streuung war hier größer.

Auch in den Wahlversuchen mit amerikanischen Schaben wurden keine Unterschiede hinsichtlich der Mortalität der Prüftiere in den verschiedenen großen Testsystemen festgestellt. Signifikante Unterschiede zwischen 1- und 2-Kastensystem gab es bei drei Vergleichen in Zwangsversuchen (LT₅₀: Adulte sowie Juvenile + Adulte, LT₉₅: Adulte), allerdings variierte das schnellere Erreichen der LT₅₀ bzw. LT₉₅ zwischen den Testsystemen. Alle anderen Vergleiche der beiden Testsysteme lagen eng beieinander.

SILVERMAN (1986) zeigte, dass ein geringerer Abstand zwischen Versteck und Nahrungsquelle bei *B. germanica* eine höhere Frequentierung des Futters und Wassers hervorruft. In seinen Versuchen lag der geringe Abstand bei 40 cm im Vergleich zu etwa der doppelten Entfernung. Durch diese Ergebnisse könnte davon ausgegangen werden, dass auch der Köder in den hier verwendeten 1-Kastensystemen häufiger aufgesucht wurde, jedoch bestätigten die Ergebnisse der Mortalität der Schaben dies nicht. Dass es aufgrund der Größe der Gesamtauflfläche in den hier vorgestellten Versuchen keine Unterschiede gab, kann daran liegen, dass die Differenz zwischen den getesteten Laufflächen nicht groß genug war. Dagegen sprechen aber Versuche von GORE und SCHAL (2004) zur optimalen Zusammensetzung eines Borsäureköders. In ihren Tests mit zwei verschiedenen großen Arenen waren die Unterschiede der Gesamtauflfläche sehr viel größer (kleine Arena: 30 cm x 15 cm, große Arena: 117 cm x 30 cm), aber ebenfalls keine Unterschiede in der Wirkung des Köders zu erkennen. Jedoch wurden hier nur je zwei Replikate mit je 20 Weibchen deutscher Schaben getestet. Vorgaben zur Größe der Lauffläche werden in den „Guidance on the BPR Volume II Efficacy – Assessment and Evaluation (Parts B + C)“ (ECHA 2017) und den "Guidance Document on Assays for Testing the Efficacy of Baits against Cockroaches." (OECD 2013) nicht empirisch oder mit Literaturangaben begründet. Die Ergebnisse der vorliegenden Versuche mit deutschen und amerikanischen Schaben sprechen aber ebenso wie die Ergebnisse von GORE et al. (2004) dafür, dass die Größe der Testarena für Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern, zumindest in einem bestimmten Größenbereich, keinen Unterschied im Prüfergebnis verursacht. Somit würden Testarenen mit einer Lauffläche von den hier getesteten 0,425 m² und dem ungefähren Abstand zwischen Versteck und Köder von etwa 30 cm als Minimumangabe vergleichbare Ergebnisse hervorbringen mit Prüfungen in Testarenen mit einer Gesamtauflfläche bis zu etwa 1 m² und einem Abstand von etwa 100 cm vom Versteck zum Köder. Für die Labore, die Wirksamkeitsprüfungen mit Ködern gegen Schaben durchführen, würde das bedeuten, dass sie wesentlich platzsparendere Prüfarenen einsetzen könnten, die auch keine Sonderanfertigungen (z. B. zwei mit Röhren verbundene Kästen) darstellen.

Ein entscheidender Faktor für die Annahme eines attraktiven Köders ist nicht unbedingt die absolute Distanz zwischen Versteck und Köder. Die Köderannahme wird verstärkt, wenn der Köder im Verhältnis zu alternativen Nahrungsquellen dichter am Versteck positioniert ist. Die Attraktivität und Annahme eines Köders wird dadurch verbessert, dass alternative Futterquellen weiter vom Versteck entfernt sind als der Köder (DURIER und RIVAULT 2000a). Da in den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchen sowohl der Giftköder als auch das ungiftige Alternativfutter etwa den gleichen Abstand zum Versteck hatten, kann dieser Faktor für die im Rahmen dieser Arbeit getesteten Systeme ausgeschlossen werden. Andere Anordnungen und Prüfsysteme dagegen können die Attraktivität eines Köders positiv beeinflussen. So wie die häufig verwendeten Ebelingboxen (EBELING et al. 1966), die aus zwei Kästen bestehen. Hier wird in der abgedunkelten Versteckbox der Köder platziert und das Alternativfutter in der belichteten Aktivitätsbox. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit der Annahme des Köders durch die Versuchsanordnung erhöht. Dieser Testaufbau kann für Tests genutzt werden, die mögliche repellierende Effekte eines Köders untersuchen sollen oder auch für den Vergleich mehrerer Köderprodukte wie bei APPEL (1992). Um aber einen Köder auf Attraktivität und Wirksamkeit zu testen, sollten unabhängig von der Größe der Versuchsbereiche Köder und Alternativfutter im gleichen Abstand vom Versteck positioniert sein. Auch das Vorhandensein bzw. die Größe eines Verstecks ist ein weiterer beeinflussender Faktor für den Testverlauf einer Köderprüfung. So zeigte APPEL (1992), dass eine größere Versteckfläche bei deutschen Schaben zu einem schnelleren Erreichen der LT_{50} führte. Zusätzliche Verstecke erhöhten außerdem die Einheitlichkeit beim Zeitpunkt des Todes der einzelnen Männchen in den Versuchen.

Da in diesen Versuchen zum Teil sehr große Streuungen zwischen den einzelnen Replikaten auftraten, wäre es empfehlenswert, generell mindestens fünf Replikate für Wirksamkeitsnachweise zu fordern. Eine Vorgabe zur Versteckfläche wäre auf Grund der Ergebnisse von APPEL (1992) ebenfalls empfehlenswert, um die Prüfung beeinflussende Parameter zu reduzieren. Außerdem sollten Abstand von Köder und Alternativfutter zum Versteck festgelegt sein.

4.1.1.2 Versuche zur Populationszusammensetzung

Die Populationszusammensetzung hatte einen signifikanten Einfluss auf das Prüfergebnis der Wirksamkeitstests von Fraßködern gegen amerikanische und deutsche Schaben. Vor allem bei amerikanischen Schaben zeigte sich dieser Einfluss in den Versuchen. Es starben bei beiden Arten juvenile Testpopulationen langsamer als adulte Testpopulationen. In Wahlversuchen erreichten die gemischten Testpopulationen deutscher Schaben die LT_{50} schneller als juvenile Testpopulationen, allerdings war dieser Effekt bei der LT_{95} nicht mehr zu erkennen, die

juvenilen Testpopulationen erreichten die LT_{95} schneller. In den Zwangsversuchen waren die Unterschiede insgesamt geringer. Männchen und Weibchen erreichten auch hier die LT_{95} schneller als in den Ansätzen mit adulten Tieren. In den Zwangs- und Wahlversuchen mit amerikanischen Schaben wurden in Ansätzen mit Juvenilen sowohl die LT_{50} als auch die LT_{95} später erreicht als in den Ansätzen mit Adulten. In den gemischten Ansätzen starben vor allem in den Wahlversuchen Männchen, Weibchen und Juvenile schneller als in Versuchen mit adulten oder juvenilen Tieren.

Da die hier untersuchten Schabenarten stadienübergreifend in sozialen Gemeinschaften leben, sind Einflüsse auf Köderprüfungen durch entweder das Separieren einzelner Stadien oder die künstliche Zusammensetzung verschiedener Stadien möglich. So wurde nachgewiesen, dass bei deutschen Schaben Düfte bzw. Gerüche von Ködern auf die verschiedenen Entwicklungsstadien unterschiedlich attraktiv wirken. Männchen sowie juvenile Tiere des 5. und 6. Stadiums zeigten bei Versuchen ähnliche Reaktionen auf Duftstoffe verschiedener industriell hergestellter Köder (NALYANYA et al. 2001), wohingegen Weibchen weniger stark von den gleichen Duftstoffen angezogen wurden. Das zeigt, dass nicht alle in der Population lebenden Stadien gleichermaßen von den gleichen Duftstoffen angelockt werden. Durch sekundäre Transmission eines Wirkstoffes, vor allem über den Kot der Tiere, die den Köder aufgenommen haben, kommen auch die Tiere mit dem Wirkstoff in Kontakt, für die der Köder weniger attraktiv ist. Dieser Effekt kann in diesen Versuchen eine Rolle gespielt haben und männliche Tiere durch sekundäre Transmission die Wirkstoffe in das Versteck gebracht haben, in denen sich vermehrt die juvenilen Tiere aufhielten, die weniger auf Futtersuche waren.

Eine unterschiedliche Sensitivität gegenüber dem Wirkstoff der verschiedenen Stadien ist eine weitere Möglichkeit für die unterschiedlichen Mortalitätsraten, die sich in diesen Versuchen zeigten. Dies wurde für *B. germanica* durch topikale Applikation verschiedener Insektizide gezeigt, hier waren unbegattete Weibchen weniger empfindlich als Männchen und begattete Weibchen (ABD-ELGHAFAR et al. 1990), selbst das Alter innerhalb eines Juvenilstadiums bedeutet eine mögliche unterschiedliche Sensitivität für Insektizide (VALLES et al. 1996). Die in den Versuchen eingesetzten Tiere wiesen zwar durch standardisierte Zuchtbedingungen ein gleiches Alter auf, was Juvenil- und Adultstadium betraf, allerdings waren dies immer nur bestimmte Bereiche und keine exakten Tagesangaben. Somit sind Einflüsse auf Grund des Alters möglich. Durch das Einsetzen von Weibchen in die Versuche, die keine Ootheke trugen, konnte dennoch nicht davon ausgegangen werden, dass über den relativ langen Versuchszeitraum und bei gemischtgeschlechtlichen Populationen, alle Weibchen durchgängig unbegattet waren. Begattete Weibchen verbleiben mehr Zeit im Versteck als unbegattete und

nehmen weniger Nahrung auf (COCHRAN 1983), außerdem haben begattete und unbegattete Weibchen eine unterschiedliche Sensitivität gegenüber Wirkstoffen (ABD-ELGHAFAR et al. 1990), dies können weitere Einflüsse auf die Versuche gewesen sein.

Als weitere Erklärung für die unterschiedliche Zeit, die bei den verschiedenen Populationsgruppen der Schaben bis zur Tilgung gebraucht wurde, könnten unterschiedliche Stoffwechselraten oder Nährstoffspeicherraten sein. So finden viele Stoffwechselfvorgänge bei Schaben im viszeralen Fettkörper statt, außerdem werden im Fettkörper Nährstoffe gespeichert. Der Fettkörper verändert sich während der Entwicklung und wird bei Männchen nach der letzten Häutung zurückgebildet, bei Weibchen findet diese Rückbildung nicht statt (DOWNER 1981). Diese Unterschiede des Fettkörpers und damit eine unterschiedliche Verstoffwechslung oder Speicherung der Wirkstoffe zwischen Männchen im Gegensatz zu Weibchen und Juvenilen können eine mögliche Erklärung für die Dauer bis zur Tilgung bei den unterschiedlichen Stadien sein. So wurde eine ähnliche Zeit benötigt bis Weibchen und Juvenile abgetötet waren, Männchen dagegen wurden wesentlich schneller als diese getilgt.

Unterschiedliche Aktivitätsmuster der Männchen, Weibchen und Juvenilen wären ebenfalls ein Grund für die unterschiedlichen LT_{50} bzw. LT_{95} der Tiere. Männchen von *B. orientalis* und *P. americana* sind auf Grund der Suche nach Weibchen zur Paarung aktiver (BARTH 1970, KRIVOSHEINA und SHATOV 1995). Männchen von *Periplaneta fuliginosa* verlassen die Verstecke früher als Weibchen und Juvenile und halten sich länger nach der Nahrungsaufnahme außerhalb dieser Verstecke auf (APPEL und RUST 1986). Diese Verhaltensweisen erfordern möglicherweise mehr Energie auf Grund der erhöhten Aktivität und eine schnellere Verstoffwechslung der insektiziden Wirkstoffe kann die Folge sein. Ootheken-tragende Weibchen verlassen dagegen ihre Verstecke nur sehr selten (COCHRAN 1983) und kommen wenn überhaupt nur wenig direkt mit dem Köder in Kontakt. Juvenile *B. germanica* sind während der ersten Hälfte des jeweiligen Juvenilstadiums aktiv auf Nahrungssuche, ab dem letzten Drittel des Stadiums verlassen sie das Versteck nicht mehr (DEMARK und BENNETT 1994).

Zusammenfassend kann auf Grund der Versuchsergebnisse für die Größe der Testarena empfohlen werden, dass auch kleinere Arenen eine adäquate Alternative zu großen Testsystemen bilden. Wichtig ist, dass der Abstand von Köder und Alternativfutter zum Versteck gleich ist. Die Testdauer von drei Wochen ist ausreichend, um mit Fraßködern die von der Biozidzulassung sowie der OECD geforderte Mortalität von 90 % zu erreichen und so die Wirksamkeit von verschiedenen Ködern zu erkennen. Eine Tilgung der Tiere konnte mit dem flüssigen Köder innerhalb dieser Versuchszeit erreicht werden. Eine zu lange Versuchszeit würde auch

schlechter wirkende Köder als positiv bewertbar machen. Die Zusammensetzung der Versuchspopulation sollte stadienübergreifend sein, um die vielen Faktoren der unterschiedlichen Stadien und des Zusammenlebens von Schaben für die Wirkung eines Köders miteinbeziehen zu können. Weitere Versuche zur optimalen Zusammensetzung einer Versuchspopulation wären aber wichtig.

4.1.2 Monitoringversuche mit Kamerasystem und Klebefallen

Die Versuche zum Monitoring wurden in einem Versuchsraum durchgeführt, der eine Befallsituation simulierte. Es gab verschiedene Versteckmöglichkeiten und ausreichend Platz für die eingesetzten Schaben, so dass diese nicht gezwungen waren, in die Klebefallen oder unter dem Kamerasystem hindurch zu laufen. In dem entwickelten Monitoringraum konnten Unterschiede zwischen verschiedenen Monitoringsystemen und ihrer unterschiedlichen Sensitivität für die unterschiedlichen Schabenarten erkannt werden.

In den Versuchen mit Klebefallen und Kamerasystem zum Schabenmonitoring zeigte sich, dass es Unterschiede zwischen den Fallen in ihrer Effektivität gab. Dass verschiedene Modelle von Schabenfallen unterschiedlich effektiv sind, wurde mit deutschen Schaben bereits mehrfach gezeigt (WANG und BENNETT 2006b, SMITH und APPEL 2008). In den hier vorgestellten Versuchen wurden zwar mit drei Klebefallentypen für jede Schabenart (*B. germanica*, *B. orientalis* und *P. americana*) nur ein bis zwei Versuche gemacht, jedoch zeigte sich, dass unter Anwendung einer Lockstofftablette in der kleinen Klebefalle von allen drei Arten Tiere gefangen wurden und die gelbe Leimplatte mit vier Lockstofftabletten der gleichen Sorte keine Tiere fing. Möglicherweise lag es daran, dass der Abstand zur Lockstofftablette in den kleinen Klebefallen geringer war und so die anlockende Wirkung größer. Eine weitere Erklärung wäre, dass der auf der Leimplatte benutzte Leim eine repellierende Wirkung auf die Tiere ausübte und daher keine Schaben darauf gefangen wurden. Dass die Größe einer Klebefalle keinen Unterschied auf ihre Effektivität hat, zeigten SMITH und APPEL (2008) mit deutschen Schaben. Demnach sollte sich dies nicht auf die Effektivität der hier getesteten Fallen ausgewirkt haben. Die Form der Fallen wurde bereits als beeinflussender Faktor nachgewiesen, so klettern deutsche Schaben gerne durch Öffnungen in den seitlichen Wänden in die Falle (WANG und BENNETT 2006b). Das wiederum wäre ein Grund für die geringe Effektivität der gelben Leimplatte, da diese keine Seitenwände hatte. Ein weiterer Einfluss auf die Effektivität von Klebefallen ist die Stärke des verwendeten Klebstoffes. In den hier vorgestellten Versuchen gab es Schaben, die wieder von Klebeflächen herunterkamen. Dies war durch die Aufnahmen der Kamera zu erkennen. In manchen Fällen klebte nur ein Bein auf der Klebefläche, in diesen Fällen wäre zumindest die

Detektion eines Befalls auch ohne den Einsatz einer Kamera möglich. Wichtig scheint die gemeinsame Wirkung von Falle und Lockstoff zu sein. NALYANYA und SCHAL (2001) zeigten, dass im Labor mit einem Olfaktometer als attraktiv bewertete Lockstoffe (Erdnussbutter, Maische, Aggregationspheromon von *B. germanica*, industriell hergestellte Futterlockstoffe), in Feldstudien in Fallen genutzt, nicht effektiver auf deutsche Schaben wirkten als die gleichen Fallen ohne Lockstoffe. Außerdem waren industriell hergestellte Lockstoffe nicht effektiver als zum Beispiel Erdnussbutter oder Maische. WANG und BENNETT (2006b) zeigten dagegen, dass alle genutzten Futterlockstoffe (Brot und Bier, Erdnussbutter und Molasse, Schabenpheromone, Futterduftstoff) die Falleneffektivität steigerten. In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchen wurden alle verwendeten Fallen gemeinsam mit Lockstoffen eingesetzt, so dass die unterschiedlichen Anzahlen gefangener Tiere nicht darauf beruhen.

