

### 3.1.3 Wahlversuche zur Kontaktrepellenz

#### WAHLVERSUCH KONTAKTREPELLENZ

<b>Arten:</b>	<i>Isotoma anglicana</i> , <i>Lepidocyrtus violaceus</i> , <i>Folsomia candida</i> , <i>Folsomia fimetaria</i> , <i>Heteromurus nitidus</i> , <i>Onychiurus armatus</i>
<b>Substrat:</b>	LUFA 2.2, 50% MWK
<b>Parallelen:</b>	10
<b>Individuen / Parallele:</b>	10 pro Art
<b>Dauer:</b>	24 Stunden
<b>Ort:</b>	Dunkelkammer, 20°C
<b>Endpunkt:</b>	Anzahl der Tiere auf der kontaminierten Bodenseite
<b>Besonderheit:</b>	gemeinsamer Ansatz aller Arten; Einwanderungstest: Einsatz auf unkontaminierte Seite Fluchttest: Einsatz auf kontaminierte Seite

#### 3.1.3.1 Entwicklung der Testmethode

In dieser Versuchsreihe sollte untersucht werden, ob die verschiedenen Collembolenarten die Pflanzenschutzmittel bzw. ihre Wirkstoffe im Boden wahrnehmen und vermeiden.

Es war zunächst notwendig, zu überprüfen, wie sich die Tiere normalerweise, d. h. in Gefäßen mit vollständig unkontaminiertem Substrat, verhalten. Die Ergebnisse dieser Kontrollversuche zeigt Abbildung 25a. Zusätzlich sollte die Frage untersucht werden, ob die Versuche für alle sechs Arten getrennt durchgeführt werden müssten, oder ob ein zeit- und materialsparender Kombinationsansatz möglich wäre. Dazu wurden in Parallelansätzen je 10 Tiere der sechs Arten in getrennte bzw. in gemeinsame Gefäße eingesetzt, und zwar sowohl in den Kontrollversuchen als auch in Versuchen mit kontaminiertem Boden auf einer Gefäßhälfte (Abb. 25a,b). Es wurde eine Konzentration von 10 mg ai / kg TG Betanal verwendet, deren Repellentwirkung aus Vorversuchen bekannt war. Die beiden Versuchsvarianten (getrennt – zusammen) wurden mittels t-Tests auf signifikante Unterschiede hin untersucht.

Das Einsetzen der Tiere auf die unkontaminierte Gefäßhälfte ermöglicht die Beobachtung der Einwanderung in die kontaminierte Hälfte und könnte zu anderen Ergebnissen führen als die Platzierung der Tiere auf der kontaminierte Hälfte, durch die eine Fluchtreaktion nachge-

wiesen wird. Beide Varianten wurden im Rahmen der Vorversuche zeitgleich angesetzt. Die Ergebnisse wurden für die einzelnen Arten ebenfalls mit Hilfe des t-Tests verglichen.

### **Verhalten der Tiere auf unkontaminiertem Boden (Kontrollen)**

Bis auf *F. fimetaria* verteilten sich alle Collembolenarten auf unkontaminiertem Boden unabhängig von der Versuchsmethode (gemeinsamer – nach Arten getrennter Ansatz) und dem Einsatzort der Tiere gleichmäßig über beide Gefäßhälften (s. Abb. 25a). Es wurden allgemein nicht weniger als 43,3% und nicht mehr als 57,7% der eingesetzten Tiere auf ein und derselben Gefäßseite wiedergefunden. Dabei waren innerhalb der 10 Replikate z. T. starke Verteilungsschwankungen zu beobachten. Bei der Art *F. fimetaria* war die Verteilung dagegen abhängig vom Ort des Einsatzes der Tiere. Nur ein Anteil zwischen 25,6% und 31,5% der eingesetzten Tiere war nach 24 Stunden in die andere Gefäßhälfte eingewandert.

### **Auswirkungen der Artentrennung**

Aus den in Abbildung 25 dargestellten Verteilungen wird deutlich, dass die beiden Varianten „alle Arten zusammen in einem Versuchsgefäß“ bzw. „jede Art in einem eigenen Gefäß“ sehr ähnliche Ergebnisse lieferten. Auch die statistische Überprüfung konnte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Methoden feststellen ( $p > 0,05$  in t-Tests bzw. Mann-Whitney-U-Tests).

### **Einwanderungs- / Fluchttest**

Die Vorversuche zeigten, dass fünf der sechs untersuchten Collembolenarten sich in den beiden Versuchsvarianten ähnlich verhielten. Dies galt insbesondere bei den Versuchen mit Betanal. Die verwendete Konzentration führte bei allen Arten sowohl zu einer Hemmung der Einwanderung in das kontaminierte Areal wie auch zu einer Fluchtreaktion. Eine unterschiedliche Intensität dieser Vermeidungsreaktionen war nicht festzustellen ( $p > 0,05$  in t-Tests bzw. Mann-Whitney U-Tests).

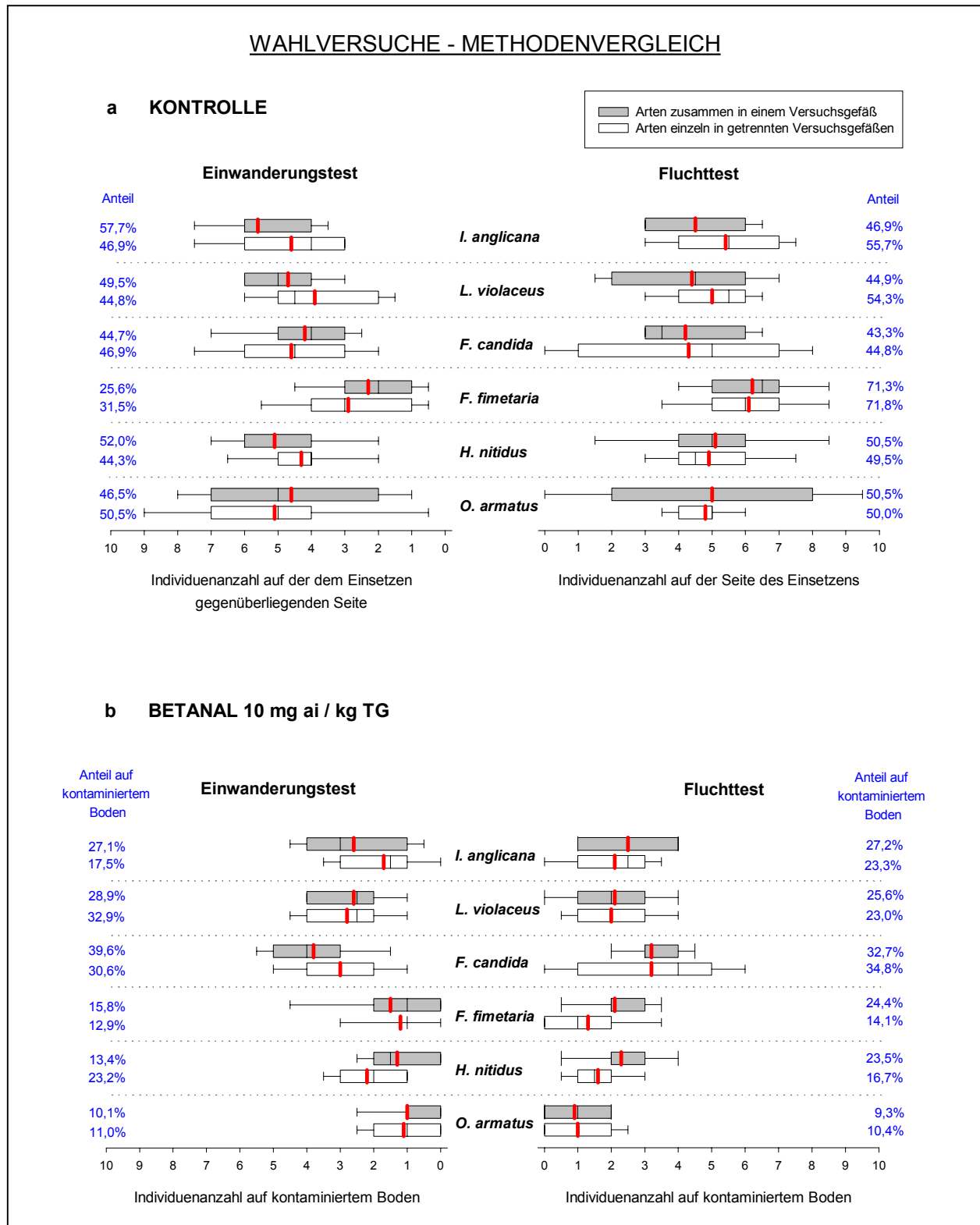


Abb. 25: Methodenvergleich für die Wahlversuche zur Kontaktrepellenz. In die Boxplots gehen die Anzahlen der auf den angegebenen Seiten wiedergefundenen Tiere aus 10 Replikaten ein. Begrenzungen der Box = erstes (25%) und drittes (75%) Quartil; feine Linie innerhalb der Box = Median; dicke Linie innerhalb der Box = arithmetisches Mittel; waagerechte Linien rechts und links der Box = 10%- bzw. 90%-Perzentile.

- a: Kontrollversuche, beide Gefäßhälften mit unkontaminiertem Boden befüllt.  
 b: Der Boden einer Gefäßhälfte wurde mit Betanal (10 mg ai / kg TG) behandelt.

Ganz anders das Ergebnis für die Art *F. fimetaria* in den Kontrollversuchen. Die Tests zeigten deutlich, dass die Tiere ohne weiteren Stimulus signifikant häufiger am Ort des Einsetzens verblieben ( $p=0,001$ , t-Test). Interessanterweise führte das Einsetzen auf ein kontaminiertes Areal dann aber doch zu einem Fluchtverhalten, hier bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen Einwanderungs- und Fluchttest (Einzelansatz:  $p=0,970$ , Mann-Whitney U-Test; gemeinsamer Ansatz:  $p=0,376$ , t-Test). Die Tiere verhielten sich in diesem Fall also wie die anderen Arten und mieden den kontaminierten Boden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Fünf der sechs untersuchten Collembolenarten verteilten sich in Kontrollversuchen gleichmäßig über die beiden Gefäßhälften. Bei der Art *F. fimetaria* war die Verteilung dagegen abhängig vom Einsatzort. Daraus folgt für die statistische Überprüfung, dass die Ergebnisse der Wahlversuche (zumindest für diese Art) nicht gegen eine hypothetische Binomialverteilung getestet werden durften, sondern nur gegen die Verteilungen der Kontrollversuche.

Für die nachfolgenden Versuchsreihen wurde aus den Vorversuchen folgende Vorgehensweise abgeleitet:

Obwohl die gleichmäßige Verteilung der Tiere für fünf der sechs Collembolenarten in den Kontrollen durch den Vorversuch belegt war, wurden für alle weiteren Versuche parallele Kontrollen durchgeführt, um eine Beeinflussung der Versuchsergebnisse durch eventuell noch unberücksichtigte Fehlerquellen bei der neu entwickelten Methodik ausschließen zu können. Für die statistische Auswertung wurden die Ergebnisse der Versuchsansätze stets mit jenen der Parallelkontrollen verglichen.

Eine wechselseitige Beeinflussung der Arten bei gemeinsamem Versuchsansatz konnte in den Vorversuchen weder in den Kontrollen noch unter Pestizideinwirkung nachgewiesen werden. Somit wurde diese Methode für alle weiteren Untersuchungen verwendet.

Der zweiseitige Versuchsansatz Einwanderungsversuch / Fluchtversuch wurde beibehalten. Eine abschließende Beurteilung der Methoden findet sich in Abschnitt 3.1.3.3.

### 3.1.3.2 Kontaktrepellenz der Handelsprodukte

#### BETANAL

Das Herbizid Betanal übte auf alle sechs untersuchten Collembolenarten sowohl in den Einwanderungs- wie auch in den Fluchtversuchen eine konzentrationsabhängige Repellentwirkung aus. Dies lässt sich in Abbildung 26 sowohl an den mit steigender Konzentration abnehmenden mittleren Individuenzahlen auf der kontaminierten Gefäßhälfte wie auch an der dann meist geringeren Streuung der Verteilungen im Vergleich zur Kontrolle ablesen.

Bei den Arten *F. candida*, *H. nitidus* und *O. armatus* wurden in den Fluchttests bei den höchsten untersuchten Konzentrationsstufen mehr Tiere auf der kontaminierten Gefäßhälfte gefunden als bei der jeweils niedrigeren Konzentration. *F. fimetaria* zeigte bereits in den Kontrollen nur eine geringe Einwanderungstendenz in die andere Gefäßhälfte, die bei Kontamination dieser Hälfte mit Betanal noch etwas weiter absank. Im Fluchtversuch wurde deutlich, dass die geringe Wanderungsneigung der Art durch das Betanal gesteigert werden konnte. Die deutlichsten Verhaltensreaktionen unter den sechs Arten zeigten *I. anglicana* und *O. armatus*, bei denen der Anteil von Individuen auf der kontaminierten Gefäßhälfte im Einwanderungstest bis auf 1,0% zurückging.

Die statistische Überprüfung zeigte für die Arten *I. anglicana*, *F. candida*, *H. nitidus* und *O. armatus* bei höheren Konzentrationsstufen eine signifikante Abweichung der Verteilungen gegenüber den Kontrollversuchen sowohl in den Einwanderungs- wie auch in den Fluchttests. Für *L. violaceus* war dies nur im Einwanderungstest, für *F. fimetaria* nur im Fluchttest statistisch zu belegen (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse, Dunnett's Test,  $p < 0,05$ , vgl. Abb. 26).

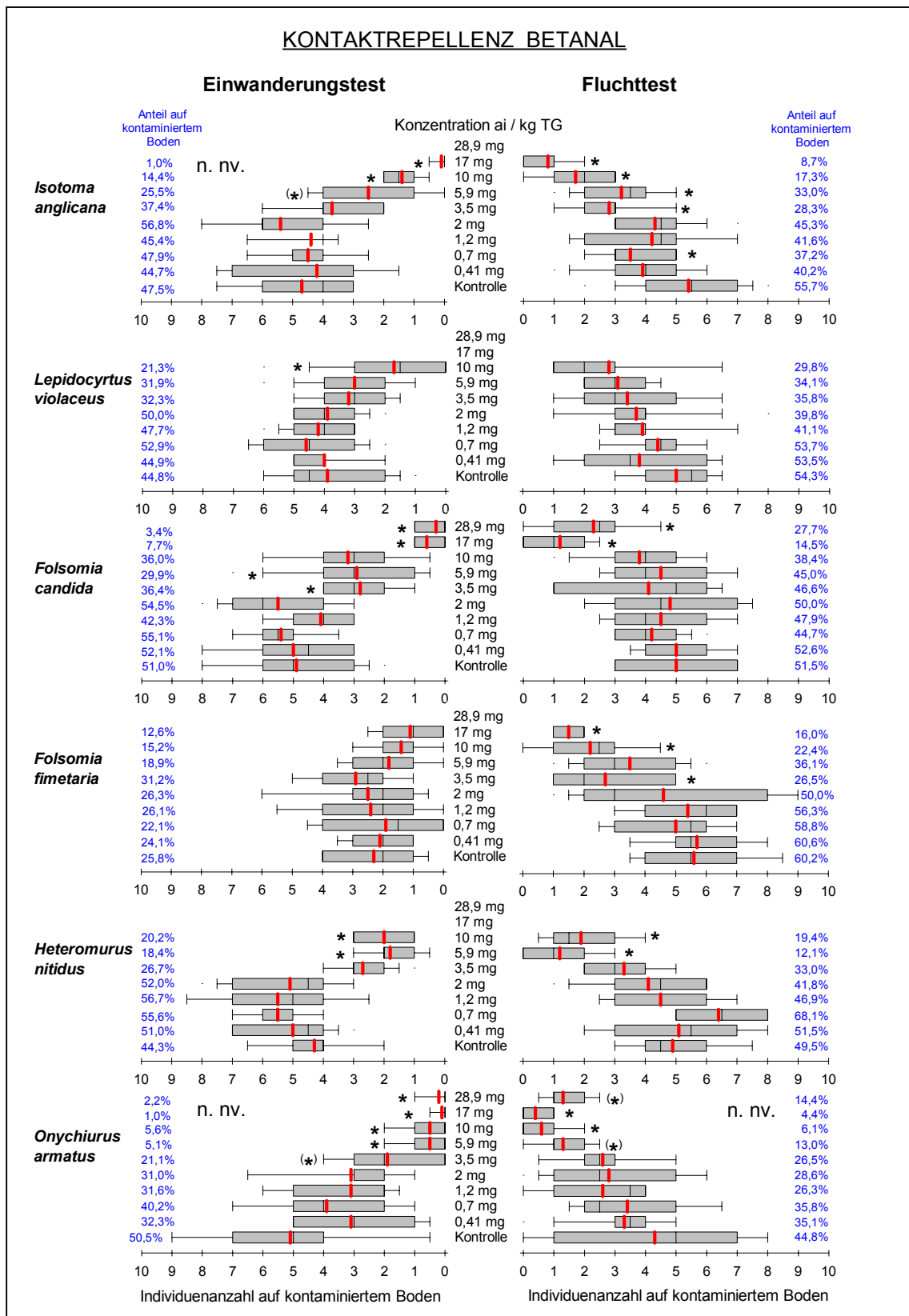


Abb. 26: Kontaktrepellenz von Betanal in Einwanderungs- und Fluchtversuchen. In die Boxplots gehen die Anzahlen der auf der Gefäßhälfte mit kontaminiertem Boden wiedergefundenen Individuen aus 10 Replikaten ein. Boxplotdarstellung wie in Abbildung 25. Prozentangaben: Anteile der Tiere auf kontaminiertem Boden in % der insgesamt bei einer Konzentrationsstufe wiedergefundenen Tiere. \*: signifikanter Unterschied zur Kontrolle (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse bei nichtnormalverteilten Daten, Dunnett's Test, p<0,05). n. nv.: nicht normalverteilt. (\*): keine Signifikanz nach der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse.

## KARATE

Die Art *F. candida* reagierte in den Wahlversuchen nicht auf eine Bodenkontamination mit dem Pyrethroid Karate (Abb. 27). Bei *L. violaceus* waren zumindest im Fluchttest bei einigen Konzentrationsstufen Unterschiede zur Kontrollverteilung zu beobachten, die jedoch nicht statistisch abgesichert werden konnten (ANOVA,  $p > 0,05$ ). *F. fimetaria* war in einigen Karate-Konzentrationen signifikant stärker als in den Kontrollen auf der kontaminierten Bodenhälfte vertreten. Für *I. anglicana* war sowohl in den Einwanderungs- wie auch in den Fluchttests ein Rückgang des Anteils von Tieren auf der behandelten Seite zu verzeichnen, der jedoch nur bei 3,5 mg ai / kg TG als signifikant bewertet werden konnte. Die Arten *H. nitidus* und *O. armatus* zeigten ab einer Konzentration von 5,9 mg ai / kg TG in beiden Versuchsvarianten zunehmende Meidereaktionen, diese wurden allerdings auch hier wie bei Betanal bei höheren Konzentrationen in den Fluchtversuchen abgeschwächt. Die deutlichste Reaktion der sechs Collembolenarten war bei *H. nitidus* mit einem Rückgang auf 16,2% des Kontrollwertes der Tiere auf der kontaminierten Gefäßhälfte im Einwanderungstest zu beobachten.