Unterschiede zeigten sich zwischen den Schabenarten hinsichtlich der Anzahl in den Klebefallen gefangener Tiere. Es wurden in allen Klebefallen, die Tiere fingen, am meisten orientalische Schaben gefangen. Dass orientalische Schaben häufiger in Klebefallen gefangen werden als deutsche Schaben, zeigten bereits Feldstudien mit zwei verschiedenen Klebefallenmodellen (STEJSKAL 1998). Die geringste Fangquote gab es in den Versuchen mit amerikanischen Schaben. Als begleitende Bekämpfungsmaßnahme zu Fraßködern ist demnach der Einsatz von Klebefallen bei amerikanischen Schaben weniger wirksam als bei orientalischen. Eingesetzt zur Detektion eines Befalls oder zur Erfolgskontrolle erschienen die getesteten Klebefallen für *P. americana* am wenigsten effektiv. In Versuchen mit deutschen Schaben wurde immer mindestens ein Tier gefangen, wenn 15 Tiere im Versuchsraum eingesetzt waren. Beim Besatz mit nur drei Tieren wurde dagegen keine deutsche Schabe gefangen. Das deutet darauf hin, dass ein anfänglicher Befall mit deutschen Schaben nicht unbedingt sofort durch den Einsatz von Klebefallen erkannt wird. Dies wird durch Versuche von WANG und BENNETT (2006b) bestätigt, die ebenfalls zu dem Ergebnis kamen, dass kleine Populationen von deutschen Schaben nicht durch den Einsatz von Klebefallen dezimiert werden können. Für orientalische Schaben dagegen können Klebefallen eine sehr effektive Maßnahme sein, zum einen als Monitoring, aber auch zur Reduktion eines Befalls. In den Klebefallen wurden beim Besatz mit drei Tieren in den drei Replikaten acht von den insgesamt neun Tieren gefangen, beim Besatz mit 15 Tieren wurden immer mindestens fünf Tiere gefangen. In den Versuchen mit amerikanischen Schaben wurde mit drei und auch mit 15 im Versuchsraum eingesetzten Schaben insgesamt nur jeweils ein Tier gefangen, was auch bei dieser Art zeigt, dass Klebefallen keine sichere Monitoring- sowie begleitende Bekämpfungsmaßnahme sind.

Andere Versuche zur Effektivität von Klebefallen wurden vor allem in Feldstudien erhoben (STEJSKAL 1998, NALYANYA und SCHAL 2001), in denen die Anzahl der Schaben an den Versuchsorten nicht genau bekannt war. Bei NALYANYA und SCHAL (2001) mussten mindestens 20 Tiere innerhalb von 48 h in Klebefallen am in Frage kommenden Versuchsort gefangen werden, bei STEJSKAL (1998) wurde vor Beginn der Studie nur die Befallsstärke durch das visuelle Zählen der Schaben innerhalb von 15 min nach Einschalten des Lichts eingeschätzt. Da aber bei großen Befällen die Wahrscheinlichkeit auch größer ist, dass Tiere in den Fallen gefangen werden, ist die Aussagekraft für die Effektivität für eine Falle weniger stark, wenn keine Gesamtanzahl der vorhandenen Tiere bekannt ist und somit auch nicht, welcher Anteil an der Gesamtpopulation gefangen wurde. Eine Aussage ist ebenfalls nicht möglich, ab welcher Befallsstärke die Detektion wahrscheinlich wird. In der Studie von APPEL (2003) wurden Labortests durchgeführt, in denen der Befall in Arenen (92 cm x 46 cm, Höhe 29 cm) mit 20 ml deutscher Schaben (betäubt in einem Messbecher abgemessen) nachgestellt wurde. Eine Angabe zur Anzahl der Schaben gab es hier nicht, nur dass die Populationszusammensetzung in den Replikaten unterschiedlich war. Durch diese Versuche können keine Rückschlüsse gezogen werden, ob ein Monitoring schon bei geringen Befällen durch eine sensitive Falle bemerkt wird. In einer Studie von WANG und BENNETT (2006b) wurden zum einen in einer 1 x 1 m großen Testarena 500 deutsche Schaben (250 Juvenile 2. und 3. Stadium, 125 Juvenile 4. und 5. Stadium, 65 Männchen und 60 nicht-tragende Weibchen) und zum anderen 1500 bis 2500 deutsche Schaben unterschiedlichen Stadiums in einer simulierten Küche (3,05 m x 1,83 m, Höhe 2,67 m) eingesetzt und verschiedene Fallen getestet. Beide Versuchsdesigns stellen einen starken Befall nach. Um durch ein dauerhaftes Monitoring einen anfänglichen Befall zu bemerken, sind die daraus erhaltenen Daten nicht unbedingt übertragbar, sondern nur, welche Falle die wahrscheinlich größte Sensitivität haben könnte. Auch hier konnten Vergleiche zwischen verschiedenen Fallentypen gemacht werden, wobei bei einer unterschiedlichen Populationszusammensetzung (2. Versuchsvariante mit 1500 bis 2500 Schaben unterschiedlichen Stadiums) auch andere Fangquoten zu erwarten sind und damit die Vergleichbarkeit nicht vorhanden war. Eine Versucharena in der im Versuch genutzten Größe (1 m x 1 m) ist nicht unbedingt sinnvoll, da die Schaben während des Versuchs immer sehr dicht an den Fallen sind. Im Praxisfall werden aber Fallen nicht immer erst bei einem starken Befall zur Kontrolle und Unterstützung während einer Bekämpfung eingesetzt, sondern besonders zum Monitoring und als Befallsmelder. Dann werden Fallen zwar möglichst an Orten platziert, an denen Versteck- oder Futterplätze vermutet werden, da das aber nicht immer abschätzbar ist, sollte eine Falle möglichst über weite

Entfernungen attraktiv und anlockend wirken und diese Wirkung auch mit dem entsprechenden Testdesign nachgewiesen werden.

Zusammenfassend kann aus diesen Versuchen geschlossen werden, dass Lockstoffe, die auf Klebefallen eingesetzt werden, immer mit den dazu angebotenen Klebeflächen zusammen getestet werden sollten. Außerdem sind Klebefallen nicht für alle Schabenarten gleich effektiv und es sollten Tests für die jeweilige Schabenart durchgeführt werden, um zu wissen, welche Falle für welche Schabenart eingesetzt werden sollte.

Das Kamerasystem erkannte in allen Versuchen unter dem System durchgelaufene Schaben. Dabei ergab sich zwischen den Arten und der Anzahl der Detektionen kein Unterschied. Demnach kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Arten unterschiedlich aktiv waren und hierdurch Unterschiede in der Anzahl der in den Klebefallen gefangenen Schaben erklärt werden können. Das Kamerasystem war als Monitoringsystem effektiver und sensitiver als die Klebefallen, da es unabhängig von der Art und der Anzahl der Schaben jeden Befall entdeckte. Um in der Praxis ebenso effektiv zu sein, muss das Kamerasystem an möglichst optimale Plätze positioniert werden, wo im Falle eines Befalls die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass dort Schaben entlanglaufen. Um die Effektivität des Systems zu steigern, wäre die zusätzliche Anlockung z. B. durch Duftstoffe möglich.

Der entwickelte Versuchsraum für das Schabenmonitoring ermöglichte die Einschätzung der Effektivität der unterschiedlichen Monitoringsysteme. Er bot den Schaben geeignete Verstecke und eine Futterquelle, so dass ein Befall simuliert wurde. Ein großer Unterschied dieser Simulation zur realen Situation, die z. B. in Großküchen, Warenlagern oder anderen Lebensmittelbetrieben herrscht, ist, dass die Schaben während des Versuchs nicht gestört wurden. In den genannten Betrieben ist die ungestörte Situation für die Schaben eher selten und damit der Druck höher, in einer kurzen Zeitspanne auf Nahrungssuche zu gehen. Wie sich dieser Faktor auf die Effektivität von den Monitoringsystemen auswirkt, müsste noch überprüft werden. Ein Testverfahren zu Monitoringsystemen sollte verschiedene Befallsstärken nachstellen können und so auch zeigen, ob das Monitoringsystem anfängliche Befälle detektiert. Dafür muss eine definierte Anzahl von Tieren eingesetzt werden.

4.1.3 Aktivitätsversuche

Die Aktivitätsversuche wurden durchgeführt, um die Hypothese zu überprüfen, dass Männchen eine höhere Aktivität als Weibchen und Juvenile aufweisen. Durch eine höhere Aktivität könnte

bei Männchen eine höhere Stoffwechselrate oder eine höhere Köderkontaktrate in den Fraßköderversuchen zu schnellerer Mortalität als bei Weibchen und Juvenilen geführt haben. Hierfür wurden von deutschen und amerikanischen Schaben je 15 nummerierte Tiere (je 5 Männchen, Weibchen und Juvenile) in einem Versuchsraum zum Schabenmonitoring durch ein Kamerasystem aufgenommen.

Für die deutschen Schaben konnten keine Aussagen getroffen werden. Es war nicht möglich, eine individuelle Markierung auf ihnen zu befestigen, die groß genug war, um auf den Aufnahmen des Kamerasystems erkannt zu werden. Um Versuche mit deutschen Schaben analog zu denen mit amerikanischen Schaben durchzuführen, müsste ein Kamerasystem mit einer höheren Auflösung oder eine andere Form der Markierung genutzt werden.

Die Ergebnisse der drei Durchgänge mit amerikanischen Schaben ergaben, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen der Anzahl der Läufe der männlichen, weiblichen und juvenilen Tiere gab. Weibchen liefen im Versuch sogar am häufigsten, etwa doppelt so viel wie Männchen. Juvenile Tiere liefen nur etwas weniger als Männchen unter dem Kamerasystem entlang. Das widerspricht den Beobachtungen von APPEL und RUST (1986), bei denen Männchen von *Periplaneta fuliginosa* sehr viel mehr Zeit außerhalb des Verstecks zubrachten als Weibchen und Juvenile. Diese Beobachtungen fanden jedoch nicht im Labor statt, sondern in natürlicher Umgebung. Außerdem wurde in diesen Versuchen hier nicht der Aufenthalt außerhalb des Nestes dokumentiert, sondern nur unter dem Kamerasystem entlanggelaufene Schaben. Dazu kam, dass die Populationszusammensetzung in diesen Versuchen nicht natürlich war, sondern künstlich herbeigeführt wurde. Da das aber auch in Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern im Labor der Fall ist, lassen sich unterschiedliche Aktivitätsmuster nicht zur Erklärung der unterschiedlich schnellen Wirkung der Köder auf die Versuchspopulationen heranziehen.

4.2 Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen

4.2.1 Versuche mit *T. melanocephalum* im 1-Kammersystem und 3-Kammersystem

Fraßköderversuche mit *T. melanocephalum* wurden in zwei Testsystemen vergleichend durchgeführt, eine Kristallisierschale diente als 1-Kammersystem und ein 3-Kammersystem bestand aus Nist-, Gift- und Futterkammer, die mit Schläuchen verbunden waren. Das 3-Kammersystem wurde aus der Prüfrichtlinie des UBA (UMWELTBUNDESAMT 1998) zur Wirksamkeitsprüfung von Fraßködern gegen Pharaoameisen übernommen. In Vergleichsversuchen mit Pharaoameisen zeigte sich, dass ein Borsäureköder in diesem System schneller wirkte als im 1-

Kammersystem mit der Kristallisierschale (KRÜGER et al. 2014). Es sollte untersucht werden, ob Prüfungen mit *T. melanocephalum* in 3-Kammersystemen ebenfalls eine schnellere Tilgung der Ameisen erreichen als in 1-Kammersystemen, es wurde ein Köder mit 15 % Borsäure eingesetzt.

In den Versuchen ergaben sich keine Unterschiede zwischen den Versuchssystemen. Es wurden in beiden Systemen in jeweils zwei Replikaten die Ameisenvölker nicht innerhalb der Versuchszeit von 80 Tagen getilgt, es überlebten in diesen Replikaten Königinnen. In den zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführten Vergleichsversuchen mit *M. pharaonis* (KRÜGER et al. 2014) lag die Expositionsdauer bei nur 50 Tagen und 75 % der Ameisenvölker in den 3-Kammersystemen wurden getilgt, die Mortalitätsrate der Königinnen war in den 3-Kammersystemen höher als in den 1-Kammersystemen. In den hier vorgestellten Versuchen waren die Anteile der toten Königinnen in den 1-Kammersystemen größer als in den 3-Kammersystemen, die Unterschiede in der Mortalität der Königinnen waren aber nicht signifikant. Der Versuchszeitraum von 80 Tagen sollte grundsätzlich ausreichend sein, um eine Tilgung der Ameisen mit Borsäureködern zu erreichen, es wurden in den 1-Kammersystemen in drei Replikaten und in den 3-Kammersystemen in vier Replikaten die Ameisenvölker innerhalb des Versuchszeitraums getilgt. Ein ähnlicher Versuchszeitraum (10 Wochen), reichte auch in Versuchen von KLOTZ et al. (1996) mit einem Borsäureköder und Völkern von *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* zur Tilgung, jedoch gab es Abweichungen im Versuchsdesign: Die Versuchstiere mussten vor Versuchsbeginn hungern und die ersten drei Tage der Exposition wurde keine giftfreie Alternative zum Köder angeboten, der Köder war hier zudem flüssig und enthielt 1 % Borsäure. Flüssige Köder wirken auf *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* attraktiver als weniger Feuchtigkeit enthaltende Köder (LEE 2008). Ein flüssiger Köder hätte in den hier vorgestellten Versuchen möglicherweise eine schnellere Tilgung der Tiere erreicht oder dazu geführt, dass alle Ameisenvölker in den Replikaten getilgt worden wären.

Kolonien von *T. melanocephalum* stellen keine großen Ansprüche an die Stellen, in denen sie nisten, sie siedeln in Gebäuden u. a. unter Fußbodenbelag, in Kleidung, zwischen Büchern oder in Dosen (SCHEURER und LIEBIG 1998). Sie verlagern je nach Nahrungsangebot, Koloniegroße oder auch bei Störungen ihr Nest und verbleiben an den Niststellen teilweise nur Tage oder Wochen (HÖLLDOBLER und WILSON 1990). Für *M. pharaonis* wurden mehrere störende Gründe für das Wechseln des Nistortes ermittelt, so die mechanische Störung des Nestes, Behandlung mit Chemikalien, Futterverlagerungen weg vom ursprünglichen Nistort und die Invasion von Arbeiterinnen von *T. melanocephalum* (TAY und LEE 2015). Für *L. humile* wurde ebenfalls gezeigt, dass die Kolonien ihre Nester bei einer Futterquellenverlagerung näher an die neue

Nahrungsquelle verlegten (HOLWAY und CASE 2000). Dieses sehr mobile Nistverhalten und die geringen Ansprüche an den Nistort, welches auch für *T. melanocephalum* und viele weitere sogenannte „tramp ants“ gilt (MCGLYNN 1999), verhinderte während des Versuches die ange-dachte Praxissimulation. Diese sollte ein Nest in der Nistkammer sein, von dem aus die Amei-sen einen Weg zur Futterkammer etablieren und dabei durch die Giftkammer mussten, in der nach der Eingewöhnungszeit der Köder auf der Ameisenstraße platziert war. Die Schwarzkopf-ameisen beließen ihr Nest nicht in der dafür vorgesehenen Kammer. Sie nisteten in den Schläu-chen zwischen zwei Kästen oder an Tränke oder Futterschale, dadurch waren die Laufwege in den 3-Kammersystemen (mindestens 115 cm bei kürzest möglicher Strecke) nicht unbedingt länger als in den 1-Kammersystemen (mindestens 15 cm bei kürzest möglicher Strecke). Auch der Köder war dadurch nicht dichter am Nest und der Effekt, der bei *M. pharaonis* im Vergleich zwischen beiden Systemen beobachtet wurde, war hier nicht zu erkennen. Auch in den Versu-chen mit *M. pharaonis* wurden Kolonieteile an andere Stellen im Versuchssystem verlagert, jedoch nicht in dieser Intensität. Die Kolonien von *T. melanocephalum*, die ihr Nest im Schlauch zwischen Giftkammer und Futterkammer oder direkt an Tränke oder Futterschale po-sitionierten, nahmen dennoch Köder auf, denn zu Versuchsende lebte insgesamt nur noch eine Arbeiterin. Die Ergebnisse sind aufgrund der verschiedenen Situationen in den einzelnen Rep-likaten nicht unbedingt miteinander vergleichbar. Viele Ameisenarten verlagern bei Störungen oder Schädigungen der Neststrukturen Teile ihrer Kolonie oder auch die gesamte Kolonie (SMALLWOOD 1982). Bei den zu den „tramp ants“ gehörenden Arten, wie *T. melanocephalum*, *M. pharaonis* oder *L. humile* ist dies besonders stark ausgeprägt, außerdem werden schon vor-handene Strukturen als Nistorte genutzt, die durch die gesamte oder nur Teile der Kolonie schnell verlassen und ersetzt werden können (SMALLWOOD 1982, MCGLYNN 1999, KLOTZ et al. 2008). Dazu kommen bei den „tramp ants“ Anpassungen wie der Verlust der Hochzeitsflüge und damit einhergehende Paarungen innerhalb des Nestes sowie fehlende Aggression zwischen unterschiedlichen Kolonien einer Art hinzu, wodurch sie sehr viel flexibler sind. Auch die hohe Anzahl von weiblichen Geschlechtstieren ist hier von Vorteil, da die Nester durch Teilung eine schnelle Verbreitung der Kolonie ermöglichen (HÖLLDOBLER und WILSON 1977, KLOTZ et al. 2008). Die geringe Größe der Arbeiterinnen, die auf Nahrungssuche sind und die sich hinter Strukturen bzw. an Ecken und Kanten oder anderen baulichen Strukturen entlangbewegen, wer-den auch dafür verantwortlich gemacht, dass Befälle oft spät entdeckt werden (KLOTZ et al. 2008). Die Nestverlegung in die Nähe von Nahrungsquellen wurde für *L. humile* und *M. pha-raonis* im Labor gezeigt (HOLWAY und CASE 2000, TAY und LEE 2015). In Befallsobjekten wurden *M. pharaonis* Arbeiterinnen an bis zu 45 m vom Nest entfernten Nahrungsquellen

beobachtet (WILLIAMS und VAIL 1994), durch das Auffinden dieser weit entfernten Nahrungsquelle wurden Nestverlegungen in die Nähe der gefundenen Ressourcen initiiert. Auf Grund dieses mobilen Nestverhaltens erscheint ein großes und aus mehreren Kammern bestehendes Versuchssystem nicht sinnvoll für Ameisenarten, die zu den „tramp ants“ gehören.