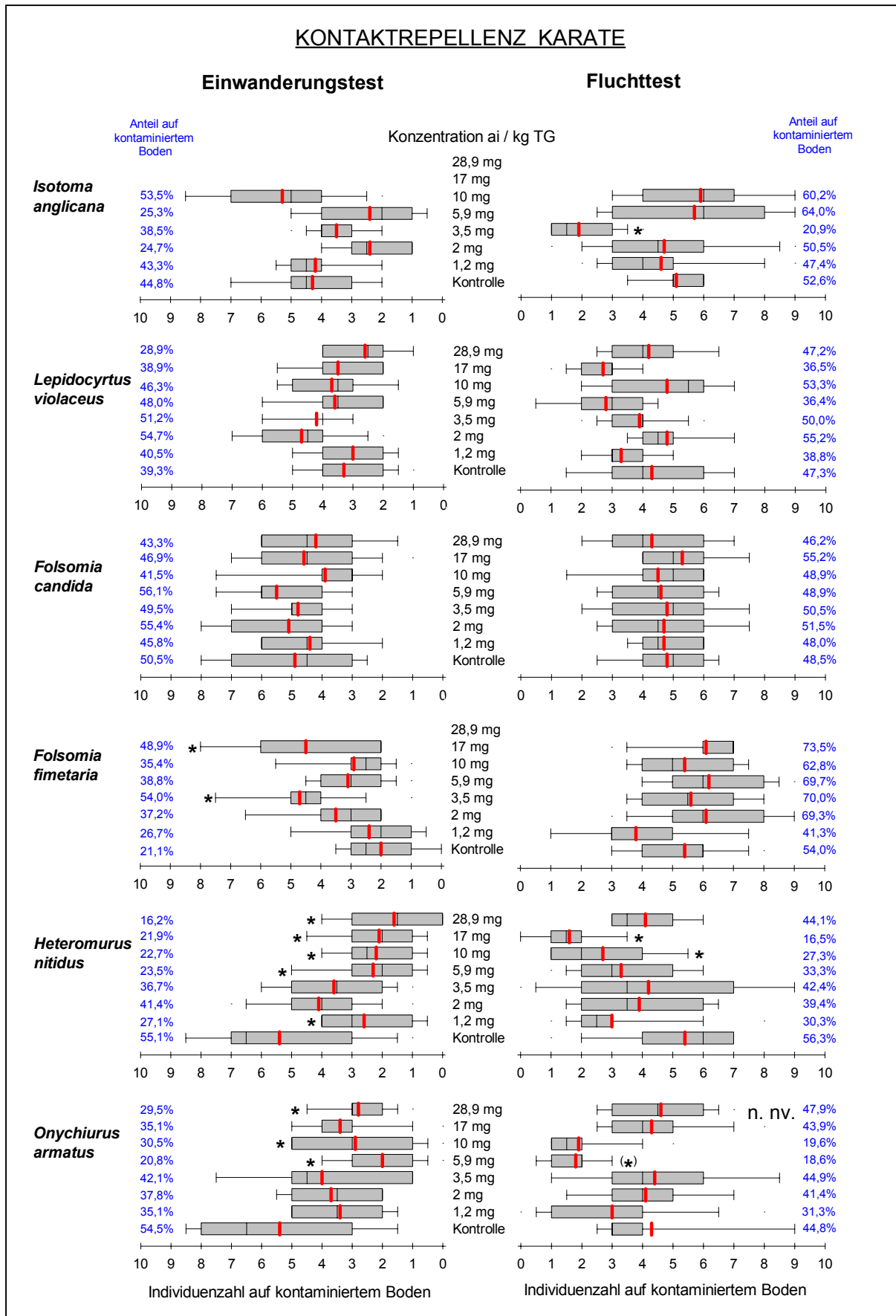


Abb. 27: Kontaktrepellenz von Karate in Einwanderungs- und Fluchtversuchen. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 26.



## CYMBUSH

Durch das Pyrethroid Cymbush wurde nur bei der Art *I. anglicana* eine statistisch absicherbare Verringerung der Einwanderung von Tieren in das kontaminierte Areal hervorgerufen (ANOVA, Dunnett's Test,  $p < 0,05$ , Abb. 28). Bei Betrachtung der mittleren Individuenzahlen auf der kontaminierten Gefäßhälfte waren jedoch auch bei den Arten *L. violaceus*, *H. nitidus* und *O. armatus* mit zunehmender Konzentration deutliche Abweichungen von der Kontrollverteilung festzustellen, es wurden allerdings in keinem Versuch weniger als 25% der Tiere auf der behandelten Gefäßhälfte gefunden (*O. armatus*, 37,7 mg ai / kg TG). Diese Unterschiede waren, teilweise aufgrund der hohen Variabilität der Kontrollverteilungen, nicht signifikant. Auf die Art *F. fimetaria* übte Cymbush ähnlich wie Karate in den Einwanderungstests eher eine leichte Attraktionswirkung aus.

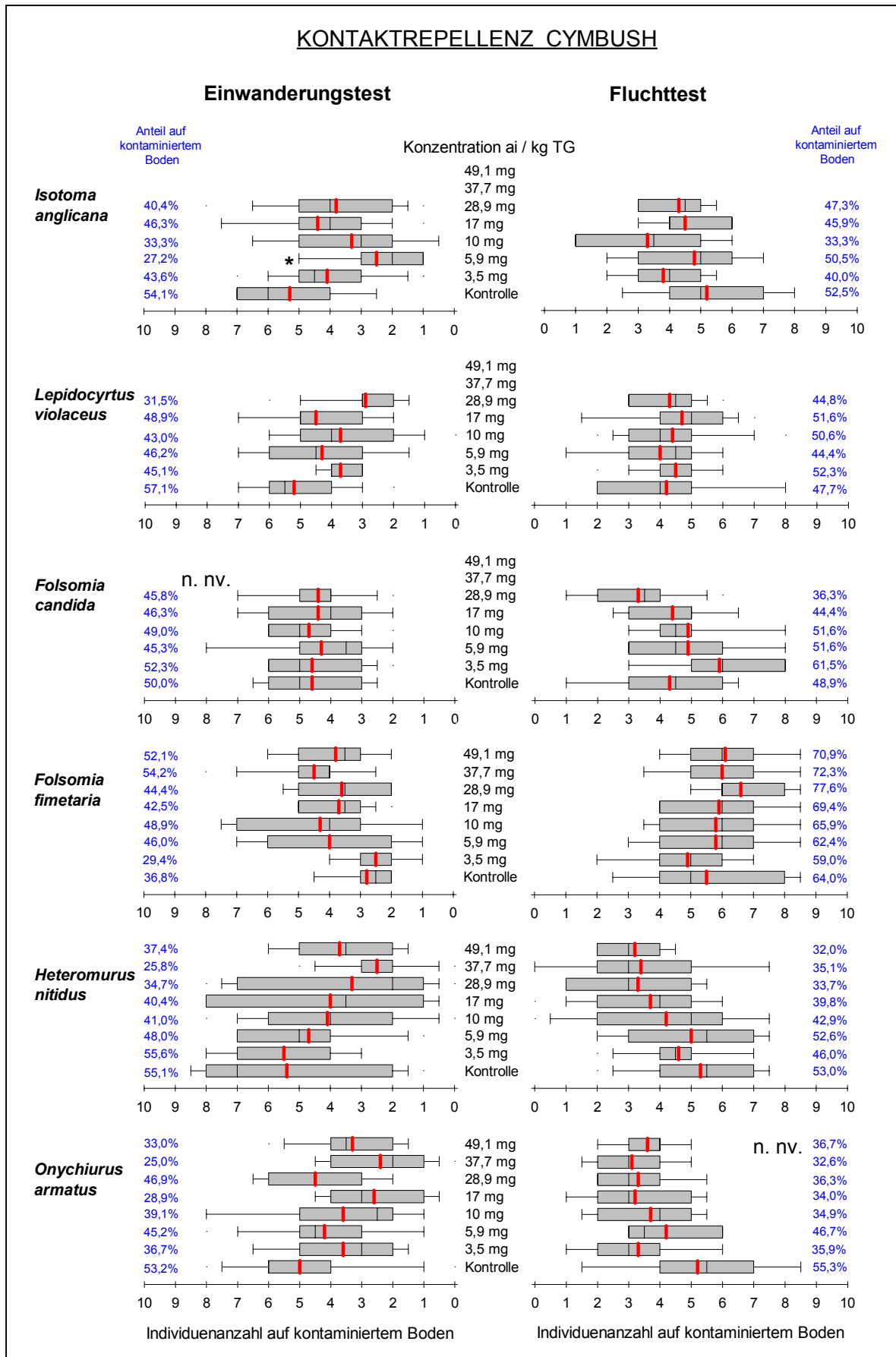


Abb. 28: Kontaktrepellenz von Cymbush in Einwanderungs- und Fluchtversuchen. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 26.

## CRONETON

Eine Kontamination des Bodens mit dem Carbamat Croneton führte nur bei den Arten *I. anglicana* und *F. fimetaria* zu einer signifikanten Fluchtreaktion aus dem behandelten Areal (ANOVA, Dunnett's Test,  $p < 0,05$ , Abb. 29). Allerdings waren bei einzelnen Konzentrationsstufen auch für die Arten *H. nitidus* und *O. armatus* deutliche Abweichungen von den Verteilungen in der Kontrolle zu beobachten. Am empfindlichsten reagierte insgesamt die Art *I. anglicana*, von der in der höchsten getesteten Konzentration im Fluchtversuch nur ein mittlerer Anteil von 18,8% der Tiere auf der kontaminierten Gefäßhälfte wiedergefunden wurde.

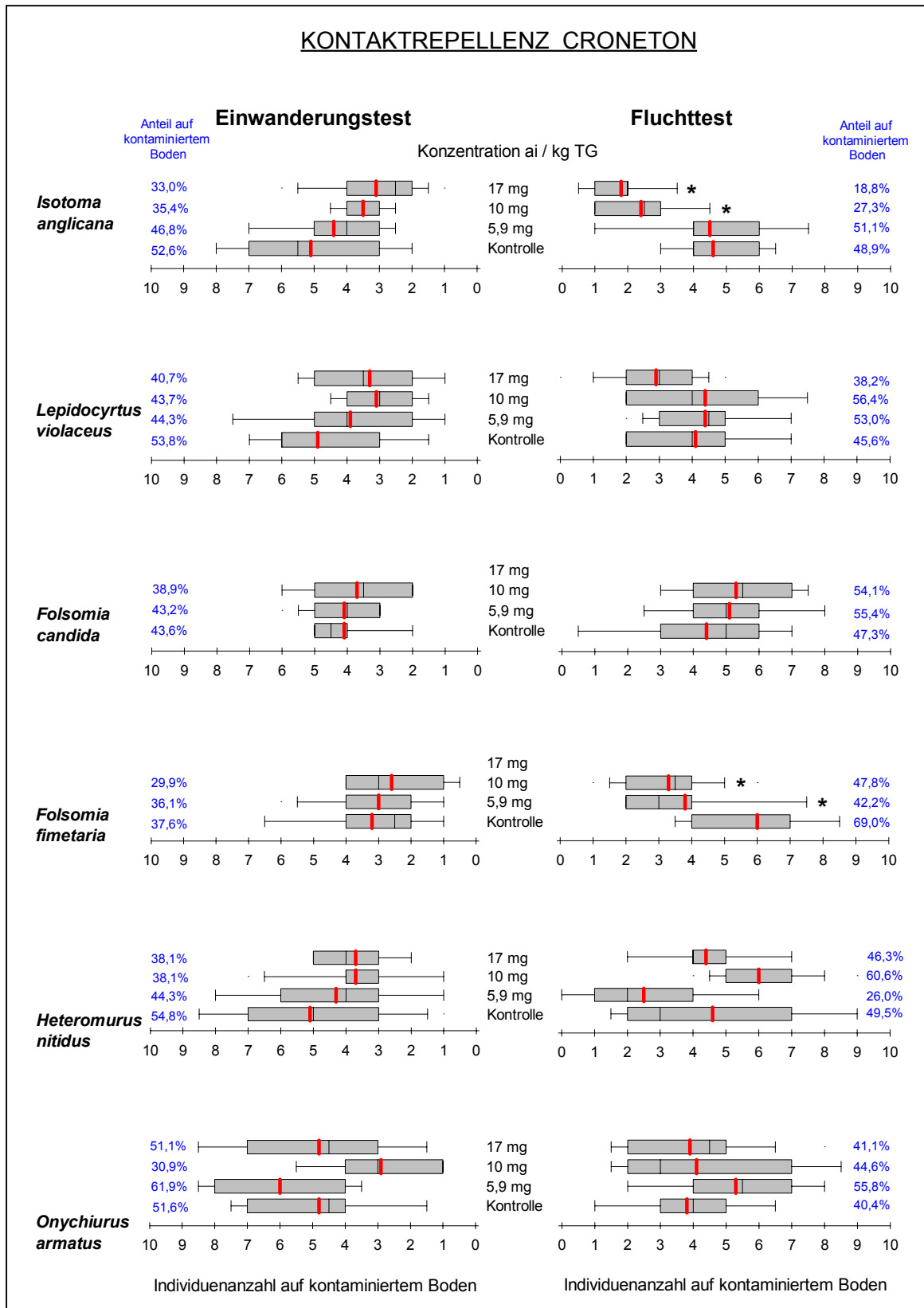


Abb. 29: Kontaktrepellenz von Croneton in Einwanderungs- und Fluchtversuchen. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 26.

## CURATERR

Von den sechs untersuchten Collembolenarten mieden in den Wahlversuchen ausschließlich Tiere der Art *H. nitidus* das mit dem Carbamat-Insektizid Curaterr behandelte Areal (Abb. 30). Diese Reaktion trat sowohl in den Einwanderungs- wie auch in den Fluchtversuchen nur bei der höchsten getesteten Konzentration von 5,9 mg ai / kg TG auf und war signifikant (ANOVA, Dunnett's Test,  $p < 0,05$ ). Sie führte zu einem deutlichen Rückgang des mittleren Anteils der auf der kontaminierten Gefäßhälfte wiedergefundenen Individuen dieser Art auf 12,0% bzw. 15,3%. Einschränkend muss bemerkt werden, dass bei der entsprechenden Curaterr-Konzentration von 5,9 mg ai / kg TG ausschließlich die Art *H. nitidus* getestet werden konnte, da diese Konzentration in den Akuttests über 24 Stunden bei allen anderen Arten zu einer 100%igen Schädigung geführt hatte (s. S. 67).

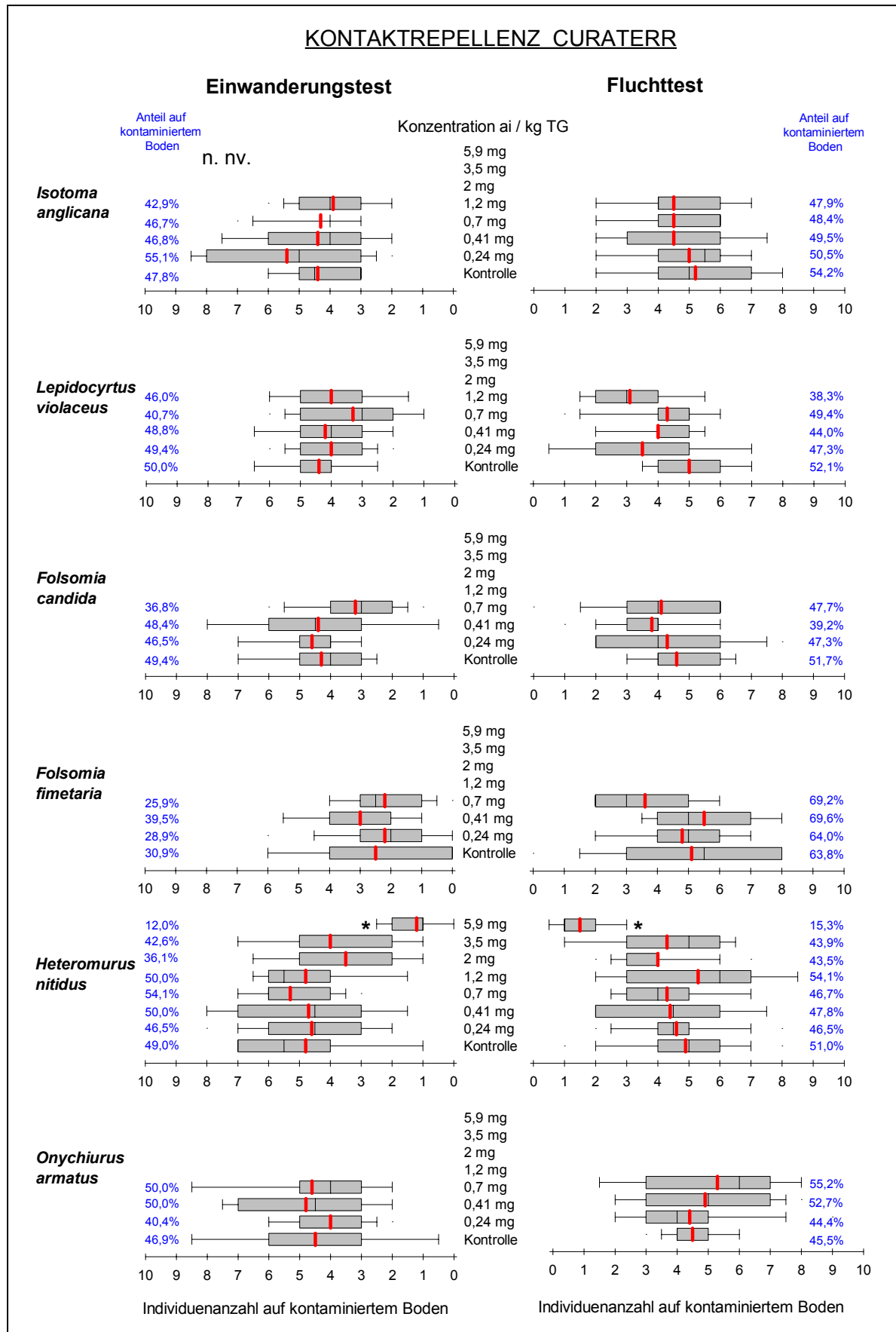


Abb. 30: Kontaktrepellenz von Curaterr in Einwanderungs- und Fluchtversuchen. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 26.

### NEEMAZAL T/S

Das Insektizid NeemAzal T/S rief bei den Collembolenarten *L. violaceus* und *F. candida* in den untersuchten Konzentrationen keine Vermeidungsreaktionen hervor (Abb. 31). Die Art *F. fimetaria* reagierte nur in den Fluchtversuchen mit einem signifikanten Rückgang des Anteils von Individuen auf der kontaminierten Fläche (ANOVA, Dunnett's Test,  $p < 0,05$ ). Bei den Arten *I. anglicana* und *O. armatus* konnte sowohl eine signifikante Hemmung der Einwanderung wie auch eine Fluchtreaktion aus dem kontaminierten Areal beobachtet werden (ANOVA bzw. Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse, Dunnett's Test,  $p < 0,05$ ). Auch die Art *H. nitidus* zeigte einen deutlichen Rückgang der mittleren Individuenzahlen auf der kontaminierten Gefäßhälfte, dennoch bestand hier kein statistisch nachweisbarer Unterschied zu den Verhältnissen in der Kontrolle. Bei *H. nitidus* war auch die bereits bei den Tests mit anderen Pflanzenschutzmitteln beobachtete Abschwächung der Reaktion bei steigenden Konzentrationen festzustellen. Insgesamt reagierte die Art *O. armatus* mit einem Rückgang des Anteils der auf der kontaminierten Fläche gefunden Tiere auf 12,7% bzw. 8,2% bei der höchsten getesteten Konzentrationsstufe am empfindlichsten auf NeemAzal T/S.

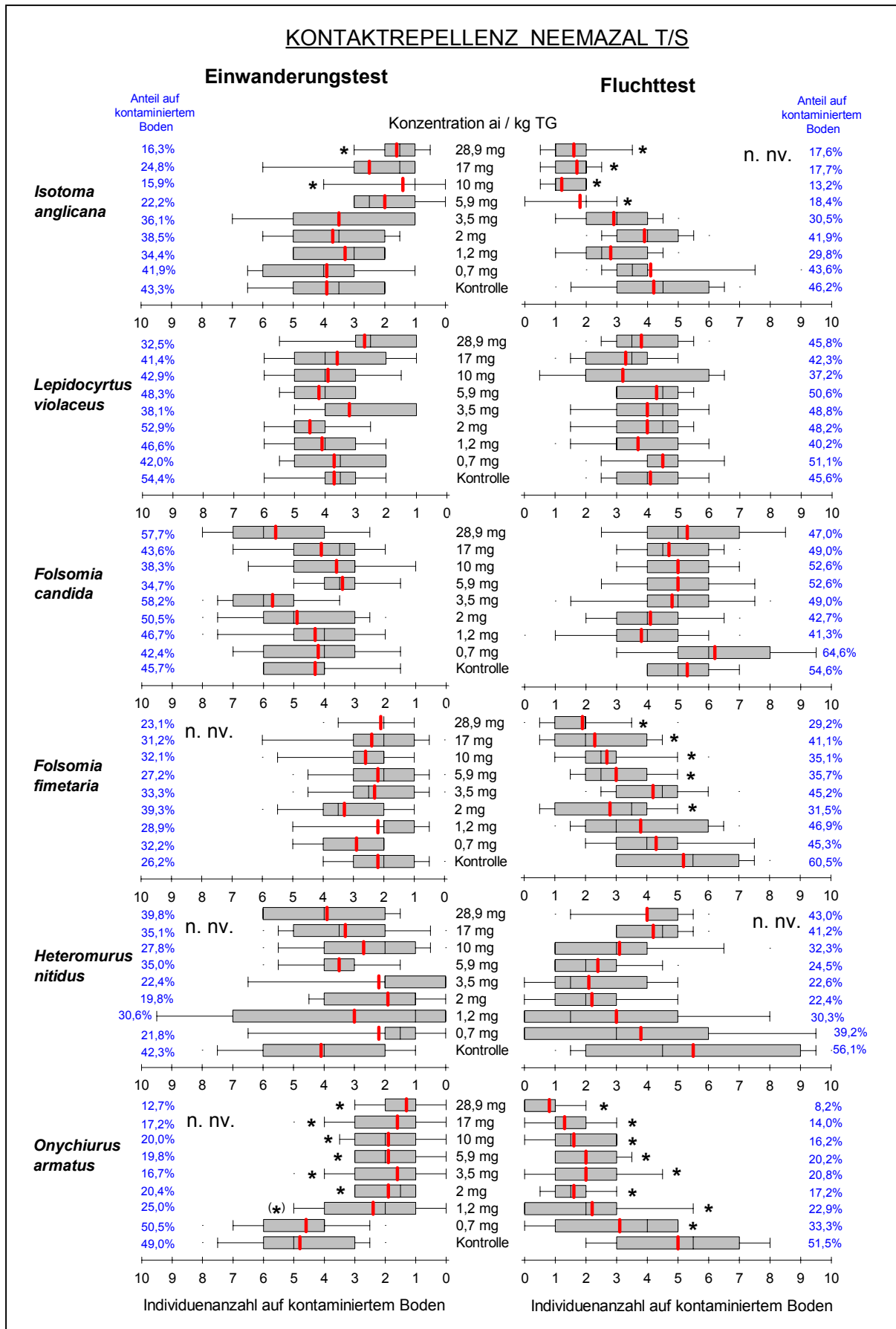


Abb. 31: Kontaktrepellenz von NeemAzal T/S in Einwanderungs- und Fluchtversuchen. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 26.