Ein Unterschied zwischen 1- und 3-Kammersystemen konnte nicht festgestellt werden, aber durch die sehr unterschiedlich verlaufenen Versuche ist hierzu keine klare Aussage möglich. Gezeigt haben diese Versuche, dass die nachgebildete Situation der Praxis für *T. melanocephalum*, aber auch andere Ameisenarten, die zu den „tramp ants“ gezählt werden, nicht praktikabel ist, da reproduzierbare Ergebnisse nicht zu erwarten sind. Eine kleinere Versuchsarena mit weniger als Nest für die Ameisen nutzbaren Strukturen lässt einheitlichere Versuchsergebnisse erwarten. So können die Differenzen der Distanz zwischen Nest und Köder bzw. Futter durch Nistplätze, die von den Ameisen im Versuch gewählt werden, wesentlich verringert werden. Da sich Ameisen, wie *T. melanocephalum* oder *M. pharaonis* (KLOTZ et al. 2008, HÖLLDOBLER und WILSON 2013), aber auch *L. niger* (DUSSUTOIR et al. 2005) vorwiegend an natürlichen Strukturen, Ecken und Kanten entlangbewegen, ist eine mittige Positionierung des Köders in der Kammer nicht praxisnah. Durch diese Positionierung müssen die Ameisen ihre Wege verlassen, um den Köder zu konsumieren. Ein Köder sollte direkt gegen alternatives Futter bzw. eine bestehende lohnende Nahrungsressource seine Attraktivität zeigen und eine direkte Positionierung neben dem Alternativfutter wäre daher eine bessere Wahl.

4.2.2 Versuche mit unterschiedlich großen 1-Kammersystemen

Mit Pharaoameisen und Schwarzkopfameisen wurden in zwei verschiedenen großen 1-Kammersystemen und mit zwei Ködern (imidacloprid- und indoxacarbhaltig) mit unterschiedlicher Wirkweise Vergleichsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse sollten zeigen, ob sich die Versuchsergebnisse auf Grund der Größe der den Ameisen zur Verfügung stehenden Lauffläche (große Arenen 4860 cm² und kleine Arenen 2300 cm²) bzw. der unterschiedlichen Distanz zwischen Nest und Köder/Futter (große Arenen etwa 50 cm und kleine Arenen etwa 25 cm) unterscheiden. Die Köder wurden dabei neben Futter und Wasser positioniert, die als Futter angebotenen toten Schaben stellen eine sehr attraktive Nahrungsquelle dar (ADAMS et al. 1999).

Wie auch in den Versuchen mit 3-Kammersystemen wurde beobachtet, dass die Ameisen beider Arten ihre Nester innerhalb der Versuchszeit zeitweise verlagerten und nicht durchgängig in den angebotenen Nestern nisteten. Dieses Verhalten ist für beide Arten sehr typisch (KLOTZ et al. 2008, TAY und LEE 2015), die Ansprüche an die Nester sind sehr gering und es werden

einfache, vorhandene Strukturen ohne Anpassungsmaßnahmen durch die Ameisen genutzt (SCHEURER und LIEBIG 1998, KLOTZ et al. 2008). Auch durch ein sehr einfach strukturiertes und wenig Möglichkeiten zum Nisten außerhalb des vorgesehenen Nestes bietenden Testdesigns konnte ein temporäres Umsiedeln nicht verhindert werden. Es gab in diesen 1-Kammer-Versuchssystemen sehr viel weniger attraktive Alternativen als in den Versuchssystemen mit den drei Kammern und den dazwischenliegenden Schläuchen, die Ameisen siedelten immer nur für wenige Tage mit Teilen der Kolonie außerhalb des Nestes.

Die untersuchten Parameter (Dauer bis zur Tilgung, Mortalität der Königinnen, Anzahl der überlebenden Arbeiterinnen), die zeigen sollten, ob unterschiedliche Arenengrößen Verlauf und Ergebnis einer Wirksamkeitsprüfung beeinflussen, ergaben mehrheitlich keine signifikanten Unterschiede. Alle Tiere in den Versuchen mit Imidacloprid wurden innerhalb der Expositionszeit von 80 Tagen getilgt. Die Tilgung der Ameisenvölker erfolgte bei beiden Arten in den kleinen Arenen insgesamt früher als in den großen Arenen, die Unterschiede waren aber nur gering und nicht signifikant. Die Ameisenvölker in den Versuchen mit Indoxacarb wurden größtenteils nicht innerhalb des Expositionszeitraums von 80 Tagen getilgt, das war nur bei zwei Replikaten der Pharaoameisen in den kleinen Versuchsarenen der Fall. Die Ameisen in allen anderen Replikaten in kleinen und großen Arenen wurden nicht getilgt, es gab hier wie auch in den Versuchen mit Imidacloprid keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich großen Arenen. Die Anteile der toten Königinnen unter Anwendung von Indoxacarb in den beiden unterschiedlich großen Arenen mit Pharaoameisen waren signifikant unterschiedlich. In den kleinen Arenen war der Anteil toter Königinnen größer als in den großen Arenen. Dies ist ein Unterschied zu den Ergebnissen aus Versuchen, in denen Testsysteme aus drei Kammern bestehend mit Systemen aus einer Kammer verglichen wurden (KRÜGER et al. 2014). Dort war der Anteil toter Königinnen in den 3-Kammersystemen größer als in den 1-Kammersystemen. Da in diesen Versuchen aber ein Borsäureköder verwendet wurde, sind Unterschiede möglicherweise mit der Wirkweise der Köder zu erklären, außerdem war der Unterschied zwischen Lauffläche und Distanz zwischen Nest und Futter bzw. Köder in den dort getesteten Testsystemen größer als in den hier getesteten und verglichenen 1-Kammersystemen. In den Versuchen mit Schwarzkopffameisen gab es dabei keine Unterschiede. Auch in der Anzahl der überlebenden Arbeiterinnen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlich großen 1-Kammersystemen festgestellt werden. Die Anteile aktiver Arbeiterinnen an den verschiedenen Zeitpunkten des Expositionszeitraums waren für Imidacloprid mit beiden Ameisenarten und für Indoxacarb mit Pharaoameisen nicht unterschiedlich. In den Versuchen

mit Schwarzkopffameisen ergaben sich zu zwei Zeitpunkten unter Anwendung von Indoxacarb signifikante Unterschiede im Vergleich des Anteils aktiver Arbeiterinnen in großen und kleinen Arenen. Die Unterschiede traten 35 und 56 Tage p. a. auf, zu beiden Zeitpunkten war der Anteil aktiver Arbeiterinnen in den kleinen Arenen höher als in den großen Arenen. Die einheitlichen Anteile der aktiven Arbeiterinnen unter Anwendung des Imidaclopridköders sind wahrscheinlich damit zu erklären, dass der Köder im Vergleich zu Indoxacarb eine schnellere und stärkere insektizide Wirkung auf beide Ameisenarten hatte und die anfänglich hohe Aktivität und Konsumierung des Köders zu einer schnellen Dezimierung der Ameisen führte. Indoxacarb dagegen wirkte wesentlich langsamer und mehr Ameisen überlebten bis zum Versuchsende. Faktoren, die die Sammelaktivität von Ameisen beeinflussen können, sind Bodentemperatur, Nahrungsangebot, Tageszeit, Jahreszeit oder auch die Nutzung der gleichen Nahrungsquellen durch andere Arten (SUDD 1960, HUNT 1974, TORRES 1984). Da in den hier vorgestellten Versuchen jedoch ein gleichbleibendes Nahrungsangebot, keine konkurrierenden Ameisenarten und die Temperatur gleichbleibend war, können diese Faktoren ausgeschlossen werden. HUNT (1974) zeigte für *T. antarcticum* ein nahezu gleichbleibendes Aktivitätsmuster von kurz nach Sonnenaufgang bis kurz vor Sonnenuntergang. SUDD (1960) beobachtete, dass *M. pharaonis* zwischen acht und neun Uhr morgens mit ihrer Nahrungssuche begann. In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchen wurde die Aufnahme der Aktivität immer gegen Mittag vorgenommen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Unterschiede in der Sammelaktivität nicht auf Grund der Tageszeit aufgetreten sind. Der Einfluss der beiden unterschiedlichen Köder ist als die Aktivität beeinflussender Faktor wahrscheinlich.

4.2.2.1 Vergleich der Köderwirkstoffe und Ameisenarten

Die Anwendung von Imidacloprid führte bei beiden Ameisenarten innerhalb der Versuchszeit zur Tilgung aller Ameisenvölker. In den Versuchen mit Indoxacarb wurden dagegen nur die Tiere in zwei Replikaten getilgt. Es gab unter Anwendung des Imidaclopridköders bereits 14 Tagen p. a. in den Versuchen mit Pharaoameisen keine aktiven Arbeiterinnen, mit Indoxacarbködern sank die Aktivität langsamer und war erst zu Versuchsende bei etwa 0, ohne dass eine Mortalität von 100 % erreicht wurde. Die Wirkung des Imidaclopridköders war ähnlich in den Versuchen mit Schwarzkopffameisen, obwohl der Köder hier eine langsamere Wirkung hatte als auf *M. pharaonis* und die Aktivität von *T. melanocephalum* erst 35 Tage p. a. bei 0 war. Indoxacarb wirkte gegen Schwarzkopffameisen ebenfalls langsamer als gegen Pharaoameisen. Auch hier erreichte die Anwendung von Indoxacarb, dass es keine aktiven Arbeiterinnen bei Versuchsende gab, jedoch bedeutete dies nicht, dass die Ameisenvölker in den Versuchen

getilgt waren. Es gab überlebende Arbeiterinnen, Königinnen und Brut in den Nestern. Die Mortalitätsrate der Königinnen in Versuchen mit Indoxacarb lag bei *M. pharaonis* über der von *T. melanocephalum*, allerdings überlebten mehr Arbeiterinnen der Pharaoameisen als der Schwarzkopfameisen. Während des Versuchs waren anteilig mehr Arbeiterinnen der Schwarzkopfameisen aktiv als der Pharaoameisen.

Versuche von RUST et al. (2004) mit *L. humile* zeigten, dass Imidacloprid eine ausreichend verzögerte und sehr effektive Wirkung hat, um Ameisenvölker zu tilgen. In den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuchen wurde dies ebenfalls für *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* gezeigt. Indoxacarb wurde in Versuchen mit *S. invicta* als ein sehr effektiver Wirkstoff gewertet, der zu 100 %iger Mortalität von Königinnen und Arbeiterinnen führte (OI und OI 2006). In Versuchen mit *L. humile* dagegen zeigte Indoxacarb nur eine geringe Wirksamkeit (MATHIESON et al. 2012), die hier vorgestellten Versuche bestätigen diese Wirkung für Pharaoameisen und Schwarzkopfameisen.

Ein möglicher Grund für die unterschiedliche Dauer bis zur Tilgung von *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* kann eine unterschiedlich hohe Attraktivität des Köders auf die Ameisen sein. So unterscheiden sich Ameisenarten, obwohl sie generell omnivor sind, in ihren Nahrungspräferenzen, *T. melanocephalum* bevorzugt eher kohlenhydrathaltige, *M. pharaonis* dagegen kohlenhydrat- und proteinhaltige Nahrungsquellen (EDWARDS und ABRAHAM 1990, LEE 2002), diese Präferenzen wechseln allerdings besonders bei einseitigem Nahrungsangebot bei Pharaoameisen (EDWARDS und ABRAHAM 1990) und zumindest bei *M. pharaonis* weniger durch den Entwicklungsstatus des Nests (EOW und LEE 2007). Die Ameisen bekamen in der Zucht und in der Eingewöhnungszeit vor Versuchsbeginn kohlenhydrat- und proteinhaltiges Futter, während der Expositionszeit wurden tote Schaben, also proteinreiches Alternativfutter zum Giftköder angeboten. Um ihren Bedarf an Kohlenhydraten zu decken, waren die Ameisen auf den Köder angewiesen. Die eingesetzten Köder werden von den Herstellern für beide Arten empfohlen und sollten protein- sowie kohlenhydratsammelnde Arten anlocken, somit hätten vor allem die kohlenhydratbevorzugenden *T. melanocephalum* den Köder hochfrequentieren müssen. Das ließ sich aber nicht anhand der Mortalität erkennen und im Vergleich mit *M. pharaonis* wäre eine ähnliche Dauer bis zur Tilgung zu erwarten gewesen.

Da die Expositionsdauer von 80 Tagen für eine Tilgung beider Ameisenarten unter Anwendung von Indoxacarb nicht ausreichte, die Aktivität zu diesem Zeitpunkt in allen Versuchen bereits sehr gering war, wären weiterführende Versuche wichtig. In diesen Versuchen müsste untersucht werden, wann eine Tilgung erreicht wird. Außerdem wären Versuche mit weiteren Wirkstoffen aufschlussreich, um Erkenntnisse über den maximalen Zeitrahmen einer

Wirksamkeitsprüfung festzulegen. Eine Bekämpfung von Ameisen in der Praxis ist in den meisten Fällen sehr langwierig, besonders bei großen Befällen. Mehrere Monate Bekämpfungszeit bis hin zu mehreren Jahren sind je nach Hausstruktur und Befallsgröße zu erwarten (WILLIAMS und VAIL 1994, SCHEURER und LIEBIG 1998), auch wird oft mit mehreren bzw. wechselnden Köderformulierungen gearbeitet, um eine dauerhafte Annahme der Köder zu gewährleisten. Verhältnismäßig lange Zeiträume bis zur Tilgung der Ameisen sind daher auch in einer Laborprüfung tolerierbar.

Grundsätzlich können für Ameisenarten, die zu den „tramp ants“ gezählt werden, Testsysteme wie die hier verwendeten 1-Kammersysteme zur Prüfung von Fraßködern empfohlen werden. Da die Größe der hier getesteten Arenen nahezu keine signifikanten Unterschiede im Testverlauf und Testdauer ergaben, müssen Wirksamkeitsprüfungen nicht zwangsläufig in einer konkret festgelegten Arenengröße durchgeführt werden, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Der Bereich, für den dies zutrifft, liegt bei Arenengrößen mit einer Lauffläche zwischen 2300 cm² und 4860 cm² und der Distanz zwischen Nest und Futter sowie Giftköder von 25 cm und 50 cm. Jedoch ist grundsätzlich die Wahrscheinlichkeit von Nestverlegungen dichter an die Nahrungsquelle heran in einem kleinen Versuchssystem geringer. Der zur Tilgung aller Versuche führende Köder mit Imidacloprid benötigte zur Tilgung weniger als die Hälfte der Expositionszeit. Auch in den Versuchen mit dem Borsäureköder konnten die Hälfte der Replikate mit *T. melanocephalum* innerhalb dieser Zeit getilgt werden. Die in diesen Versuchen angewandte maximale Expositionsdauer von 80 Tagen sollte nicht unbedingt auf sehr viel längere Expositionszeiten ausgedehnt werden, um gut wirkende Mittel von weniger effektiven Produkten unterscheiden zu können. Möglicherweise wäre ein Maximum von 100 Tagen Exposition realistisch.