### **3.1.3.3 Abschließende Charakterisierung der Testmethode**

Zur Untersuchung der Kontaktrepellenz der sechs Pflanzenschutzmittel wurden für die Kontrollversuche und die einzelnen Konzentrationsstufen insgesamt 94 Versuchsansätze mit je 10 Replikaten durchgeführt. Davon waren je 47 Ansätze als Einwanderungs- bzw. Fluchtversuche konzipiert. Ausgehend von diesem Datenmaterial soll die entwickelte Versuchsmethode im Folgenden sowohl hinsichtlich der Variabilität der Kontrollen als auch bezüglich der Unterschiede zwischen Einwanderungs- und Fluchttests zusammenfassend charakterisiert werden. Darüber hinaus werden die Anteile der bei der Auswertung nicht wiedergefundenen Tiere dargestellt.

#### **Variabilität der Kontrollversuche**

Im Rahmen der unter Abschnitt 3.1.3.2 dargestellten Wahlversuche wurden 12 Kontrollen durchgeführt, davon 6 als Einwanderungsversuche und 6 als Fluchtversuche. Jede Kontrolle umfasste 10 Parallelen, in die jeweils 10 Tiere der 6 untersuchten Collembolenarten zusammen eingesetzt wurden. Die 12 Kontrollversuche wurden für jede Art mit einer ANOVA getestet. Dabei wurden nur für die Art *F. fimetaria* signifikante Unterschiede gefunden ( $p < 0,05$ ). Wie der daraufhin durchgeführte Tukey-Test ergab, bestanden diese Differenzen nur zwischen, nicht aber innerhalb der Einwanderungs- bzw. Fluchtversuche. Dieses Resultat stimmt mit den in Abschnitt 3.1.3.1 beschriebenen Ergebnissen der Vorversuche überein.

#### **Unterschiede zwischen Einwanderungs- und Fluchttests**

Für jede Pflanzenschutzmittelkonzentration wurden parallel je ein Einwanderungs- und ein Fluchttest angesetzt. Diese 47 Versuchspaare wurden mit Hilfe von t-Tests (Mann-Whitney U-Tests bei fehlender Normalverteilung) auf Unterschiede hin untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 26 auf S. 112-113 zusammengefasst. Besonders häufig wichen die Ergebnisse der beiden Testdesigns bei der Art *F. fimetaria* signifikant voneinander ab ( $p < 0,05$ ). Dies entspricht den bereits in Abschnitt 3.1.3.1 beschriebenen Beobachtungen, dass *F. fimetaria* bevorzugt am Ort des Einsetzens verblieb, bei Bodenkontamination dann aber doch flüchtete. Auf diese Weise kamen bei dieser Art in den Einwanderungs- und Fluchttest unterschiedliche Verteilungsmuster zustande. Aber auch für die anderen untersuchten Collembolenarten konnten in einigen Fällen signifikante Unterschiede ermittelt werden. Beim Vergleich mit den in den Abbildungen 26-31 dargestellten Verteilungen fällt auf, dass es sich dabei immer um Konzentrationsstufen handelte, bei denen sich in den Einwanderungstests

weniger Tiere auf der kontaminierten Fläche befanden als in den zugeordneten Fluchttests. Inwieweit hier Lähmungseffekte der verwendeten Mittel eine Rolle spielen könnten, wird in Abschnitt 4.1.2.4 (S. 165f.) diskutiert.

### **Anteile nicht-wiedergefundener Tiere**

Tabelle 26 zeigt auch die prozentualen Anteile von Tieren, die bei der Auswertung der Wahlversuche nicht wiedergefunden werden konnten. Es fällt auf, dass bei den Arten *L. violaceus* und *F. fimetaria* besonders viele Tiere verschwanden. Insgesamt wurden im Durchschnitt nur 85,7% der eingesetzten *L. violaceus* und 85% aller Individuen der Art *F. fimetaria* wiedergefunden. In Einzelfällen konnten nur Anteile von 68% (*L. violaceus*) bzw. 52% (*F. fimetaria*) der eingesetzten Tiere in die Testauswertung eingehen. Bei den Arten *I. anglicana*, *H. nitidus* und *O. armatus* konnten hingegen durchschnittlich 95% und mehr der eingesetzten Individuen wiedergefunden werden.

Tab. 26: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz der sechs untersuchten Pflanzenschutzmittel: Vergleich von Einwanderungs- und Fluchttests sowie Anteil nicht-wiedergefundener Tiere.

\* : signifikanter Unterschied zwischen Einwanderungstest („Einw., E“) und Fluchttest („Flucht, F“) (t-Test,  $p < 0,05$ );

\*<sub>1</sub>) : signifikanter Unterschied zwischen Einwanderungstest („Einw., E“) und Fluchttest („Flucht, F“) (Mann-Whitney U-Test,  $p < 0,05$ );

<sup>1)</sup>) : nicht normalverteilt, kein signifikanter Unterschied zur Kontrolle (Mann-Whitney U-Test).

Die Zahlenangaben bezeichnen den Anteil der bei der Testauswertung nicht wiedergefundenen Tiere in %, ausgehend von 100 eingesetzten Tieren. Anteile **über 20%** sind fettgedruckt.

+ : über 100 hinausgehender Anteil, beruht auf Fehler beim Einsetzen.

Produkt	Konzentration [mg ai / kg TG]	Design	<i>I. anglicana</i>		<i>L. violaceus</i>		<i>F. candida</i>		<i>F. fimetaria</i>		<i>H. nitidus</i>		<i>O. armatus</i>	
			E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]
Betanal	Kontrolle	Einw.	1	13	4	*	11	3	+1					
		Flucht	3	<sup>1)</sup> 8	3	7	1	4						
	0,41	Einw.	6	11	4	*	13	2	4					
		Flucht	3	<b>29</b>	5	6	1	6						
	0,7	Einw.	6	13	*	2	*	14	1	3				
		Flucht	6	18	6	6	*	15	6	5				
	1,2	Einw.	3	12	3	*	8	3	2					
		Flucht	+1	5	6	4	4	1						
	2	Einw.	<sup>1)</sup> 5	<b>22</b>	+1	5	2	0						
		Flucht	5	7	4	8	2	2						
3,5	Einw.	1	1	<b>23</b>	7	+1	10							
	Flucht	1	5	12	+2	0	2							
5,9	Einw.	2	6	3	*	5	2	2						
	Flucht	3	9	0	3	1	<sup>1)</sup> 0							
10	Einw.	3	20	11	8	<sup>1)</sup> 1	11							
	Flucht	2	6	1	2	2	<sup>1)</sup> 2							
17	Einw.	0		<b>22</b>	13		1							
	Flucht	* <sub>1</sub> ) 8		17	6		<sup>1)</sup> 10							
28,9	Einw.			<sup>1)</sup> 12			11							
	Flucht			17			* <sub>1</sub> ) 10							
Karate	Kontrolle	Einw.	<sup>1)</sup> 4	16	3	*	5	<sup>1)</sup> 2	1					
		Flucht	3	9	1	0	4	4						
	1,2	Einw.	3	<b>26</b>	4	10	4	3						
		Flucht	3	15	2	8	1	4						
	2	Einw.	*	3	14	8	*	6	2					
		Flucht	7	13	8	12	1	1						
	3,5	Einw.	*	9	<sup>1)</sup> 18	3	13	2	5					
		Flucht	9	<b>22</b>	5	20	1	2						
5,9	Einw.	*	5	<b>25</b>	2	*	20	2	4					
	Flucht	11	<b>23</b>	6	11	1	<sup>1)</sup> 3							
10	Einw.	1	20	6	18	3	5							
	Flucht	2	10	8	14	1	3							
17	Einw.		10	2	8	4	3							
	Flucht		<b>26</b>	4	17	3	2							
28,9	Einw.		* 10	3		* 1	* 5							
	Flucht		11	7		7	4							
Cymbush	Kontrolle	Einw.	2	9	8	*	<b>24</b>	2	6					
		Flucht	1	12	12	14	0	6						
	3,5	Einw.	6	18	12	*	15	1	2					
		Flucht	5	14	4	17	0	8						
	5,9	Einw.	*	8	7	5	13	2	7					
		Flucht	5	10	5	7	5	10						
	10	Einw.	1	14	4	12	0	8						
		Flucht	1	13	5	12	2	+6						
17	Einw.	5	8	5	13	1	10							
	Flucht	2	9	1	15	7	6							
28,9	Einw.	6	* 8	4	*	19	5	4						
	Flucht	9	4	9	15	2	9							
37,7	Einw.				17	3	4							
	Flucht				17	3	5							
49,1	Einw.				*	<b>27</b>	1	0						
	Flucht				14	0	2							

(Fortsetzung der Tabelle auf der gegenüberliegenden Seite.)