4.3 Repellentienversuche mit Ameisen und Bettwanzen

4.3.1 Repellentienversuche mit Ameisen

Um die Empfindlichkeit der Testsysteme für Repellentien gegen Ameisen zu überprüfen, wurde eine möglichst große Bandbreite von unterschiedlich stark repellierend wirkenden Substanzen eingesetzt.

Der *forced choice*-Test wurde mit der schwarzen Wegameise, Pharaomeisen und Schwarzkopameisen durchgeführt. Mit diesem Testsystem konnte die unterschiedlich stark repellierende Wirkung der Substanzen auf die Ameisen bestimmt werden, ebenso wie deren

artspezifische Wirkung auf die drei Testarten. Außerdem war erkennbar, dass Substanzen mit einem stark repellierenden Effekt auf die Ameisen wesentlich einheitlichere Ergebnisse zwischen den einzelnen Replikaten hervorbrachten. Bei Substanzen mit geringerem repellierenden Effekt, gab es größere Streuungen. Ein Grund hierfür könnte sein, dass durch die nur schwach repellierende Wirkung der Substanz, eine hohe interindividuelle Variabilität bei der Überquerung der Substanzen eine Rolle spielte. Bei der Überquerung der stark repellierenden Substanzen gab es zwar auch Unterschiede, diese waren aber wesentlich geringer. Dies zeigte, dass je stärker die Substanz wirkte, umso geringer war die interindividuelle Variabilität.

Repellentienversuche mit Ameisen sollten die Situation, in der Repellents eingesetzt werden, simulieren. Situationen, in denen Ameisen repellierte werden sollen, sind vorwiegend die Nahrungssuche, bei der bei einer attraktiven Nahrungsquelle Pheromonspuren gelegt werden, denen viele Arbeiterinnen aus dem Nest folgen, wodurch Ameisenstraßen entstehen. Auch in anderen Studien wurde die Situation der Nahrungssuche simuliert, um Substanzen auf ihre repellierende Wirkung zu testen (POST et al. 1984, CSUK et al. 2011). Jedoch wurde in diesen Studien den Ameisen keine weitere Nahrungsquelle oder ein zweiter Weg zur Nahrungsquelle angeboten und sie waren gezwungen über die repellierende Substanz zu laufen, um Nahrung für die Kolonie zu sammeln.

Im *simulated use*-Test mussten die Versuche mit *L. niger* abgebrochen werden. Die Ameisen in den verwendeten Nestern zeigten in den Versuchen nicht die notwendige Aktivität, um eine statistische Auswertung durchführen zu können. Um mit dieser Ameisenart Versuche durchführen und auswerten zu können, müssen entweder die Zeitspannen der Beobachtung länger sein oder es müssen größere Nester mit höherer Aktivität für die Versuche genutzt werden. Eine längere Beobachtungszeit, die an den jeweiligen Kontrollzeitpunkten etwa eine Stunde hätte betragen müssen, war im Rahmen der hier durchgeführten Versuche nicht realisierbar. Größere Ameisenvölker standen nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung. Eine vor Versuchsbeginn erzwungene Hungerphase hätte möglicherweise zu einer Erhöhung der Aktivität geführt, jedoch möglicherweise auch den Versuchsverlauf beeinflusst. Hierzu wären weiterführende Versuche wichtig, um auch für Versuche mit *L. niger* ein adäquates Testdesign zu erhalten.

Im *simulated use*-Test gab es bei *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* in den Kontrollen eine Präferenz für die schon in der Eingewöhnungszeit zugänglichen Brücken zum anderen Bereich der Testarena. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Ameisen mit Pheromonen den Weg zur

ertragreichen Nahrungsquelle legten und diesen auch nach Öffnung der zweiten Brücke hauptsächlich weiter nutzten, da es keinen Grund gab, diesen Weg aufzugeben. Dies zeigt, dass bei Ausbringung eines Repellents auf diesem Weg mit einer ertragreichen Nahrungsquelle die Wirkung des Repellents sehr stark sein muss, damit die Ameisen von dem schon etablierten und ertragreichen Weg fernbleiben. Bei Anwendung eines Repellents auf etablierten Ameisenstraßen sollte demnach darauf geachtet werden, dass unterstützend die gelegte Pheromonspur beseitigt und möglichst auch die Nahrungsquelle unzugänglich gemacht wird.

4.3.1.1 Versuche mit *T. melanocephalum*

Im *simulated use*-Test waren zu allen aufgenommenen Zeitpunkten Zimtpulver, Zimtöl, Margosa 100 % und DEET in ihrer Wirkung signifikant unterschiedlich zur Kontrolle und wirkten auf die Schwarzkopfameise sehr stark repellierend. Die Anteile der Ameisen, die von Natron, Seesand und Margosa 10% repelliert wurden, stiegen im Laufe des Versuchs. Das zeigt, dass die Mittel einen leicht repellierenden Effekt auf die Ameisen hatten und diese nach und nach den unbehandelten Weg etablierten, um nicht über das Repellent laufen zu müssen. Jedoch war die Wirkung nicht stark genug, um sie davon abzuhalten, eine gute Nahrungsquelle aufzugeben. Erst bei der Entdeckung und Etablierung eines anderen Weges oder einer anderen Quelle wurde der ursprünglich genutzte Weg weniger stark frequentiert. Für Schwarzkopfameisen scheint schon die körnige Konsistenz von Pulver oder Sand ein Hindernis zu sein, da geruchsfreier Seesand zunehmend gemieden wurde. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die Überquerung des Seesands für *T. melanocephalum* mit hohen Kosten für die einzelne Ameise verbunden war, aber die Nahrungsquelle einen so großen Nutzen für die Kolonie hatte, dass nicht auf sie verzichtet werden konnte.

4.3.1.2 Versuche mit *M. pharaonis*

Auf Pharaoameisen wirkte DEET zu allen Beobachtungszeitpunkten während des *simulated use*-Tests stark repellierend und war die einzige Substanz, die ein durchgängig signifikant unterschiedliches Verhalten der Ameisen im Vergleich zu den Ameisen in der Kontrolle bewirkte. Unverdünntes Margosa, Zimtöl und Zimtpulver wirkten ebenfalls stark repellierend, die Mediane der über die Kontrollbrücke laufenden Ameisen lagen während des Versuchszeitraumes dauerhaft bei über 90 %, die Unterschiede waren allerdings nicht zu allen Zeitpunkten signifikant zur Kontrolle. Für Seesand, Natron und Margosa 10 % zeigte sich keine repellierende Wirkung auf Pharaoameisen. Die Wirkung der wenig oder gar nicht repellierenden Substanzen änderte sich kaum im Laufe des Versuchszeitraums.

4.3.1.3 Vergleich von *forced choice*-Test und *simulated use*-Test

Grundsätzlich lassen sich mit beiden Testsystemen repellierende Eigenschaften von Testsubstanzen auf *M. pharaonis* und *T. melanocephalum* testen, während für den gewählten Versuchsansatz der *simulated use*-Test im Gegensatz zum *forced choice*-Test für *L. niger* nicht geeignet erscheint.

Im *forced choice*-Test waren die Ameisen einer Stresssituation ausgesetzt, aus der sie fliehen wollten. Das Testszenario war sehr unnatürlich, im *simulated use*-Test dagegen wurden die Ameisen in eine praxisähnliche Situation gesetzt. Dennoch ließ der *forced choice*-Test eine erste Einschätzung über mögliche repellierende Effekte einer Substanz zu. Es waren Unterschiede der repellierenden Wirkung der Substanzen auf die unterschiedlichen Arten erkennbar. Im *simulated use*-Test konnte das Verhalten der Ameisen unter realistischen Bedingungen geprüft werden. Hierzu gehört insbesondere das Legen von Pheromonspuren zu Nahrungsquellen. Es konnte z. B. in den Versuchen mit *T. melanocephalum* erkannt werden, dass eine anfangs schwächere repellierende Wirkung im Verlauf der Ausbringung stärker wird, wenn alternative Wege zur Nahrungsquelle etabliert werden können. In den Versuchen mit Seesand wurde direkt nach Exposition im *simulated use*-Test ein ähnlicher Anteil von Ameisen repelliert wie im *forced choice*-Test. Dieser Anteil nahm mit der Zeit aber zu und nach 48 h gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den repellierten Ameisen in den Testsystemen. Auch bei *Margosa* 10 % lagen die Werte zwischen *forced choice*-Test und direkt p. a. im *simulated use*-Test sehr eng beieinander, der Median des Anteils repellierter Ameisen stieg aber auch hier im Laufe des Versuchs. Allerdings gab es große Streuungen zwischen den einzelnen Replikaten, besonders im *simulated use*-Test. Bei den stark repellierenden Substanzen wie DEET, *Margosa* 100 %, Zimtöl und Zimtpulver waren in den Versuchen mit Schwarzkopffameisen die Streuungen im *forced choice*-Test größer als im *simulated use*-Test. Für diese Substanzen ergaben sich zu jedem Zeitpunkt im *simulated use*-Test signifikante Unterschiede zum *forced choice*-Test.

In den Versuchen mit Pharaoameisen waren die Unterschiede zwischen den Testsystemen weniger groß. Für die Substanzen, die im *forced choice*-Test und zu Beginn im *simulated use*-Test keine oder nur eine geringe repellierende Wirkung auf die Ameisen hatten, konnte anders als bei *T. melanocephalum*, im Laufe des Versuchs keine sich verstärkende Wirkung beobachtet werden. Schwarzkopffameisen sind bei der Suche nach attraktiven Nahrungsressourcen deutlich aktiver und waren in einer Studie von LEE (2008) doppelt bis dreimal schneller an neuen Nahrungsquellen zu beobachten als *M. pharaonis*. Die schnelle Rekrutierung einer neuen

ertragreichen Nahrungsquelle führte wahrscheinlich dazu, dass der beschwerlichere Weg über die repellierende Substanz im Laufe des Versuchs mehr und mehr aufgegeben wurde.

In Versuchen mit Substanzen mit schwacher oder gar keiner repellierenden Wirkung zeigten sich in beiden Systemen große Streuungen zwischen den Replikaten, aber besonders groß waren die Streuungen im *simulated use*-Test. Möglicherweise gab es hier, dadurch dass die Wirkung des Repellents nur schwach und erträglich für die Tiere war, eine hohe interindividuelle Variabilität bei der Überquerung der Substanzen.

Die Streuung zwischen den einzelnen Replikaten war dagegen weniger stark in Versuchen mit Substanzen, die eine stark repellierende Wirkung auf die Ameisen hatten. Das Vermeiden der Überquerung von stark repellierenden Substanzen war zwar auch unterschiedlich, aber je stärker die Substanz wirkte, umso geringer war der Einfluss individueller Entscheidungen einzelner Ameisen.

Auch die Replikate der Kontrollen in diesem System waren stärker gestreut als im *forced choice*-Test. Dies kann daran liegen, dass durch die ständige Suche nach neuen Nahrungsquellen auch direkt von Beginn an Arbeiterinnen über die neu geöffnete Brücke gelangten. Da aber der in der Eingewöhnungszeit schon genutzte Weg weiterhin zu einer attraktiven Nahrungsquelle führte, wurde er durchgehend stärker frequentiert.

4.3.1.4 Vergleich von *T. melanocephalum* und *M. pharaonis*

Bis auf DEET, das beide Arten gleich stark repellierte, ergaben sich zum Teil Unterschiede zwischen *M. pharaonis* und *T. melanocephalum*. Schwarzkopfameisen wurden von allen anderen Substanzen stärker repelliert als Pharaoameisen. Für Pharaoameisen waren Seesand, Natron und Margosa 10 % nicht repellierend, Schwarzkopfameisen mieden diese Substanzen häufiger. Die stark repellierenden Substanzen Margosa 100 %, Zimtpulver und Zimtöl repellierte beide Arten nahezu gleich stark, *T. melanocephalum* wurde aber auch hier noch etwas stärker repelliert.

Dass unterschiedliche Insektenarten auch unterschiedlich auf die gleichen repellierenden Substanzen reagieren, ist bekannt (PETERSON und COATS 2001). Dies konnte in den vorliegenden Versuchen auch für Ameisen bestätigt werden. Für Wirksamkeitsprüfungen von Ameisenrepellentien sollte daher empfohlen werden, dass diese stets mit dem jeweiligen Zielorganismus durchgeführt werden müssen und eine Übertragbarkeit der Daten für andere Arten nicht ohne weiteres möglich ist.

Für die Wirksamkeitsnachweise, die für die Zulassung nach Biozid-Verordnung verlangt werden, sollte ein *simulated use*-Test gefordert werden. Dieser zeigt deutlicher, wie eine Substanz im Laufe der Anwendung ihre Wirkung auf die Ameisen verändert, sei es eine Abschwächung oder Verstärkung. Auch ist es wichtig, dass die Ameisen in einer Situation sind, in der sie die Versorgung von Königinnen und Volk übernehmen müssen und die damit der Situation in der Praxis nahekommt. Mit diesem Testsystem ist ebenfalls eine Aussage über die Wirkdauer eines Repellents möglich. Wichtig ist, dass die Ameisen, wie es meistens in der Praxis der Fall ist, alternative Nahrungsquellen oder Wege zur selben Nahrungsquelle nutzen können. Das sollte in einem Versuchsdesign für die Wirksamkeitsprüfung von Mitteln, die auf den Markt gebracht werden sollen, berücksichtigt werden.

Der *forced choice*-Test kann genutzt werden, um überhaupt einen Eindruck der Wirkung einer Substanz auf die Ameisen zu erhalten. Er ist schnell und einfach durchführbar. Auch kann er eingesetzt werden, um viele verschiedene Substanzen innerhalb kurzer Zeit auf Wirksamkeit gegen Ameisen zu screenen oder um verschiedene Belagsalterungen einer Substanz auf Wirksamkeit zu überprüfen. Um nur die repellente Wirkung eines Stoffes zu testen, ist dies eine gute Variante, möglicherweise auch mit nur einer mit dem Repellent behandelten Brücke.

DEET wirkte sehr stark repellierend auf alle drei Ameisenarten in beiden Testsystemen und im *simulated use*-Test über die gesamte Versuchsdauer von 48 h. DEET ist dafür bekannt, ein breites Spektrum an Arten zu repellieren (HOFMANN 2015). Auch gegen die rote Feuerameise *Solenopsis invicta* wurde eine repellierende Wirkung festgestellt, die aber schon nach 24 h nachließ und nach 48 h in der mit DEET behandelten Region sogar mehr Ameisen als in der Kontrollregion zu finden waren (ANDERSON et al. 2002). Dies widerspricht den Ergebnissen der hier vorgestellten Versuche, da DEET eine andauernd repellierende Wirkung über den Versuchszeitraum von 48 h zeigte.

Für den Einsatz von Hausmitteln zur Ameisenabwehr erscheint von den getesteten Substanzen das größte Potential als Repellent bei Zimt zu liegen. Der Geruch von Zimt wirkte stark repellierend auf alle drei getesteten Arten, unabhängig von der Konsistenz der Substanz. Backpulver bzw. Natron dagegen wirkte nur auf *T. melanocephalum* leicht repellierend, was vor allem auf die pulverige Substanz zurückgeführt werden kann, da es wie Seesand geruchlos ist. Dieser wirkte ebenfalls auf diese Art leicht repellierend. Pharaoameisen und Wegameisen liefen dagegen problemlos über die Natron-Barriere. Unverdünntes Margosa hatte einen stark repellierenden Effekt auf alle drei Arten. Als Anwendungsempfehlung gegen Flöhe und Zecken für Haustiere werden aber eine 10-fache Verdünnung für Spot-ons und eine 100-fache Verdünnung für

Sprays zum direkten Auftragen gegeben. Ob für Flöhe und Zecken eine repellierende Wirkung hervorgerufen wird, kann aus den hier durchgeführten Versuchen nicht abgeleitet werden, aber mit der 10-fachen Verdünnung, welche die höhere der beiden empfohlenen Verdünnungsvarianten des Herstellers ist, wurde zumindest keine der drei getesteten Ameisenarten ferngehalten. PETERSON und COATS (2001) zeigten, dass Repellentien unterschiedlich auf verschiedene Insektenarten wirken und so zeigten Studien eine stark repellierende Wirkung von Neem auf die rote Feuerameise *S. invicta* (ANDERSON et al. 2002). Auch für den Einsatz gegen *Anopheles* sp. wurde in Studien die positive Wirkung gezeigt (SHARMA et al. 1993, CARABALLO 2000), wohingegen in anderen Studien eine relativ schwache repellierende Wirkung für die Mückenarten *Aedes albopictus*, *Culex nigripalpus*, und *Ochlerotatus triseriatus* (BARNARD und XUE 2004) sowie *Anopheles darlingi* (MOORE et al. 2002) gezeigt wurde, die sofern sie vorhanden war nach kurzer Zeit nachließ.

Eine Anwendung des unverdünnten Margosa-Extrakts ist nicht empfehlenswert, da die Konsistenz insgesamt sehr ölig und schon bei Raumtemperatur klumpig ist.

4.3.2 Repellentienversuche mit Bettwanzen

Für die Repellentienversuche mit Bettwanzen wurden Substanzen eingesetzt, die auf dem Markt erhältlich sind und die verschiedene Arthropoden nachweislich repellieren. DEET ist dabei die Substanz, die das größte Wirkungsspektrum bei Arthropoden hat und zur Anwendung auf der Haut eingesetzt wird. Icaridin wird ebenfalls auf der Haut angewendet und wirkt vergleichbar wie DEET. Das getestete Mittel mit Permethrin ist als Insekten- und Zeckenschutz für die Imprägnierung der Kleidung gedacht und soll bis zu vier Wochen vor Stichen schützen. Weiterhin wurden Zimtöl, das in den vorher beschriebenen Versuchen eine sehr starke repellierende Wirkung auf Ameisen hatte und Margosa 10 % mit einer sehr geringen bis gar keiner Wirkung auf Ameisen für die Versuche mit Bettwanzen eingesetzt.

Für DEET, Icaridin und Permethrin wurden bereits Versuche zur repellierenden Wirkung bei Bettwanzen von WANG et al. (2013) durchgeführt. In diesen Versuchen waren die Anteile der Wirkstoffe allerdings geringer als bei den hier verwendeten Produkten. DEET war bei WANG et al. (2013) wie auch in den Versuchen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden, das stärkste Mittel gegen Bettwanzen. WANG et al. (2013) zeigten in ihren Versuchen, dass je höher die Konzentration von DEET war (5 %, 10 % und 25 %), desto stärker war die Wirkung. In seiner stärksten Konzentration behielt es seine repellierende Wirkung 21 Tage. Der Vergleich der drei Repellentien fand bei WANG et al. (2013) in Petrischalen statt, die halbierte Filterpapiere beinhalteten. Davon war eine Hälfte Filterpapier jeweils mit der Substanz

behandelt und direkt daneben lag die unbehandelte Kontrollhälfte. Die Bettwanzen konnten sich zwischen diesen beiden Hälften entscheiden, auf der behandelten Hälfte wurde zusätzlich ein Versteck aus gefaltetem Papier angeboten. Dieser Versuchsaufbau ähnelt dem in diesen Versuchen genutzten *forced choice*-Test.

4.3.2.1 *Forced choice*-Test

Der *forced choice*-Test stellte die Situation nach, wenn Bettwanzen auf der Suche nach einem geeigneten Versteck die Wahl zwischen einem mit Repellent behandelten und einem unbehandeltem Versteck haben ohne den Einfluss eines Wirtes. Durch die Beobachtung innerhalb der ersten Stunde des Versuchs wurde gut erkannt, welche Substanz von den Bettwanzen sofort stark gemieden wurde. So gab es in den Versuchen mit DEET, Icaridin und Zimtöl nahezu keine Kontakte der Bettwanzen mit dem behandelten Filterpapier. Wenn also eine Bettwanze auf der Suche nach einem geeigneten Versteck z. B. auf ein mit diesen Mitteln behandeltes Gepäckstück trifft, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie über diese Fläche läuft und dort nach einem Versteck weitersucht, eher gering. In den Versuchen mit Permethrin- und Margosa-behandelten Verstecken gab es Bettwanzen-Kontakte innerhalb der ersten Stunde des Versuchs. Hier war die repellierende Wirkung nicht stark genug, um generell Kontakte mit dem behandelten Filterpapier zu vermeiden. Wäre also ein Gepäckstück mit diesen Substanzen behandelt, wäre die Wahrscheinlichkeit weiterhin vorhanden, dass eine Bettwanze über eine Barriere läuft und sich im Inneren ein Versteck sucht.

Nach 24 Stunden lag der Anteil der Bettwanzen, die sich in mit DEET, Icaridin oder Zimtöl behandelten Verstecken aufhielten, bei weniger als 0,5 %. Der Anteil der in den unbehandelten Verstecken sitzenden Tiere lag hier bei mehr als 98 %. In den Versuchen mit Permethrin-behandelten Verstecken war der Anteil der im unbehandelten Versteck sitzenden Bettwanzen am niedrigsten, hier hielten sich über 9 % der Tiere außerhalb von Verstecken auf, fast 2 % befanden sich im behandelten Versteck. In den Versuchen mit Margosa saßen 96 % der eingesetzten Bettwanzen im unbehandelten Versteck und über 3 % der Tiere wurden im behandelten Versteck gefunden.

Anhand dieser Ergebnisse ist zu sehen, dass Bettwanzen DEET, Icaridin und Zimtöl meiden und sich in alternativen Verstecken sammeln. Permethrin scheint die Bettwanzen zwar ebenfalls zu repellieren, aber weniger stark. In einer Studie mit einem industriell mit Permethrin-impregnierten Stoff (550 mg/m²) wurde festgestellt, dass die Bettwanzen nicht repellierte wurden, durch zehnmündige Exposition zeigten die Weibchen hier sublethale Effekte in Form einer verminderten Eiablage rate sowie Nahrungsaufnahme (JONES et al. 2015). In den im Rahmen

dieser Arbeit durchgeführten Versuchen wurden diese möglichen Effekte nicht untersucht, auch wirkte Permethrin repellierend. Es wurde beobachtet, dass sich die Bettwanzen in den Versuchen mit Permethrin weniger arttypisch als bei den anderen Mitteln verhielten. Dies äußerte sich darin, dass sich viele der Tiere während des Versuchszeitraums und noch 24 h nach Exposition außerhalb der Verstecke aufhielten. Margosa wies ebenfalls eine weniger starke Wirkung gegen Bettwanzen auf, aber das Aggregieren innerhalb der Verstecke war deutlich arttypischer als in den Versuchen mit Permethrin. Für Permethrin-enthaltende Mittel, die darauf abzielen, Bettwanzen nicht zu repellieren, sondern durch den Kontakt mit dem Mittel zu töten, ist die leicht repellierende Wirkung dagegen eher nachteilig.

Mit diesen Versuchen konnten die Ergebnisse aus den Versuchen von WANG et al. (2013) insoweit bestätigt werden, dass DEET bei hoher Konzentration eine stark repellierende Wirkung gegen Bettwanzen hat. Die geringere Wirkung von Icaridin ließ sich hier nicht bestätigen, allerdings war die Konzentration im Produkt höher (20 %) als in dem von WANG et al. (2013) benutzten Produkt (7 %). Die Dosierung von Permethrin lag in den hier vorgestellten Versuchen bei 2 % und war damit ebenfalls höher als bei WANG et al. (2013) mit 0,5 %, die repellierende Wirkung war allerdings auch in den hier beschriebenen Versuchen geringer als bei DEET und Icaridin.

Ob dieses Testsystem ausreichend ist, um eine Situation, in der beispielsweise Gepäckstücke vor Bettwanzen, die ein neues Versteck suchen, zu simulieren, müsste durch weitere Versuche geprüft werden. Diese sollten als Testszenario Gepäckstücke wie Koffer oder Reisetaschen in einer größeren Versuchsarena, möglichst mit von Menschen getragenen Kleidungsstücken (HENTLEY et al. 2017) gepackt, frisch gesogenen Bettwanzen ausgesetzt werden. Sollten die daraus resultierenden Ergebnisse mit den hier erhaltenen vergleichbar sein, wäre das hier vorgestellte Testdesign eine einfache und schnell durchführbare Variante.

4.3.2.2 *Simulated use-Test*

Die in diesen Versuchen simulierte Situation war die der Wirtsfindung, da die Bettwanzen mit Wärme und CO₂ angelockt wurden. In den Kontrollen liefen etwa 70 % der in den Versuch eingesetzten Bettwanzen zum simulierten Wirt. Im Vergleich dazu hatte DEET die stärkste repellierende Wirkung, hier liefen nur 3 % der Bettwanzen zum Wirt. DEET war die einzige Substanz, über die signifikant weniger Tiere zum Wirt liefen als in den Kontrollreplikaten. Icaridin und Zimtöl waren etwa gleich stark in ihrer repellierenden Wirkung, hier liefen zwischen 20 % und 25% zum Wirt. Über die Permethrin-Barriere liefen etwa 30 % der Tiere und bei

Margosa waren es 40 %. Allerdings waren die Schwankungen vor allem bei Permethrin zwischen den Replikaten relativ groß, bei Icaridin lagen zwei Replikate dicht beieinander (etwa 20 % der gelaufenen Tiere) und das andere (etwa 45 % gelaufene Tiere) relativ weit weg von diesen Werten. Es wurden drei Replikate mit jeweils 100 Tieren, durchgeführt.

Von den in den Repellentienversuchen zum Wirt gelaufenen Tieren war die Mehrzahl weiblich, während in den Kontrollen das Verhältnis von gelaufenen Männchen und Weibchen annähernd ausgeglichen war. Eine Erklärung für diese Differenz wäre, dass Weibchen mehr auf Blutmahlzeiten angewiesen sind als Männchen und daher ein größeres Risiko eingehen, um zu einem Wirt zu gelangen. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass die Menge der gelegten Eier abhängig von der Menge des aufgenommenen Blutes ist und Weibchen von Männchen nur bis zu 36 h nach einer Blutmahlzeit begattet werden (MELLANBY 1939, STUTT und SIVA-JOTHY 2001).

Die stark repellierende Wirkung von DEET wurde ebenfalls von WANG et al. (2013) in einem ähnlichen Versuchsaufbau gezeigt. Es wurde in diesen Versuchen ein Bett mit Wirt simuliert, indem ein Tisch in eine große ausbruchssichere Schale gestellt wurde und eine CO₂-Quelle auf dem Tisch installiert wurde. DEET (25 %) wurde als Barriere an den Bettbeinen aufgebracht. In den Versuchen von WANG et al. (2013) mit vier Replikaten, einer Photoperiode von 12:12 h und jeweils 100 Männchen überquerten etwa 1 % der Bettwanzen jeweils zu zwei verschiedenen Beobachtungszeitpunkten innerhalb von 9 h Versuchsdauer diese Barriere. Da die im Rahmen der vorliegenden Arbeit beschriebenen Versuche nur nach 24 h kontrolliert wurden, ist diese genauere Differenzierung nicht möglich, aber 3 % Bettwanzen in 24 h Versuchsdauer und kompletter Dunkelheit scheinen vergleichbar mit den von WANG et al. (2013) erzielten Ergebnissen zu sein.

4.3.2.3 Vergleich von *forced choice*-Test und *simulated use*-Test

In der Wirtssimulation wirkten die Repellentien deutlich schwächer repellierend als in den *forced choice*-Tests, die Bettwanzen mieden die behandelte Oberfläche weniger stark als bei der Verstecksuche. Dies war bei allen verwendeten Substanzen zu beobachten. In den Versuchen mit DEET war der Unterschied aber am geringsten zwischen beiden Testsystemen. Die im *forced choice*-Test erhaltenen Repellenzwerte für Zimtöl und Icaridin waren sehr hoch, im *simulated use*-Test wirkten die beiden Substanzen weniger stark repellierend.

In diesen Versuchen zeigte sich, dass es möglich erscheint, mit Repellentien Bettwanzen davon abzuhalten, Gegenstände wie Koffer, Taschen usw. als Verstecke zu nutzen und somit in andere

Wohnungen zu verschleppen. Repellentien scheinen aber als Flächenanwendung um Betten oder andere Schlafstätten herum, generell nicht zuverlässig vor Bettwanzenstichen zu schützen. Für Wirksamkeitsprüfungen im Rahmen der Biozidrichtlinie sollten je nach Anwendungsempfehlung des Herstellers Tests verlangt werden, die die Situation des Mitteleinsatzes widerspiegeln. Bei einem Repellent, welches für die Anwendung gegen Stiche von Bettwanzen empfohlen wird, muss in der Wirksamkeitsprüfung eine Wirtssimulation stattfinden. Nur so kann gewährleistet werden, dass das Mittel der sehr starken Anlockung durch Wärme, CO₂ und Wirtskairomone entgegenwirken kann. Außerdem sollten in den Versuchen Bettwanzen verwendet werden, die ihre letzte Blutmahlzeit bereits verdaut haben und daher eine größere Notwendigkeit haben, einen Wirt aufzusuchen. Wichtig ist ebenfalls, dass gemischte Populationen oder Weibchen verwendet werden, da sich in diesen Versuchen zeigte, dass vor allem Weibchen den Weg über repellierende Bereiche gehen, wenn dort ein Wirt zu finden ist.

4.4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

4.4.1 Versuche zu Fraßködern und Monitoringsystemen mit Schaben

Fraßköder wirken in 1-Kastensystemen wie in 2-Kastensystemen gleich, die Größe des Testsystems ist kein beeinflussender Parameter in der Prüfung. Dagegen sollte die Populationszusammensetzung für Wirksamkeitsprüfungen einheitlich vorgegeben werden, um Einflüsse durch unterschiedlich zusammengesetzte Testpopulationen zu vermeiden. Weitere Versuche wären wichtig, um Erkenntnisse zur optimalen Populationszusammensetzung für diese Prüfungen zu erhalten. Auch die Position des Köders hat einen Einfluss auf das Testergebnis und sollte vorgegeben werden, eine Positionierung im gleichen Abstand wie das ungiftige Alternativfutter ist sinnvoll. Eine einheitliche Vorgabe zur Futtergabe vor der Anbietung des Köders ist wichtig, da Hungerphasen die Köderannahme beeinflussen. Eine einheitliche Versteckgröße ist empfehlenswert, da auch hierdurch ein Einfluss auf die Prüfung hervorgerufen werden kann. Die Expositionszeit von drei Wochen ist ausreichend, um mit Fraßködern die verlangte Mortalität von 90 % zu erreichen und so die Wirksamkeit von verschiedenen Ködern zu erkennen. Eine längere Versuchszeit würde auch schlechter wirkende Köder als positiv bewertbar machen. Die Wirksamkeitsnachweise sollten mit den jeweiligen Zieltieren erbracht werden.

Klebefallen und die mit ihnen angewandten Lockstoffe wirken artspezifisch auf die verschiedenen Schabenarten und sollten möglichst für die jeweilige Art getestet werden. Besonders kleine Befälle von amerikanischen und deutschen Schaben sind schwer durch die Anwendung von Klebefallen nachweisbar. Der Einsatz eines Prototyps eines kamerabasierten

Detektionssystems zeigte, dass diese Art des Monitorings ein großes Potential hat, effektiv den Befall mit Schädlingen nachzuweisen. Der Nachweis der Wirksamkeit dieser Monitoringsysteme sollte unter reproduzierbaren Bedingungen erfolgen, d. h. mit bekannter Populationsgröße in gleich gestalteten Versuchsräumen, in denen ein Befall simuliert werden kann.

4.4.2 Fraßköderversuche mit tropischen Ameisen

Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern gegen tropische Ameisen sollten in 1-Kammersystemen durchgeführt werden. Die Größe der Arenen hat keinen signifikanten Einfluss auf die Dauer bis zur Tilgung, wenn die Lauffläche zwischen 2300 cm² und 4860 cm² und die Distanz zwischen Nest und Futter sowie Giftköder von 25 cm und 50 cm beträgt. Empfehlenswert sind allerdings kleine Arenen, da hier die Wahrscheinlichkeit von Nestverlegungen minimiert wird. Eine maximale Expositionszeit sollte nicht länger als 100 Tagen betragen. Ein wichtiger, die Annahme eines Köders, beeinflussender Parameter ist die Zusammensetzung des ungiftigen Alternativfutters vor und während der Expositionszeit, auch Hungerphasen vor der Gabe des Köders sollten vermieden werden, um die Annahme des Köders nicht zu beeinflussen. Die Prüfung mit der jeweiligen Zieltierart ist empfehlenswert, da es Unterschiede in der Wirkung und Annahme eines Köders zwischen verschiedenen Ameisenarten gibt.

4.4.3 Repellentienversuche mit Ameisen

Für Wirksamkeitsprüfungen von Repellentien gegen Ameisen ist die Verwendung eines *simulated use*-Tests empfehlenswert, in dem das Ameisenvolk mit Nahrung versorgt werden muss. Wichtige Erkenntnisse, wie sich die Wirkung des Repellents im Laufe der Zeit verändert bzw. die Ameisen ihr Verhalten ändern, sind nur so zu ermitteln. Eine Eingewöhnungszeit von etwa einer Woche ist wichtig, damit die Ameisen die Nahrungsquelle und den Weg dorthin ausreichend mit Pheromonen markieren können, der später mit dem Repellent versperrt werden soll. Das Anbieten alternativer Nahrungsquellen oder Wege zur Nahrungsquelle sind sinnvoll, da dies die Situation in der Praxis widerspiegelt. Der Expositionszeitraum sollte angepasst an die Herstellerangaben für die Wirksamkeitsdauer des Produkts sein. Je nach Größe und Aktivität des Ameisenvolkes sind die Beobachtungszeiträume variabel. Auf Grund der artspezifischen Unterschiede in der Wahrnehmung von Repellentien wären Wirksamkeitsnachweise entweder mit jeder Zieltierart oder zumindest mit einer großen Bandbreite von Arten empfehlenswert.