Tab. 26 (Fortsetzung)

Produkt	Konzentration [mg ai / kg TG]	Design	<i>I. anglicana</i>		<i>L. violaceus</i>		<i>F. candida</i>		<i>F. fimetaria</i>		<i>H. nitidus</i>		<i>O. armatus</i>	
			E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]	E / F	Fehlende Tiere [%]
Croneton	Kontrolle	Einw.		3		9		6		15		7		7
		Flucht		6		10		<sup>1)</sup> 7	*	13		7		6
	5,9	Einw.		6		12		5		17		3		3
		Flucht		12		17		8		10		4		5
	10	Einw.		1		<b>29</b>		5		13		<b>*</b> 3		6
		Flucht		12		<b>22</b>		2		31		1		8
	17	Einw.		6		19						3		6
		Flucht		4		<b>24</b>						5		5
Curaterr	Kontrolle	Einw.		8		12		13		<b>*</b> 19		2		<sup>1)</sup> 4
		Flucht		4		4		11		20		4		1
	0,24	Einw.		2		19		<sup>1)</sup> 1		<b>24</b>		1		1
		Flucht		1		<b>26</b>		9		<b>25</b>		1		1
	0,41	Einw.		6		14		9		<b>*</b> 24		6		4
		Flucht		9		9		3		<b>21</b>		8		7
	0,7	Einw.		<sup>1)</sup> 8		19		13		15		2		8
		Flucht		7		13		14		<b>48</b>		8		4
	1,2	Einw.		9		13						4		
		Flucht		6		19						2		
	2	Einw.										3		
		Flucht										8		
3,5	Einw.										6			
	Flucht										2			
5,9	Einw.										<sup>1)</sup> 0			
	Flucht										2			
NeemAzal T/S	Kontrolle	Einw.		10		<b>32</b>		6		<b>*</b> 16		3		2
		Flucht		9		10		3		14		2		3
	0,7	Einw.		<sup>1)</sup> 7		12		1		10		<sup>1)</sup> +1		9
		Flucht		6		12		4		5		3		7
	1,2	Einw.		4		12		8		<b>24</b>		<sup>1)</sup> 2		4
		Flucht		2		8		8	<sup>1)</sup>	19		1		4
	2	Einw.		4		15		3		16		4		<sup>1)</sup> 7
		Flucht		7		17		4		11		2		7
	3,5	Einw.		3		<sup>1)</sup> 16		2		<b>*</b> 31		<sup>1)</sup> 2		4
		Flucht		5		18		2		7		7		4
	5,9	Einw.		<sup>1)</sup> 10		13		<b>*</b> 2		<sup>1)</sup> 19		0		4
		Flucht		2		15		5	<sup>1)</sup>	16		2		1
10	Einw.		<sup>1)</sup> 12		9		6		<sup>1)</sup> 19		3		5	
	Flucht		9		14		5	<sup>1)</sup>	<b>23</b>		4		1	
17	Einw.		+1		13		6		<b>23</b>		6		<sup>1)</sup> 7	
	Flucht		4		<b>22</b>		4		<b>44</b>		+2		7	
28,9	Einw.		<sup>1)</sup> 2		17		3		<sup>1)</sup> 9		2		+2	
	Flucht		9		17		7	<sup>1)</sup>	<b>35</b>		7		3	
MITTELWERT				5,1		14,3		6,2		15,0		2,8		4,6

### **3.1.3.4 Kontaktrepellenz der Wirkstoffe und Leerformulierungen**

Die Frage, ob die unter Abschnitt 3.1.3.2 beschriebenen Meidereaktionen tatsächlich von den aktiven Wirkstoffen der Pflanzenschutzmittel oder durch andere Bestandteile der Formulierungen hervorgerufen worden sind, sollte durch Wahlversuche mit den aktiven Wirkstoffen und – soweit vorhanden – den Leerformulierungen der Produkte untersucht werden. Alle Substanzen wurden in Konzentrationsstufen getestet, die den höchsten für die einzelnen Arten verwendeten Pflanzenschutzmittelkonzentrationen in mg ai / kg TG in den oben beschriebenen Wahlversuchen entsprachen. Die Ergebnisse wurden mittels eines t-Tests (bzw. Mann-Whitney U-Tests bei fehlender Normalverteilung) gegen die jeweilige Kontrolle getestet. Es wurden ausschließlich Einwanderungstests durchgeführt. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden die bereits besprochenen Ergebnisse der Wahlversuche mit den Handelsprodukten im Folgenden nochmals in die Darstellungen mit aufgenommen.

#### **BETANAL / PHENMEDIPHAM / LEERFORMULIERUNG**

Wie Abbildung 32 zeigt, wichen die Verteilungen der einzelnen Collembolenarten auf der mit Phenmedipham kontaminierten Seite der Versuchsgefäße nicht von jenen der Kontrollversuche ab (t-Test,  $p > 0,05$ ). Demgegenüber führte die Leerformulierung von Betanal genau wie das Betanal selbst bei allen Arten bis auf *F. fimetaria* zu einer statistisch absicherbaren Meidereaktion in den Wahlversuchen (t-Test bzw. Mann-Whitney U-Test,  $p < 0,05$ ).

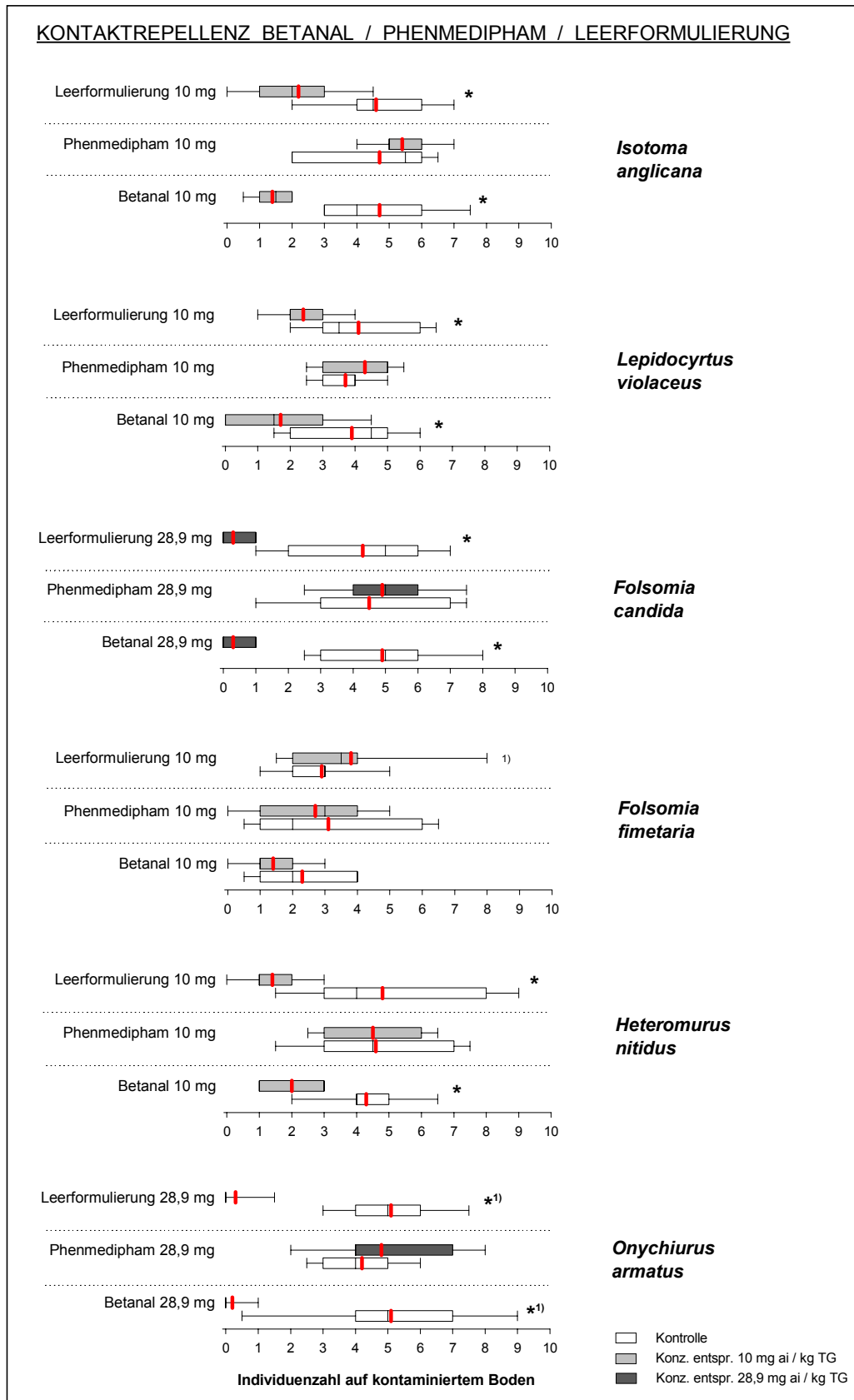


Abb. 32: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz des aktiven Wirkstoffs und der Leerformulierung des Herbizids Betanal (Einwanderungstests). In die Boxplots gehen die Anzahlen der auf kontaminiertem Boden wiedergefundenen Individuen aus 10 Replikaten ein. Boxplotdarstellung wie in Abbildung 25.

\* : signifikanter Unterschied zur Kontrolle (t-Test), \*<sup>1)</sup> : signifikanter Unterschied zur Kontrolle (U-Test);

<sup>1)</sup>: nicht normalverteilt, kein signifikanter Unterschied zur Kontrolle (U-Test).

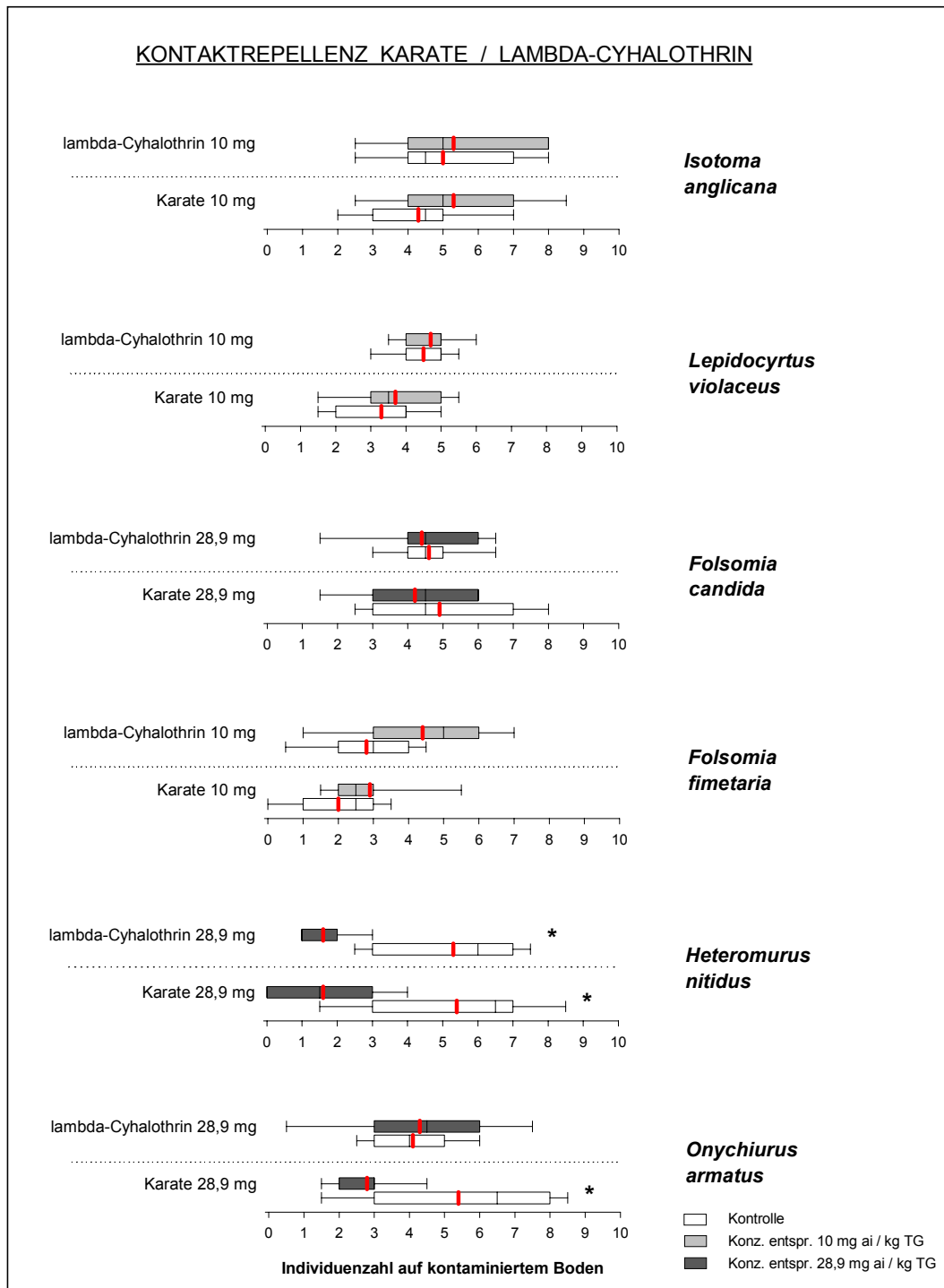
KARATE /  $\lambda$ -CYHALOTHRIN

Abb. 33: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz des aktiven Wirkstoffs des Insektizids Karate (Einwanderungstests). Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 32.

Die Kontamination des Bodens mit Karate löste in den dargestellten Konzentrationen nur bei den Arten *H. nitidus* und *O. armatus* eine Meidereaktion aus (t-Test,  $p < 0,05$ , Abb. 33). In den Versuchen mit dem aktiven Wirkstoff  $\lambda$ -Cyhalothrin war bei *H. nitidus* ein ähnliches Verhalten zu beobachten, nicht jedoch bei *O. armatus* (t-Test,  $p > 0,05$ ).

**CYBUSH / CYPERMETHRIN**

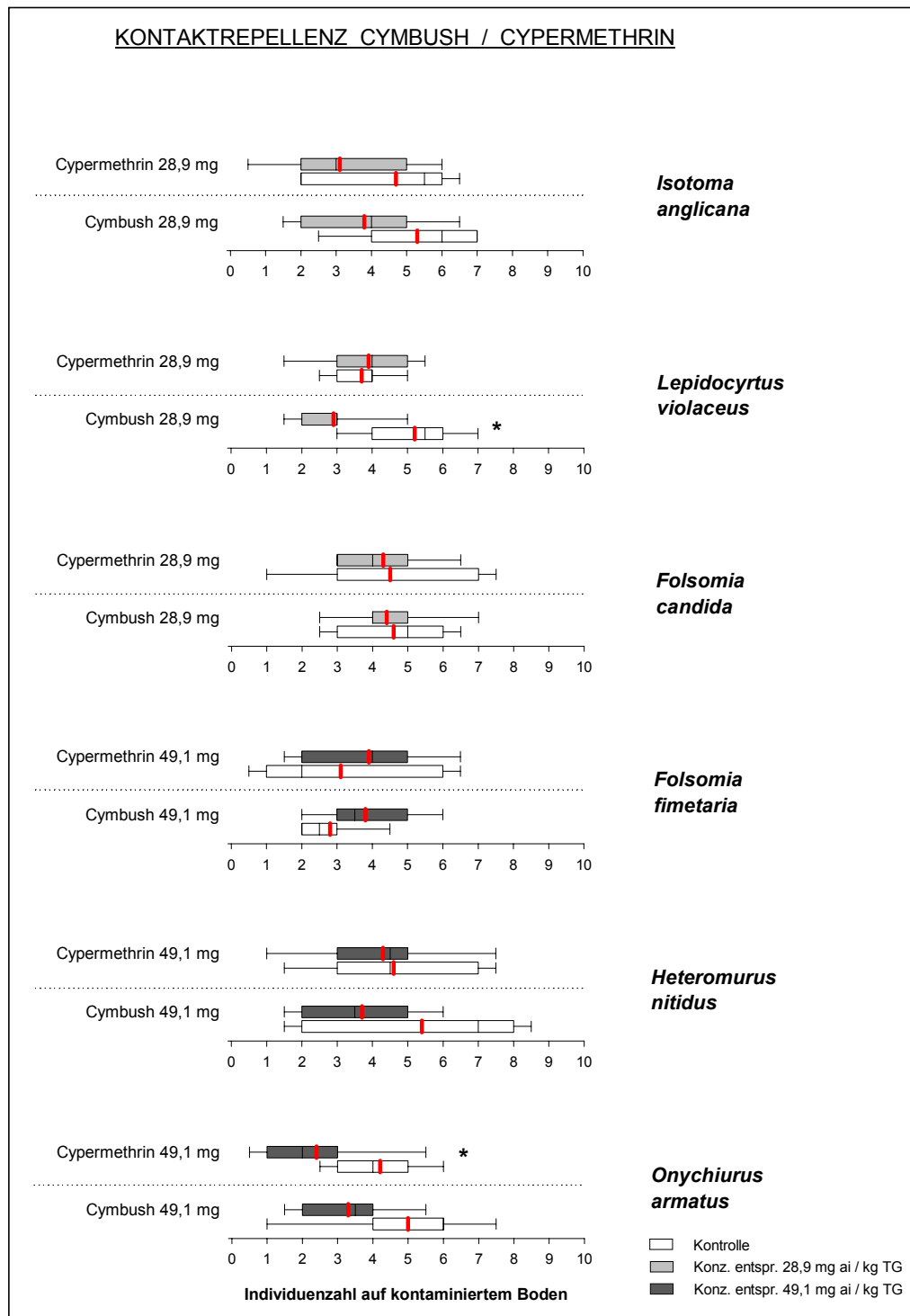


Abb. 34: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz des aktiven Wirkstoffs des Insektizids Cymbush (Einwanderungstests). Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 32.

Der aktive Wirkstoff Cypermethrin führte bei *I. anglicana* und *O. armatus* zu einer erkennbaren, bei *O. armatus* auch signifikanten Reduzierung des Anteils von Tieren auf der kontaminierten Fläche (t-Test,  $p < 0,05$ , Abb. 34). *L. violaceus* reagierte auf zwar auf Cymbush, aber nicht auf Cypermethrin.



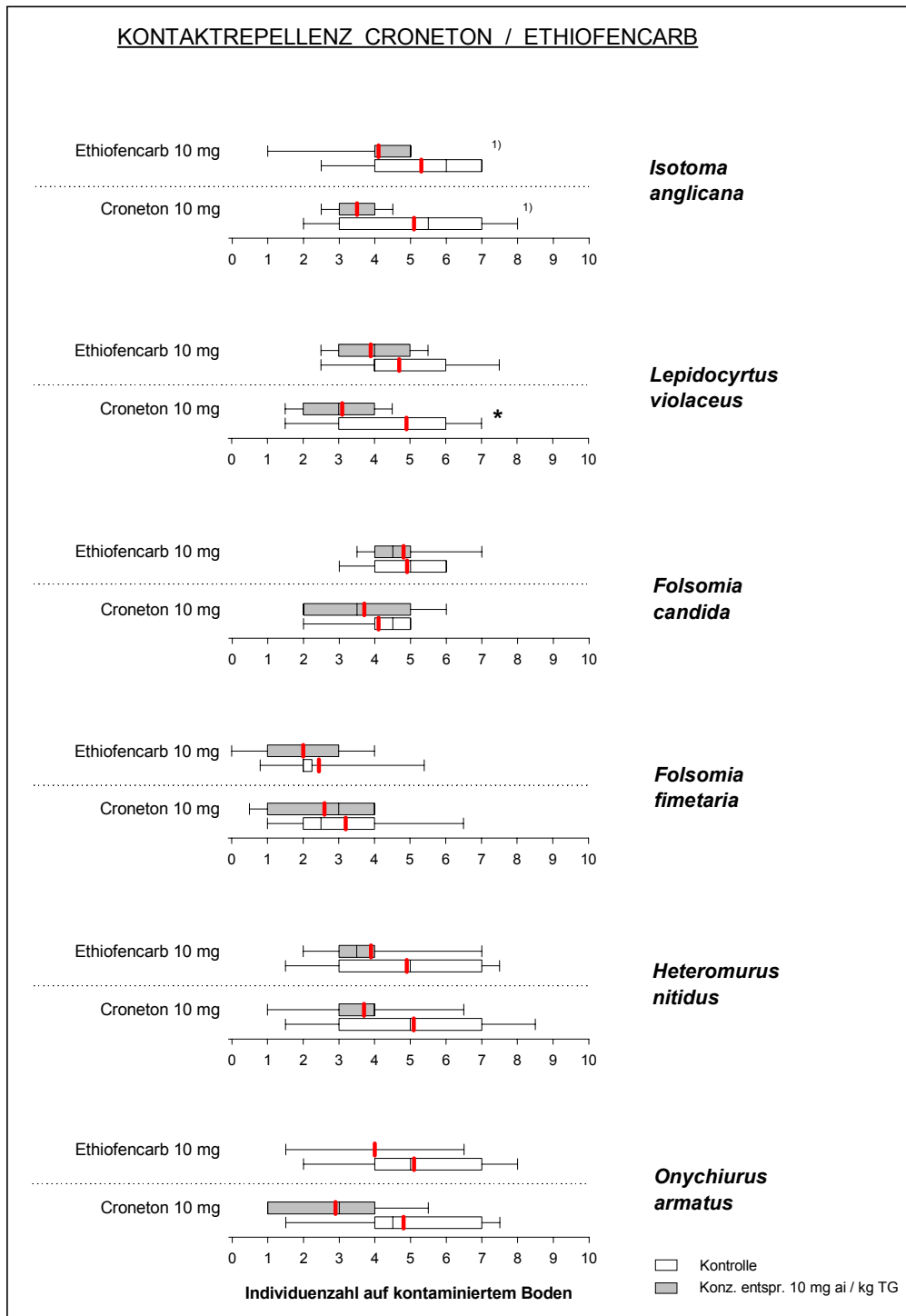
CRONETON / ETHIOFENCARB

Abb. 35: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz des aktiven Wirkstoffs des Insektizids Croneton (Einwanderungstests). Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 32.