4.4.4 Repellentienversuche mit Bettwanzen

Für Wirksamkeitsprüfungen im Rahmen der Biozidzulassung sollten je nach Anwendungsempfehlung des Herstellers Wirksamkeitsprüfungen für die jeweilige Situation, in der das Repellent eingesetzt werden soll, verlangt werden. Bei einem Repellent, welches für die Anwendung gegen Stiche von Bettwanzen empfohlen wird, muss in der Wirksamkeitsprüfung eine Wirtssimulation mit Wärme und CO₂ stattfinden. In den Wirksamkeitsprüfungen sollten Bettwanzen verwendet werden, die ihre letzte Blutmahlzeit bereits verdaut haben. Wichtig ist ebenfalls, dass Männchen und Weibchen für die Prüfungen verwendet werden. Der Versuch sollte bei Dunkelheit stattfinden.

Für Produkte, die Bereiche oder Gegenstände vor nach Verstecken suchenden Bettwanzen schützen sollen, sind Wahlversuche mit mehreren Versteckmöglichkeiten, wovon eines mit dem Repellent behandelt ist, zu empfehlen. Auch in diesen Versuchen sollten gemischtgeschlechtliche Populationen eingesetzt werden.

5 Zusammenfassung

Es wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Testverfahren zur Wirksamkeitsprüfung entwickelt und verglichen. Die Ergebnisse dieser Arbeit können genutzt werden, um in behördlichen Vorgaben, wie z. B. in der Biozidzulassung oder dem IfSG-Listungsverfahren, einheitlichere Standards zu verankern und so eine bessere Bewertung der Produkte zu ermöglichen.

Es konnte mit *B. germanica* und *P. americana* und zwei unterschiedlich formulierten Borsäureködern festgestellt werden, dass in Fraßköderprüfungen die Größe der Testarena und zugleich der Abstand zwischen Köder und Versteck keinen signifikanten Unterschied auf den Verlauf und die Ergebnisse der Prüfungen hatte. Die Zusammensetzung der Testpopulation dagegen hatte einen Einfluss auf den Versuchsverlauf. Eine Mortalität von 50 % der Versuchstiere wurde bei beiden Arten in den gemischten Populationen (Juvenile und Adulte) schneller erreicht als in juvenilen Testpopulationen, die Unterschiede lagen zwischen drei (*B. germanica*) und elf (*P. americana*) Tagen in den Wahlversuchen. In den Versuchen mit *B. germanica* erreichten allerdings juvenile Testpopulationen eine Mortalität von 95 % bis zu vier Tage schneller als gemischte Populationen. In Versuchen mit *P. americana* dagegen erreichten gemischte Testpopulationen eine Mortalität von 95 % bis zu 14 Tage schneller als juvenile Testpopulationen.

In einem *simulated use*-Test zur Prüfung der Effizienz von Monitoringsystemen für Schaben konnte gezeigt werden, dass verschiedene Klebefallenmodelle unterschiedlich effektiv waren. So gab es eine Klebefalle, die keines der eingesetzten Tiere von *B. germanica*, *P. americana* und *B. orientalis* fing, bei einem anderen Modell wurde von jeder der drei getesteten Schabenarten mindestens ein Tier gefangen. Die Klebefallen detektierten am zuverlässigsten *B. orientalis*, bei zwei Modellen wurden 50 % und bis über 90 % der eingesetzten Tiere gefangen. Für die beiden anderen Arten dagegen waren sie weniger effektiv, die Fangraten lagen bei *B. germanica* bei maximal 30 %, von *P. americana* wurden weniger als 10 % der Tiere gefangen. Ein Vergleich zwischen dem Kamerasystem zur Schabendetektion und den Klebefallen zeigte, dass das Kamerasystem auch bei kleinen Befällen (im Test drei Tiere einer Schabenart) eine zuverlässige Detektion aller drei Schabenarten ermöglichte.

Für *T. melanocephalum* und *M. pharaonis* konnte gezeigt werden, dass für die Durchführung von Wirksamkeitsprüfungen von Fraßködern 1-Kammersysteme gegenüber Mehrkammersystemen zu bevorzugen sind auf Grund des mobilen Nistverhaltens der Ameisen. Die Distanz

zwischen Nest und Köder kann in diesen 1-Kammersystemen variieren, ohne dass sich signifikante Unterschiede in der Dauer bis zur Tilgung in der Prüfung ergeben.

Die Wirkung der Köder, die in den Versuchen angewendet wurden, ergab signifikante Unterschiede in der Dauer bis zur Tilgung für beide Arten. Mit einem Köder konnten alle Tiere in den Versuchen getilgt werden, mit dem anderen Köder war dies nicht der Fall.

Ein im Rahmen dieser Arbeit entwickelter *simulated use*-Test für die Wirksamkeitsprüfung von Repellentien gegen Ameisen zeigte die unterschiedliche Wirkung der verschiedenen Substanzen auf die Ameisenarten innerhalb der Expositionszeit von 48 h. Ein Vergleich des Anteils der repellierte Ameisen mit denen aus einem *forced choice*-Test zeigte teilweise Unterschiede auf Grund des Testdesigns. Außerdem gab es artspezifische Unterschiede der Wirkung der Substanzen auf *T. melanocephalum* und *M. pharaonis*.

Für Bettwanzen wurden zwei Testsysteme zur Wirksamkeitsprüfung von Repellentien miteinander verglichen, dies waren die Simulation eines Wirts sowie die Suche nach einem Versteck. Es zeigte sich, dass die Abwehr von Bettwanzen von Bereichen oder Gegenständen eine realisierbare Situation darstellt als die Abwehr vor Bettwanzenstichen.

DEET ebenso wie Zimtöl zeigten sich gegen Ameisen und Bettwanzen als stark repellierende Mittel. Hausmittel wie Backpulver gegen Ameisen hatten dagegen je nach Ameisenart nur eine geringe bis gar keine repellierende Wirkung.

6 Summary

The aim of this study was the development and comparison of different testing systems for the efficacy evaluation of insecticides against ants and cockroaches, repellents against ants and bed bugs, and also monitoring systems for the detection of an infestation with cockroaches. Efficacy trials were performed with the bed bug, *Cimex lectularius*, three different species of cockroaches and two different species of ants.

The results obtained will be relevant for the standardisation of testing for the authorisation of biocides as well as for the registration of products according to § 18 of the German Infection Protection Act (Infektionsschutzgesetz). This standardisation shall enable an improved assessment of these products.

Bait choice trials were conducted with the cockroach species *B. germanica* and *P. americana* with two different formulations containing boric acid. Neither the size of the arena nor the distance between bait and harbourage influenced the outcome of the trials in a significant way. However, the composition of the insect population did have an impact on the trial, as the mortality of 50 % was reached earlier in mixed aged populations (juveniles and adults) than in homogeneously juvenile populations for both species, differences between three (*B. germanica*) and eleven (*P. americana*) days occurred in choice trials. For *B. germanica*, mixed populations reached the mortality of 95 % about four days later than juvenile populations. For *P. americana*, the mortality of 95 % was also reached up to 14 days earlier with mixed populations than with juvenile populations.

The efficacy of sticky traps for monitoring purposes as well as a camera system to detect the presence of cockroaches were tested in a simulated-use trial. The different types of sticky traps yielded varying efficacy rates: one of the sticky traps did not catch one single *B. germanica*, *P. americana* or *B. orientalis* cockroach, whereas a different sticky trap caught at least one individual of each species. The sticky traps caught most reliably *B. orientalis*, with two different trap types reaching capturing rates of 50 % and 90 %. However, for the other two species, capturing rates were lower, and a maximum of only 30 % was reached for *B. germanica*, for *P. americana* the capturing rate was lower than 10 %.

A comparison of the camera system and the sticky traps showed that the camera system detected even small infestations (testing was performed with three individuals of each species) with a higher reliability than the sticky traps.

Results of the bait choice trials with ants (*T. melanocephalum* and *M. pharaonis*) showed that one-chamber-systems should be used instead of multi-chamber-systems because of their mobile nesting behaviour. Variations in the distance between bait and nest do not influence significantly the course or outcome of the trial. However, the efficacy of the bait products yielded significantly different results for the time needed to achieve eradication. One of the baits reached an eradication of both ant species, the other did not.

The use of multi-chamber-systems with rubber hose connections resulted as not suitable for *T. melanocephalum*, as this species exhibits a very mobile nesting behaviour and will build nests in any available structure. Trial set-ups taking into account the distance between bait and nest are therefore very difficult to replicate.

A novel simulated-use trial for efficacy testing of repellents against ants was developed. The system showed different repellency rates of the tested substances for *T. melanocephalum* and *M. pharaonis* in the trial period of 48 h. Its results were compared to the results of a *forced-choice* test, and differences of the rates of repelled ants caused by the test design were detectable.

Furthermore, differences in the repellency rates were found, which could be attributed to the two different ant species.

For bed bugs, two systems for testing the efficacy of repellents were compared. One simulated the human host and the other the situation of searching for a hiding place. Results indicated that repelling bed bugs from areas or objects is more easily feasible than repelling them from a human host.

The substances DEET and cinnamon oil were found to be suitable as repellents against bed bugs and ants. Traditionally used substances such as baking powder, in contrast, showed little or no repellent effect, depending on the ant species.

7 Literatur

- AAK, A., RUKKE, B. A., SOLENG, A. und ROSNES, M. K.** (2014). "Questing Activity in Bed Bug Populations: Male and Female Responses to Host Signals." *Physiological Entomology* 39: 199-207.
- ABD-ELGHAFAR, S. F., APPEL, A. G. und MACK, T. P.** (1990). "Toxicity of Several Insecticide Formulations Against Adult German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 83: 2290-2294.
- ADAMS, A., KUNKEL, S., DODD, G. und HÖBEL, S.** (1999). "Method and Procedure for Evaluating Biological Performance of Pharaoh Ants, *Monomorium pharaonis* (Hymenoptera: Formicidae), Baits." *Proceedings of the 3rd International Conference on Urban Pests*: 203-209.
- AME, J.-M., RIVAULT, C. und DENEUBOURG, J.-L.** (2004). "Cockroach Aggregation Based on Strain Odour Recognition." *Animal Behaviour* 68: 793-801.
- ANDERSON, J. T., THORVILSON, H. G. und RUSSELL, S. A.** (2002). "Landscape Materials as Repellents of Red Imported Fire Ants." *Southwestern Entomologist* 27: 155-163.
- APPEL, A. G.** (1992). "Performance of Gel and Paste Bait Products for German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) Control: Laboratory and Field Studies." *Journal of Economic Entomology* 85: 1176-1183.
- APPEL, A. G.** (2003). "Laboratory and Field Performance of an Indoxacarb Bait Against German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 96: 863-870.
- APPEL, A. G. und BENSON, E. P.** (1995). "Performance of Abamectin Bait Formulations Against German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 88: 924-931.
- APPEL, A. G. und RUST, M. K.** (1986). "Time-activity Budgets and Spatial Distribution Patterns of the Smokybrown Cockroach, *Periplaneta fuliginosa* (Dictyoptera: Blattidae)." *Annals of the Entomological Society of America* 79: 104-108.
- APPEL, A. G., SIMS, S. R. und EVA, M. J.** (2008). "Factors Affecting Coprophagy and Necrophagy by the German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae)." *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Pests*: 139-142.
- ASH, N. und GREENBERG, B.** (1980). "Vector Potential of the German Cockroach (Dictyoptera: Blattidae) in Dissemination of *Salmonella enteritidis* Serotype *Typhimurium*." *Journal of Medical Entomology* 17: 417-423.
- BARNARD, D. R. und XUE, R.-D.** (2004). "Laboratory Evaluation of Mosquito Repellents Against *Aedes albopictus*, *Culex nigripalpus*, and *Ochlerotatus triseriatus* (Diptera: Culicidae)." *Journal of Medical Entomology* 41: 726-730.
- BARTH, R. H.** (1970). "The Mating Behavior of *Periplaneta americana* (Linnaeus) and *Blatta orientalis* Linnaeus (Blattaria, Blattinae), with Notes on 3 additional Species of *Periplaneta*

and Interspecific Action of Female Sex Pheromones." *Zeitschrift für Tierpsychologie* 27: 722–748.

BEATSON, S. (1972). "Pharaoh's Ants as Pathogen Vectors in Hospitals." *The Lancet* 1: 425-427.

BECCALONI, G. W. (2014). "Cockroach Species File Online." Version 5.0/5.0. World Wide Web electronic publication. <<http://Cockroach.SpeciesFile.org>> [accessed 11 July 2014*].

BELL, J., PARSONS, C. und MARTINKO, E. A. (1972). "Cockroach Aggregation Pheromones: Analysis of Aggregation Tendency and Species Specificity (Orthoptera: Blattidae)." *Journal of the Kansas Entomological Society* 45: 414-421.

BELL, W. J., BURK, T. und SAMS, G. R. (1973). "Cockroach Aggregation Pheromone: Directional Orientation." *Behavioral Biology* 9: 251-255.

BELL, W. J., ROTH, L. M. und NALEPA, C. A. (2007). *Cockroaches: Ecology, Behavior, and Natural History*. Baltimore, USA, The Johns Hopkins University Press.

BLOOMQUIST, J. R. (2003). "Chloride Channels as Tools for Developing Selective Insecticides." *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 54: 145-156.

BRENNER, B. L., MARKOWITZ, S., RIVERA, M., ROMERO, H., WEEKS, M., SANCHEZ, E., DEYCH, E., GARG, A., GODBOLD, J., WOLFF, M. S., LANDRIGAN, P. J. und BERKOWITZ, G. (2003). "Integrated Pest Management in an Urban Community: A Successful Partnership for Prevention." *Environmental Health Perspectives* 111: 1649-1653.

BUCZKOWSKI, G., KOPANIC, R. J. und SCHAL, C. (2001). "Transfer of Ingested Insecticides Among Cockroaches: Effects of Active Ingredient, Bait Formulation, and Assay Procedures." *Journal of Economic Entomology* 94: 1229-1236.

BUCZKOWSKI, G., SCHARF, M. E., RATLIFF, C. R. und BENNETT, G. W. (2005). "Efficacy of Simulated Barrier Treatments Against Laboratory Colonies of Pharaoh Ant." *Journal of Economic Entomology* 98: 485-492.

BURTON, G. J. (1963). "Bedbugs in Relation to Transmission of Human Diseases." *Public Health Reports* 78: 513-524.

CAMPOS-FARINHA, A. E. d. C. (2005). "Urban Pest Ants of Brazil (Hymenoptera: Formicidae)." *Proceedings of the 5th International Conference on Urban Pests*: 81-84.

CARABALLO, A. J. (2000). "Mosquito Repellent Action of Neemos." *Journal of the American Mosquito Control Association* 16: 45-46.

CARTWRIGHT, R. Y. und CLIFFORD, C. M. (1973). "Pharaoh's Ants." *The Lancet* 302: 1455-1456.

CHONG, A., CHONG, N. L., YAP, H. H. und LEE, C. Y. (2002). "Effects of Starvation on Nutrient Distribution in the Pharaoh Ant, *Monomorium pharaonis* (Hymenoptera: Formicidae) Workers and Various Larval Stages." *Proceedings of the 4th International Conference on Urban Pests*: 121-128.

- COCHRAN, D. G.** (1983). "Food and Water Consumption during the Reproductive Cycle of Female German Cockroaches." *Entomologia Experimentalis et Applicata* 34: 51-57.
- COCHRAN, D. G.** (1995). "Toxic Effects of Boric Acid on the German Cockroach." *Experientia* 51: 561-563.
- COCHRAN, D. G.** (1999). *Cockroaches: Their Biology, Distribution and Control*. Genf, Schweiz, WHO.
- CSUK, R., TAMBA, M. G. und KLUGE, R.** (2011). "Locking Out Ants - Synthesis and Biological Evaluation of Some Fluorinated Repellents." *Zeitschrift für Naturforschung* 66: 1069-1075.
- DAMBACH, M. und GOEHLEN, B.** (1999). "Aggregation Density and Longevity Correlate with Humidity in First-Instar Nymphs of the Cockroach (*Blattella germanica* L., Dictyoptera)." *Journal of Insect Physiology* 45: 423-429.
- DANI, F. R., CANNONI, S., TURILLAZZI, S. und MORGAN, E. D.** (1996). "Ant Repellent Effect of the Sternal Gland Secretion of *Polistes dominulus* (Christ) and *P. sulcifer* (Zimmermann). (Hymenoptera: Vespidae)." *Journal of Chemical Ecology* 22: 37-48.
- DAVIS, E. E.** (1980). "Neurophysiological Study of Vector Responses to Repellents." SRI International, Menlo Park, California.
- DELAUNAY, P., BLANC, V., DEL GIUDICE, P., LEVY-BENCHETON, A., CHOSIDOW, O., MARTY, P. und BROUQUI, P.** (2011). "Bedbugs and Infectious Diseases." *Clinical Infectious Diseases* 52: 200-210.
- DEMARK, J. J. und BENNETT, D.** (1994). "Diel Activity Cycles in Nymphal Stadia of the German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 87: 941-950.
- DEWEY, J. E.** (1942). "The Relative Effectiveness of Dust Mixtures Against the German Cockroach." *Journal of Economic Entomology* 35: 256-261.
- DITZEN, M., PELLEGRINO, M. und VOSSHALL, L. B.** (2008). "Insect Odorant Receptors Are Molecular Targets of the Insect Repellent DEET." *Science* 319: 1838-1842.
- DOGGETT, S. L., DWYER, D. E., PENAS, P. F. und RUSSELL, R. C.** (2012). "Bed Bugs: Clinical Relevance and Control Options." *Clinical Microbiology Reviews* 25: 164-192.
- DOWNER, R. G. H.** (1981). *Fat Body and Metabolism. The American Cockroach*. BELL, W. J. und ADIYODI, K. G. Dordrecht, Springer Netherlands: 151-174.
- DRAKOU, C. E., TSITSANOU, K. E., POTAMITIS, C., FESSAS, D., ZERVOU, M. und ZOGRAPHS, S. E.** (2017). "The Crystal Structure of the AgamOBP1*Icaridin Complex Reveals Alternative Binding Modes and Stereo-Selective Repellent Recognition." *Cellular and Molecular Life Sciences* 74: 319-338.
- DURIER, V. und RIVAULT, C.** (2000a). "Learning and Foraging Efficiency in German Cockroaches, *Blattella germanica* (L.) (Insecta: Dictyoptera)." *Animal Cognition* 3: 139-145.

- DURIER, V. und RIVAULT, C.** (2000b). "Secondary Transmission of Toxic Baits in German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 93: 434-440.
- DURIER, V. und RIVAULT, C.** (2001). "Effects of Spatial Knowledge and Feeding Experience on Foraging Choices in German Cockroaches." *Animal Behaviour* 62: 681-688.
- DURIER, V. und RIVAULT, C.** (2002). "Influence of a Novel Object in the Home Range of the Cockroach, *Blattella germanica*." *Medical and Veterinary Entomology* 16: 121-125.
- DUSSUTOUR, A., DENEUBOURG, J. L. und FOURCASSIE, V.** (2005). "Amplification of Individual Preferences in a Social Context: The Case of Wall-Following in Ants." *Proceedings. Biological Sciences* 272: 705-714.
- EBELING, W., WAGNER, R. E. und REIERSON, D. A.** (1966). "Influence of Repellency on the Efficacy of Blatticides. I. Learned Modification of Behavior of the German Cockroach." *Journal of Economic Entomology* 59: 1374-1388.
- ECHA** (2017). "Guidance on the Biocidal Products Regulation, Volume II Efficacy - Assessment and Evaluation (Parts B+C)."
- EDWARDS, J. P. und ABRAHAM, L.** (1990). "Changes in Food Selection by Workers of the Pharaoh's Ant, *Monomorium pharaonis*." *Medical and Veterinary Entomology* 4: 205-211.
- EDWARDS, J. P. und BAKER, L. F.** (1981). "Distribution and Importance of the Pharaoh's Ant *Monomorium pharaonis* (L) in National Health Service Hospitals in England." *Journal of Hospital Infection* 2: 249-254.
- EOW, A. G.-H. und LEE, C. Y.** (2007). "Comparative Nutritional Preferences of Tropical Pest Ants, *Monomorium pharaonis*, *Monomorium floricola* and *Monomorium destructor* (Hymenoptera: Formicidae)." *Sociobiology* 49: 165-186.
- EPA** (1998). "Product Performance Test Guidelines OPPTS 810.3500 Premises Treatments."
- EPA** (2017). "Product Performance Test Guidelines OCSPP 810.3900: Laboratory Product Performance Testing Methods for Bed Bug Pesticide Products."
- EUROPÄISCHE UNION** (2012). "VERORDNUNG (EU) Nr. 528/2012 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten of, Access 2012
- FAO und WHO** (1997). "Codex Alimentarius, Food Hygiene Basic Texts." Joint FAO/WHO Food Standards Programme CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION 2.
- FATHPOUR, H., EMTIAZI, G. und GHASEMI, E.** (2003). "Cockroaches as Reservoirs and Vectors of Drug Resistant *Salmonella* spp." *Iranian Biomedical Journal* 7: 35-38.
- GILDEN, R. C., HUFFLING, K. und SATTLER, B.** (2010). "Pesticides and Health Risks." *Journal of Obstetric, Gynecologic and Neonatal Nursing* 39: 103-110.
- GOODYER, L. I., CROFT, A. M., FRANCES, S. P., HILL, N., MOORE, S. J., ONYANGO, S. P. und DEBBON, M.** (2010). "Expert Review of the Evidence Base for Arthropod Bite Avoidance." *Journal of Travel Medicine* 17: 182-192.

- GORE, J. C. und SCHAL, C.** (2004). "Laboratory Evaluation of Boric Acid-Sugar Solutions as Baits for Management of German Cockroach Infestations." *Journal of Economic Entomology* 97: 581-587.
- GORE, J. C. und SCHAL, C.** (2005). "Expression, Production and Excretion of Bla g 1, a Major Human Allergen, in Relation to Food Intake in the German Cockroach, *Blattella germanica*." *Medical and Veterinary Entomology* 19: 127-134.
- GORE, J. C., ZUREK, L., SANTANGELO, R. G., STRINGHAM, S. M., WATSON, D. W. und SCHAL, C.** (2004). "Water Solutions of Boric Acid and Sugar for Management of German Cockroach Populations in Livestock Production Systems." *Journal of Economic Entomology* 97: 715-720.
- GUNN, D. L.** (1935). "The Temperature and Humidity Relations of the Cockroach III. A Comparison of Temperature Preference, and Rates of Desiccation and Respiration of *Periplaneta americana*, *Blatta orientalis* and *Blattella germanica*." *Journal of Experimental Biology* 12: 185-190.
- HARLEY, C. M., ENGLISH, B. A. und RITZMANN, R. E.** (2009). "Characterization of Obstacle Negotiation Behaviors in the Cockroach, *Blaberus discoidalis*." *Journal of Experimental Biology* 212: 1463-1476.
- HARRACA, V., RYNE, C., BIRGERSSON, G. und IGNELL, R.** (2012). "Smelling your Way to Food: Can Bed Bugs Use our Odour?" *Journal of Experimental Biology* 215: 623-629.
- HAYNES, K. F. und POTTER, M. F.** (2012). Recent Progress in Bed Bug Management. *Advanced Technologies for Managing Insect Pests*. ISHAAYA, I., PALLI, S. R. und HOROWITZ, A. R., Springer Science+Business Media: 269-278.
- HENTLEY, W. T., WEBSTER, B., EVISON, S. E. F. und SIVA-JOTHY, M. T.** (2017). "Bed Bug Aggregation on Dirty Laundry: A Mechanism for Passive Dispersal." *Scientific Reports* 7: 1-5.
- HOFMANN, H.** (2015). *Repellentien. Reisedermatosen*. STEBUT, E. Berlin, Deutschland, Springer Verlag.
- HÖLLDOBLER, B.** (1998). "Multimodal Signals in Ant Communication." *Journal of Comparative Physiology A* 184: 129-141.
- HÖLLDOBLER, B. und WILSON, E. O.** (1977). "The Number of Queens: An Important Trait in Ant Evolution." *Naturwissenschaften* 64: 8-15.
- HÖLLDOBLER, B. und WILSON, E. O.** (1990). *The Ants*. Berlin, Springer Verlag.
- HÖLLDOBLER, B. und WILSON, E. O.** (2013). *Auf den Spuren der Ameisen*. Würzburg, Deutschland, Springer Spektrum.
- HOLWAY, D. A. und CASE, T. J.** (2000). "Mechanisms of Dispersed Central-Place Foraging in Polydomous Colonies of the Argentine Ant." *Animal Behaviour* 59: 433-441.
- HOOPER-BUI, L. M. und RUST, M. K.** (2000). "Oral Toxicity of Abamectin, Boric Acid, Fipronil, and Hydramethylnon to Laboratory Colonies of Argentine Ants (Hymenoptera: Formicidae)." *Journal of Economic Entomology* 93: 858-864.

- HUNT, J. H.** (1974). "Temporal Activity Patterns in Two Competing Ant Species (Hymenoptera: Formicidae)." *Psyche* 81: 237-242.
- HUSS, K., ADKINSON, N. F., Jr., EGGLESTON, P. A., DAWSON, C., VAN NATTA, M. L. und HAMILTON, R. G.** (2001). "House Dust Mite and Cockroach Exposure are Strong Risk Factors for Positive Allergy Skin Test Responses in the Childhood Asthma Management Program." *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 107: 48-54.
- HWANG, S. W., SVOBODA, T. J., JONG, I. J. d., KABASELE, K. J. und GOGOSIS, E.** (2005). "Bed Bug Infestations in an Urban Environment." *Emerging Infectious Diseases* 11: 533-538.
- ISHAAYA, I., PALLI, S. R. und HOROWITZ, A. R.,** Eds. (2012). *Advanced Technologies for Managing Insect Pests*. Dordrecht, Niederlande, Springer Science+Business Media.
- ISMAN, M. B.** (2000). "Plant essential oils for pest management." *Crop Protection* 19: 603-608.
- JACKSON, D. E., HOLCOMBE, M. und RATNIEKS, F. L. W.** (2004). "Trail Geometry Gives Polarity to Ant Foraging Networks." *Nature* 432: 907-909.
- JONES, S. C., BRYANT, J. L. und SIVAKOFF, F. S.** (2015). "Sublethal Effects of *ActiveGuard* Exposure on Feeding Behavior and Fecundity of the Bed Bug (Hemiptera: Cimicidae)." *Journal of Medical Entomology* 52: 413-418.
- KAIN, P., BOYLE, S. M., THARADRA, S. K., GUDA, T., PHAM, C., DAHANUKAR, A. und RAY, A.** (2013). "Odour Receptors and Neurons for DEET and New Insect Repellents." *Nature* 502: 507-512.
- KATZ, T. M., MILLER, J. H. und HEBERT, A. A.** (2008). "Insect Repellents: Historical Perspectives and New Developments." *Journal of the American Academy of Dermatology* 58: 865-871.
- KEMPER, H.** (1930). "Beiträge zur Biologie der Bettwanze (*Cimex lectularius* L.) I. Über den Einfluss des Nahrungsmangels." *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere* 19: 160-183.
- KIM, C. W., KIM, D. I., CHOI, S. Y., PARK, J. W. und HONG, C. S.** (2005). "Pharaoh Ant (*Monorium pharaonis*): Newly Identified Important Inhalant Allergens in Bronchial Asthma." *Journal of Korean Medical Science* 20: 390-396.
- KIM, C. W., SONG, J. S., CHOI, S. Y., PARK, J. W. und HONG, C. S.** (2007). "Detection and Quantification of Pharaoh Ant Antigens in Household Dust Samples as Newly Identified Aeroallergens." *International Archives of Allergy and Immunology* 144: 247-253.
- KLOTZ, J. H., HANSEN, L., POSPISCHIL, R. und RUST, M. K.** (2008). *Urban Ants of North America and Europe: Identification, Biology and Management*. New York, USA, Cornell, University Press.
- KLOTZ, J. H., OI, D. H., VAIL, K. M. und WILLIAMS, D. F.** (1996). "Laboratory Evaluation of a Boric Acid Liquid Bait on Colonies of *Tapinoma melanocephalum* Argentine Ants and Pharaoh Ants (Hymenoptera: Formicidae)." *Journal of Economic Entomology* 89: 673-677.

- KOPANIC, R. J., HOLBROOK, G. L., SEVALA, V. und SCHAL, C.** (2001). "An Adaptive Benefit of Facultative Coprophagy in the German Cockroach *Blattella germanica*." *Ecological Entomology* 26: 154-162.
- KOPANIC, R. J. und SCHAL, C.** (1999). "Coprophagy Facilitates Horizontal Transmission of Bait Among Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae)." *Environmental Entomology* 28: 431-438.
- KRIVOSHEINA, G. G. und SHATOV, K. S.** (1995). "Specificity of Cockroach Trail Pheromones." *Pheromones: Scientific Journal of the Lithuanian Academy of Sciences* 5: 13-22.
- KRÜGER, A., KLASSEN, J. und SCHMOLZ, E.** (2014). "Experimental Design for Efficacy Testing of Baits against *Monomorium pharaonis* (Hymenoptera: Formicidae)." *Proceedings of the 8th Conference on Urban Pests*: 239-245.
- KRÜGER, A., KNOBELSPIEB, S. und SCHMOLZ, E.** (2017). "Development and Evaluation of Testing Methods for Ant Repellents." *Proceedings of the 9th Conference on Urban Pests*: 277-280.
- LANDRIGAN, P. J., CLAUDIO, L., MARKOWITZ, S. B., BERKOWITZ, G. S., BRENNER, B. L., ROMERO, A., WETMUR, J. G., MATTE, T. D., GORE, A. G., GODBOLD, J. H. und WOLFF, M. S.** (1999). "Pesticides and Inner-City Children: Exposures, Risks, and Prevention." *Environmental Health Perspectives* 107.
- LEE, C. Y.** (2002). "Tropical Household Ants: Pest Status, Species Diversity, Foraging Behaviour, and Baiting Studies." *Proceedings of the 4th International Conference on Urban Pests*: 3-18.
- LEE, C. Y.** (2008). "Sucrose Bait Preference of Selected Urban Pest Ants (Hymenoptera: Formicidae)." *Proceedings of the 6th International Conference on Urban Pests*: 59-63.
- LEE, I. Y., REE, H. I., AN, S. J., LINTON, J. A. und YONG, T. S.** (2008). "Reemergence of the Bedbug *Cimex lectularius* in Seoul, Korea." *Korean Journal of Parasitology* 46: 269-271.
- LEE, Y., KIM, S. H. und MONTELL, C.** (2010). "Avoiding DEET through Insect Gustatory Receptors." *Neuron* 67: 555-561.
- LEVY BENCHETON, A., BERENGER, J. M., DEL GIUDICE, P., DELAUNAY, P., PAGES, F. und MORAND, J. J.** (2011). "Resurgence of Bedbugs in Southern France: A Local Problem or the Tip of the Iceberg?" *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology* 25: 599-602.
- LEWIS, W. J., VAN LENTEREN, J. C., PHATAK, S. C. und TUMLINSON, J. H.** (1997). "A Total System Approach to Sustainable Pest Management." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94: 12243-12248.
- LIHOREAU, M. und RIVAUT, C.** (2008). "Tactile Stimuli Trigger Group Effects in Cockroach Aggregations." *Animal Behaviour* 75: 1965-1972.
- LIHOREAU, M. und RIVAUT, C.** (2009). "Kin Recognition via Cuticular Hydrocarbons Shapes Cockroach Social Life." *Behavioral Ecology* 20: 46-53.

- LIHOREAU, M. und RIVAUT, C.** (2011). "Local Enhancement Promotes Cockroach Feeding Aggregations." *PLoS One* 6: 1-7.
- LIHOREAU, M., ZIMMER, C. und RIVAUT, C.** (2007). "Kin Recognition and Incest Avoidance in a Group-Living Insect." *Behavioral Ecology* 18: 880-887.
- LIMA, W. R., MARQUES, S. G., RODRIGUES, F. S. und REBELO, J. M.** (2013). "Ants in a Hospital Environment and their Potential as Mechanical Bacterial Vectors." *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 46: 637-640.
- LUCIUS, R. und LOOS-FRANK, B.** (2008). *Biologie von Parasiten*. Berlin, Deutschland, Springer Verlag.
- MALEY, M., TAISEY, A. und KOPLINKA-LOEHR, C.** (2014). *Integrated Pest Management - A Guide for Affordable Housing*, Northeastern IPM Center.
- MARKIN, G. P.** (1970). "Food Distribution within Laboratory Colonies of the Argentine Ant, *Iridomyrmex humilis* (Mayr)." *Insectes Sociaux* 17: 127-158.
- MARX, R.** (1955). "Über die Wirtsfindung und die Bedeutung des artspezifischen Duftstoffes bei *Cimex lectularius* Linné." *Zeitschrift für Parasitenkunde* 17: 41-73.
- MATHIESON, M., TOFT, R. und LESTER, P. J.** (2012). "Influence of Toxic Bait Type and Starvation on Worker and Queen Mortality in Laboratory Colonies of Argentine Ant (Hymenoptera: Formicidae)." *Journal of Economic Entomology* 105: 1139-1144.
- MCGLYNN, T. P.** (1999). "The Worldwide Transfer of Ants: Geographical Distribution and Ecological Invasions." *Journal of Biogeography* 26: 535-548.
- MELLANBY, K.** (1939). "Fertilization and Egg Production in the Bed-Bug, *Cimex lectularius* L." *Parasitology* 31: 193-199.
- MILLER, D. M., KOEHLER, P. G. und NATION, J. L.** (2000). "Use of Fecal Trails to Enhance Trap Catch in German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) Monitoring Stations." *Journal of Economic Entomology* 93: 865-870.
- MILLER, D. M. und MEEK, F.** (2004). "Cost and Efficacy Comparison of Integrated Pest Management Strategies with Monthly Spray Insecticide Applications for German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) Control in Public Housing." *Journal of Economic Entomology* 97: 559-569.
- MÖGLICH, M. und HÖLLDOBLER, B.** (1975). "Communication and Orientation during Foraging and Emigration in the Ant *Formica fusca*." *Journal of Comparative Physiology A* 101: 275-288.
- MOORE, S. J., LENGLET, A. und HILL, N.** (2002). "Field Evaluation of Three Plant-Based Insect Repellents Against Malaria Vectors in Vaca Diez Province, the Bolivian Amazon." *Journal of the American Mosquito Control Association* 18: 107-110.
- MOREIRA, D. D. O., MOREIS, V., VIEIRA-DA-MOTTA, O., CAMPOS-FARINHA, A. E. d. C. und TONHASCA, A.** (2005). "Ants as Carriers of Antibiotic-Resistant Bacteria in Hospitals." *Neotropical Entomology* 34: 999-1006.

- NALYANYA, G., LIANG, D., KOPANIC, R. J. und SCHAL, C.** (2001). "Attractiveness of Insecticide Baits for Cockroach Control (Dictyoptera: Blattellidae) - Laboratory and Field Studies." *Journal of Economic Entomology* 94: 686-693.
- NALYANYA, G. und SCHAL, C.** (2001). "Evaluation of Attractants for Monitoring Populations of the German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 94: 208-214.
- OECD** (2013). *Guidance Document on Assays for Testing the Efficacy of Baits against Cockroaches*. Paris, Frankreich, OECD.
- Oi, D. H.** (2008). *Pharaoh Ants and Fire Ants. Public Health Significance of Urban Pests*. WHO. Kopenhagen, Dänemark, WHO.
- Oi, D. H. und Oi, F. M.** (2006). "Speed of Efficacy and Delayed Toxicity Characteristics of Fast-Acting Fire Ant (Hymenoptera: Formicidae) Baits." *Journal of Economic Entomology* 99: 1739-1748.
- Oi, D. H., VAIL, K. M. und WILLIAMS, D. F.** (1996). "Field Evaluation of Perimeter Treatments for Pharaoh Ant (Hymenoptera: Formicidae) Control." *Florida Entomologist* 79: 252-263.
- PAI, H.-H., KO, Y. C. und CHEN, E. R.** (2003a). "Cockroaches (*Periplaneta americana* and *Blattella germanica*) as Potential Mechanical Disseminators of *Entamoeba histolytica*." *Acta Tropica* 87: 355-359.
- PAI, H. H.** (2013). "Multidrug Resistant Bacteria Isolated from Cockroaches in Long-Term Care Facilities and Nursing Homes." *Acta Tropica* 125: 18-22.
- PAI, H. H., CHEN, W. C. und PENG, C. F.** (2003b). "Isolation of Non-Tuberculous Mycobacteria from Hospital Cockroaches (*Periplaneta americana*)." *Journal of Hospital Infection* 53: 224-228.
- PAI, H. H., CHEN, W. C. und PENG, C. F.** (2005). "Isolation of Bacteria with Antibiotic Resistance from Household Cockroaches (*Periplaneta americana* and *Blattella germanica*)." *Acta Tropica* 93: 259-265.
- PEACOCK, A. D., SUDD, J. H. und BAXTER, A. T.** (1955). "Studies in Pharaoh's Ant, *Monomorium pharaonis* (L.). 11. Colony Foundation." *Entomologist's Monthly Magazine* 91: 125-129.
- PELLEGRINO, M., STEINBACH, N., STENSMYR, M. C., HANSSON, B. S. und VOSSHALL, L. B.** (2011). "A Natural Polymorphism Alters Odour and DEET Sensitivity in an Insect Odorant Receptor." *Nature* 478: 511-514.
- PEREIRA, R. M. und STIMAC, J. L.** (1997). "Biocontrol Options for Urban Pest Ants." *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 14: 231-248.
- PETERSEN, M. und BUSCHINGER, A.** (1971). "Untersuchungen zur Koloniegründung der Pharaoameise *Monomorium pharaonis* (L.)." *Anzeiger für Schädlingskunde und Pflanzenschutz* 44: 121-127.

- PETERSON, C. und COATS, J.** (2001). "Insect Repellents - Past, Present and Future." *Pesticide Outlook* 12: 154-158.
- POST, D. C., MOHAMED, M. A., COPPEL, H. C. und JEANNE, R. L.** (1984). "Identification of Ant Repellent Allomone Produced by Social Wasp *Polistes fuscatus* (Hymenoptera: Vespidae)." *Journal of Chemical Ecology* 10: 1799-1807.
- RADCLIFFE, E. B., HUTCHISON, W. D. und CANCELADO, R. E.** (2009). Radcliffe's IPM World Textbook. RADCLIFFE, E. B., HUTCHISON, W. D. und CANCELADO, R. E. Minnesota, USA, Cambridge University Press.
- RAYMOND-DELPECH, V., MATSUDA, K., SATTELLE, B. M., RAUH, J. J. und SATTELLE, D. B.** (2005). "Ion Channels: Molecular Targets of Neuroactive Insecticides." *Invertebrate Neuroscience* 5: 119-133.
- REINHARDT, K. und SIVA-JOTHY, M. T.** (2007). "Biology of the Bed Bugs (Cimicidae)." *Annual Review of Entomology* 52: 351-374.
- RIEDER, E., HAMALIAN, G., MALOY, K., STREICKER, E., SJULSON, L. und YING, P.** (2012). "Psychiatric Consequences of Actual Versus Feared and Perceived Bed Bug Infestations: A Case Series Examining a Current Epidemic." *Psychosomatics* 53: 85-91.
- RIVAULT, C. und CLOAREC, A.** (1995). "Limits of Insecticide Cockroach Control in Council Flats in France." *Journal of Environmental Management* 45: 379-393.
- RIVAULT, C. und CLOAREC, A.** (1998). "Cockroach Aggregation: Discrimination between Strain Odours in *Blattella germanica*." *Animal Behaviour* 55: 177-184.
- ROBINSON, E. J. H., GREEN, K. E., JENNER, E. A. und RATNIEKS, F. L. W.** (2008). "Decay Rates of Attractive and Repellent Pheromones in an Ant Foraging Trail Network." *Insectes Sociaux* 55: 246-251.
- ROMERO, A., POTTER, M. F. und HAYNES, K. F.** (2010). "Circadian Rhythm of Spontaneous Locomotor Activity in the Bed Bug, *Cimex lectularius* L." *Journal of Insect Physiology* 56: 1516-1522.
- RUST, M. K. und REIERSON, D. A.** (1978). "Comparison of the Laboratory and Field Efficacy of Insecticides Used for German Cockroach Control." *Journal of Economic Entomology* 71: 704-708.
- RUST, M. K., REIERSON, D. A. und KLOTZ, J. H.** (2004). "Delayed Toxicity as a Critical Factor in the Efficacy of Aqueous Baits for Controlling Argentine Ants (Hymenoptera: Formicidae)." *Journal of Economic Entomology* 97: 1017-1024.
- RUST, M. K. und SU, N. Y.** (2012). "Managing Social Insects of Urban Importance." *Annual Review of Entomology* 57: 355-375.
- SCHAEFER, M.** (2012). Wörterbuch der Ökologie. Heidelberg, Deutschland, Spektrum Akademischer Verlag.
- SCHAL, C.** (1988). "Relation Among Efficacy of Insecticides, Resistance Levels, and Sanitation in the Control of the German Cockroach (Dictyoptera: Blattellidae)." *Journal of Economic Entomology* 81: 536-544.

- SCHEURER, S. und LIEBIG, G.** (1998). "*Tapinoma melanocephalum* Fabr. (Formicidae, Dolichoderinae) in Gebäuden - Beobachtungen zu ihrer Biologie und Bekämpfung." *Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz* 71: 145-148.
- SCHNEIDER, B. M. und BENNETT, G. W.** (1985). "Comparative Studies of Several Methods for Determining the Repellency of Blatticides." *Journal of Economic Entomology* 78: 874-878.
- SCOCCO, C. M. und SUITER, D. R.** (2010). "The repellency of Five Essential Oils Against the Argentine Ant (Hymenoptera: Formicidae)." *Proceedings of the 2010 NCUE*: 44-48.
- SHARMA, V. P., ANSARI, M. A. und RAZDAN, R. K.** (1993). "Mosquito Repellent Action of Neem (*Azadirachta indica*) Oil." *Journal of the American Mosquito Control Association* 9: 359-360.
- SILVERMAN, J.** (1986). "Adult German Cockroach (Orthoptera: Blattellidae) Feeding and Drinking Behavior as a Function of Density and Harborage-to-Resource Distance." *Environmental Entomology* 15: 198-204.
- SMALLWOOD, J.** (1982). "Nest Relocations in Ants." *Insectes Sociaux* 29: 138-147.
- SMITH, L. M. und APPEL, A. G.** (2008). "Comparison of Several Traps for Catching German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) Under Laboratory Conditions." *Journal of Economic Entomology* 101: 151-158.
- STEJSKAL, V.** (1997). "Distribution of Faeces of the German Cockroach, *Blattella germanica*, in a New Refuge." *Entomologia Experimentalis et Applicata* 84: 201-205.
- STEJSKAL, V.** (1998). "Field Tests on Trapping Efficiency of Sticky Traps for *Blatta orientalis* and *Blattella germanica* (Dictyoptera)." *Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz* 71: 17-21.
- STUTT, A. D. und SIVA-JOTHY, M. T.** (2001). "Traumatic Insemination and Sexual Conflict in the Bed Bug *Cimex lectularius*." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98: 5683-5687.
- SUDD, J. H.** (1960). "The Foraging Method of Pharaoh's Ant, *Monomorium pharaonis* (L.)." *Animal Behaviour* 8: 67-75.
- SÜSS, L., CASSANI, S., CASSANI, G., ROSAZZA, F. und GALLIZIA, F.** (2014). "Comparison of Efficacy and Attractiveness of Five Commercial Cockroach Control Gel Formulations in Laboratory Tests." *International Pest Control*.
- SUSSER, S. R., PERRON, S., FOURNIER, M., JACQUES, L., DENIS, G., TESSIER, F. und ROBERGE, P.** (2012). "Mental Health Effects from Urban Bed Bug Infestation (*Cimex lectularius* L.): a Cross-Sectional Study." *BMJ Open* 2: 1-5.
- SYED, Z. und LEAL, W. S.** (2008). "Mosquitoes Smell and Avoid the Insect Repellent DEET." *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America* 105: 13598-13603.

- SZLEP, R. und JAKOBI, T.** (1967). "The Mechanism of Recruitment to Mass Foraging in Colonies of *Monomorium venustum* Smith, *M. subopacum* ssp. *phoenicium* Em., *Tapinoma israelis* For. and *T. simothi* v. *phoenicium* Em." *Insectes Sociaux* 14: 25-40.
- TAY, J. W. und LEE, C. Y.** (2015). "Induced Disturbances Cause *Monomorium pharaonis* (Hymenoptera: Formicidae) Nest Relocation." *Journal of Economic Entomology* 108: 1237-1242.
- TEE, H. S. und LEE, C. Y.** (2014). Sustainable Cockroach Management Using Insecticidal Baits: Formulations, Behavioural Responses and Issues. *Urban Insect Pests*. DHANG, P.
- TORRES, J. A.** (1984). "Niches and Coexistence of Ant Communication in Puerto Rico: Repeated Patterns." *Biotropica* 16: 284-295.
- UMWELTBUNDESAMT** (1998). "Richtlinien für die amtliche Prüfung von Mitteln und Verfahren auf Wirksamkeit zur Bekämpfung tierischer Schädlinge gemäß § 10 c Bundes-Seuchengesetz - Richtlinie für die Prüfung von Fraßgiftködern gegen Völker der Pharaoameise (*Monomorium pharaonis*)." *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 4: 184-198.
- UMWELTBUNDESAMT** (2001). "Richtlinien für die amtliche Prüfung von Mitteln und Verfahren auf Wirksamkeit zur Bekämpfung tierischer Schädlinge gemäß § 18 Infektionsschutzgesetz - Richtlinie für die Prüfung von Fraßgiftködern gegen Schaben (Blattariae) im Laboratorium." *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 44: 182-189.
- USINGER, R. L.** (1966). *Monograph of Cimicidae (Hemiptera, Heteroptera)*. College Park, Entomological Society of America.
- VALLES, S. M., YU, S. J. und KOEHLER, P. G.** (1996). "Biochemical Mechanisms Responsible for Stage-Dependent Propoxur Tolerance in the German Cockroach." *Pesticide Biochemistry and Physiology* 54: 172-180.
- VANDER PAN, A.** (2015). Untersuchungen zur Pyrethroid-Resistenz bei der Bettwanze *Cimex lectularius* in Berlin, Deutschland. Dissertation, Freie Universität Berlin.
- WANG, C. und BENNETT, G. W.** (2006a). "Comparative Study of Integrated Pest Management and Baiting for German Cockroach Management in Public Housing." *Journal of Economic Entomology* 99: 879-885.
- WANG, C. und BENNETT, G. W.** (2006b). "Comparison of Cockroach Traps and Attractants for Monitoring German Cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae)." *Environmental Entomology* 35: 765-770.
- WANG, C. und BENNETT, G. W.** (2006c). "Efficacy of Noviflumuron Gel Bait for Control of the German Cockroach, *Blattella germanica* (Dictyoptera: Blattellidae) - Laboratory Studies." *Pest Manag Sci* 62: 434-439.
- WANG, C. und BENNETT, G. W.** (2009). "Cost and Effectiveness of Community-Wide Integrated Pest Management for German Cockroach, Cockroach Allergen, and Insecticide Use Reduction in Low-Income Housing." *Journal of Economic Entomology* 102: 1614-1623.

- WANG, C., LÜ, L., ZHANG, A. und LIU, C.** (2013). "Repellency of Selected Chemicals Against the Bed Bug (Hemiptera: Cimicidae)." *Journal of Economic Entomology* 106: 2522-2529.
- WEEKS, E. N., LOGAN, J. G., BIRKETT, M. A., PICKETT, J. A. und CAMERON, M. M.** (2013). "Tracking Bed Bugs (*Cimex lectularius*): A Study of the Effect of Physiological and Extrinsic Factors on the Response to Bed Bug-Derived Volatiles." *Journal of Experimental Biology* 216: 460-469.
- WETTERER, J. K.** (2009). "Worldwide Spread of the Ghost Ant, *Tapinoma melanocephalum* (Hymenoptera: Formicidae)" *Myrmecological News* 12: 23-33.
- WETTERER, J. K.** (2010). "Worldwide Spread of the Pharaoh Ant, *Monomorium pharaonis* (Hymenoptera: Formicidae)." *Myrmecological News* 13: 115-129.
- WILLIAMS, D. F. und VAIL, K. M.** (1994). "Control of a Natural Infestation of the Pharaoh Ant (Hymenoptera: Formicidae) with a Corn Grit Bait of Fenoxycarb." *Journal of Economic Entomology* 87: 108-114.
- WILLIAMS, G. M., LINKER, H. M., WALDVOGEL, M. G., LEIDY, R. B. und SCHAL, C.** (2005). "Comparison of Conventional and Integrated Pest Management Programs in Public Schools." *Journal of Economic Entomology* 98: 1275-1283.
- WILSON, E. O.** (1962). "Chemical Communication among Workers of the Fire Ant *Solenopsis saevissima* (Fr. Smith) 1. The Organization of Mass-Foraging." *Animal Behaviour* 10: 134-147.
- WING, K. D., ANDALORO, J. T., MCCANN, S. F. und SALGADO, V. L.** (2005). *Indoxacarb and the Sodium Channel Blocker Insecticides: Chemistry, Physiology, and Biology in Insects. Comprehensive Molecular Insect Science.* GILBERT, L. I., IATROU, K. und GILL, S. S. London, UK, Elsevier.
- WING, K. D., SCHNEE, M. E., SACHER, M. und CONNAIR, M.** (1998). "A Novel Oxadiazine Insecticide Is Bioactivated in Lepidopteran Larvae." *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 37: 91-103.
- YU, S. J.** (2008). *The Toxicology and Biochemistry of Insecticides.* Florida, USA, CRC Press.
- ZARZUELA, M. F. M., CAMPOS-FARINHA, A. E. d. C. und PECANHA, M.** (2004). "Evaluation of Urban Ants (Hymenoptera: Formicidae) as Carriers of Pathogens in Residual and Industrial Environments: I. Bacteria." *Sociobiology* 44: 9-14.
- ZARZUELA, M. F. M., CAMPOS-FARINHA, A. E. d. C., RUSSOMANNO, O. M. R., KRUPPA, P. C. und GONCALEZ, E.** (2007). "Evaluation of Urban Ants (Hymenoptera: Formicidae) as Vectors of Microorganisms in Residential and Industrial Environments: II. Fungi." *Sociobiology* 50: 653-658.