Durch den aktiven Wirkstoff Ethiofencarb wurde die Einwanderung der untersuchten Collembolenarten (bis auf *F. candida* und *F. fimetaria*) in das kontaminierte Areal etwas schwächer gehemmt als durch das Croneton (Abb. 35). Signifikante Abweichungen zur Kontrollverteilung traten bei Ethiofencarb nicht auf.

CURATERR / CARBOFURAN

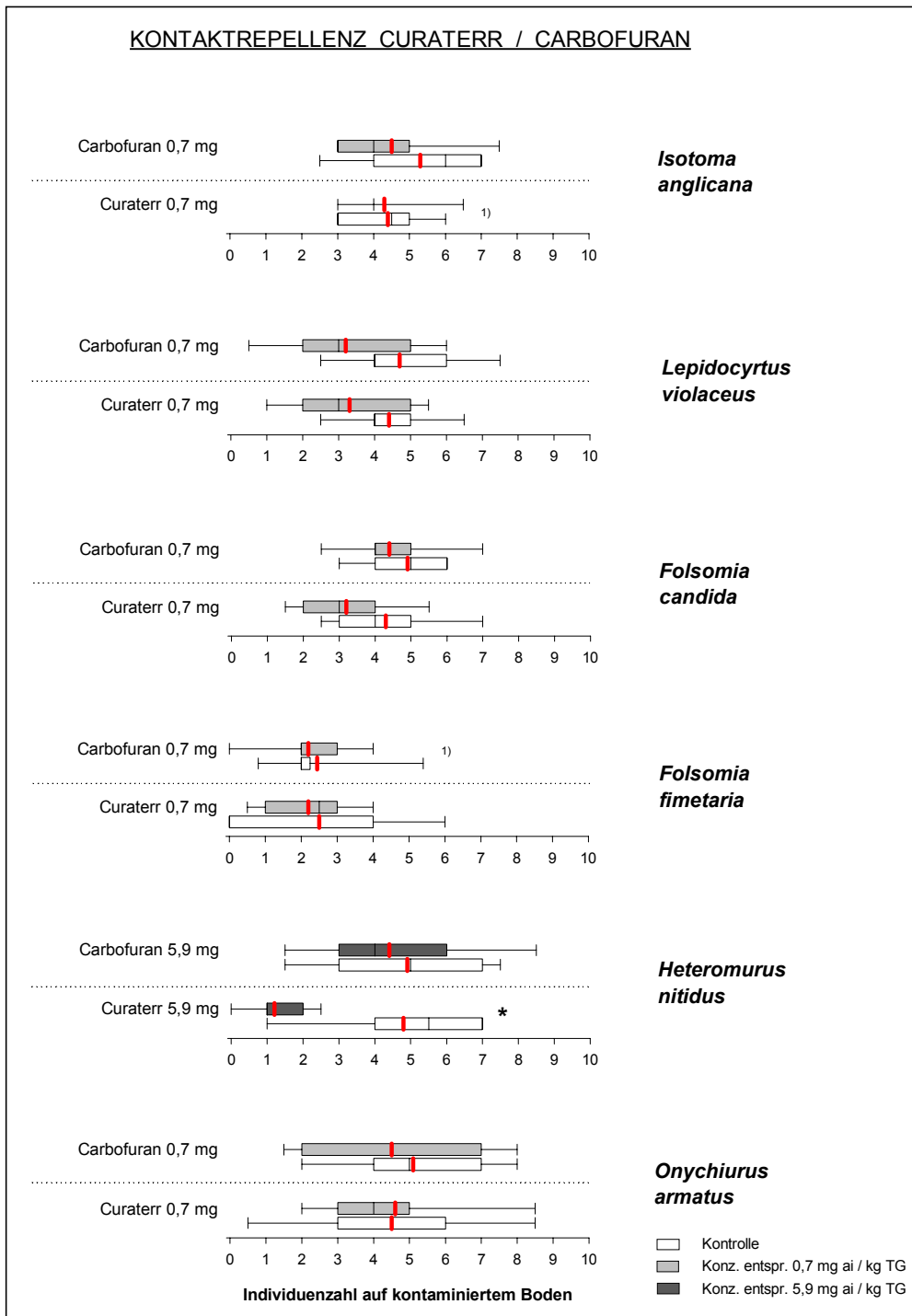


Abb. 36: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz des aktiven Wirkstoffs des Insektizids Curaterr (Einwanderungstests). Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 32.

Curaterr induzierte nur bei der bei Art *H. nitidus* eine von der Kontrolle abweichende Verteilung der Tiere in den Versuchsgefäßen, allerdings erst bei einer Konzentration von 5,9 mg ai / kg TG (t-Test,  $p < 0,05$ ). Dieses Ergebnis ließ sich durch den aktiven Wirkstoff Carbofuran nicht reproduzieren (Abb. 36).

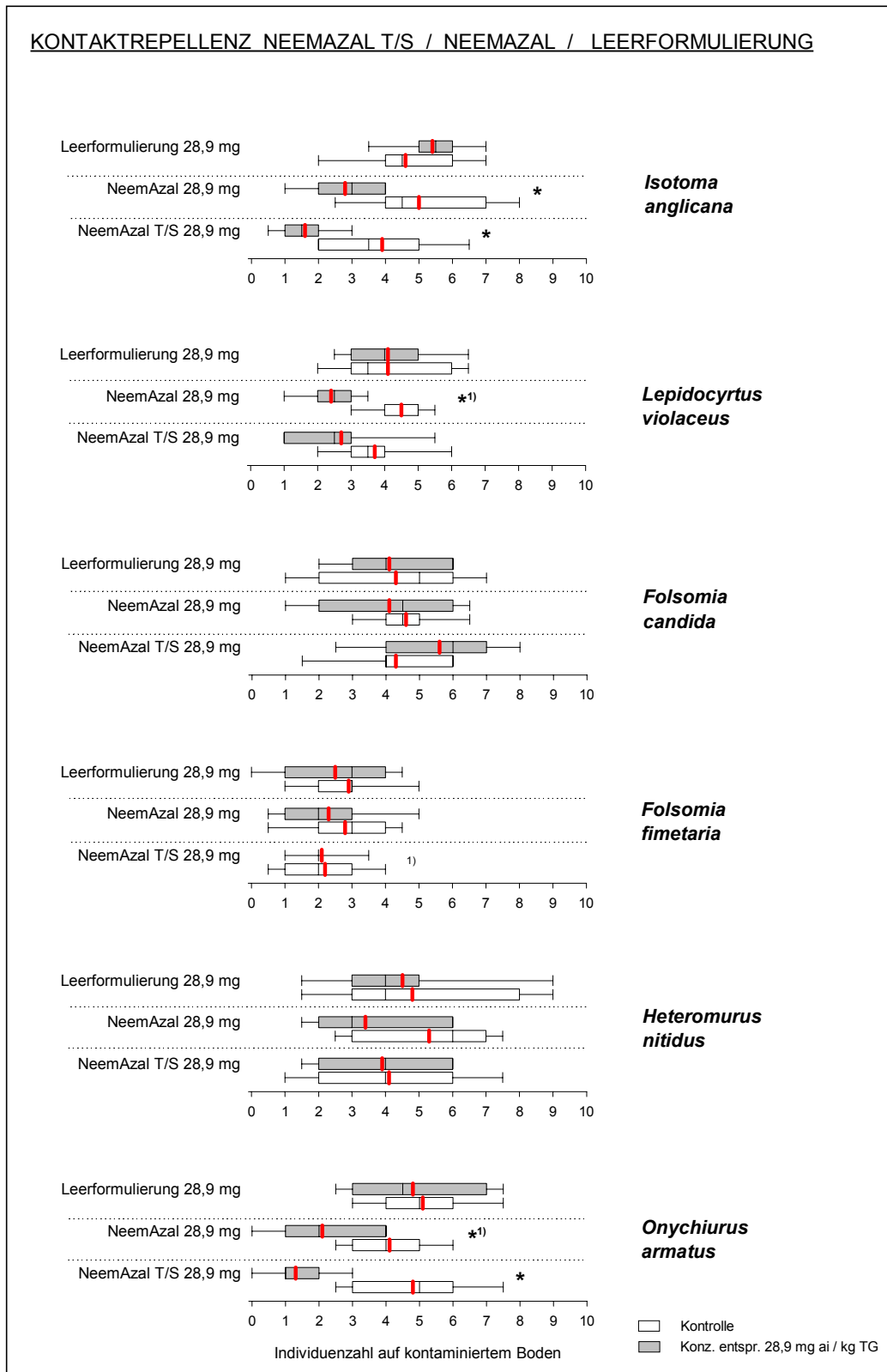
NEEMAZAL T/S / NEEMAZAL / LEERFORMULIERUNG

Abb. 37: Wahlversuche zur Kontaktrepellenz des aktiven Wirkstoffs (zu 35% in NeemAzal) und der Leerformulierung des Insektizids NeemAzal T/S (Einwanderungstests). Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 32.

Die Leerformulierung von NeemAzal T/S hatte bei keiner der untersuchten Arten einen Einfluss auf die Verteilung der Tiere (t-Test,  $p > 0,05$ , Abb. 38). Der Neemkernextrakt NeemAzal (der 35% des aktiven Wirkstoffs Azadirachtin A enthält) führte hingegen bei jenen Arten, die auch schon durch NeemAzal T/S von der Einwanderung in das kontaminierte Areal abgehalten worden waren (*I. anglicana* und *O. armatus*), ebenfalls zu einem signifikanten Rückgang des Anteils von Tieren auf der behandelten Fläche (t-Test, bzw. Mann-Whitney U-Test,  $p < 0,05$ ). *L. violaceus* und *H. nitidus* reagierten sogar stärker auf den Wirkstoff als auf das Handelsprodukt.

### 3.1.4 Versuche zur Olfaktorischen Repellenz

#### WAHLVERSUCH OLFAKTORISCHE REPELLENZ

<i>Art:</i>	<i>Onychiurus armatus</i>
<i>Substrat:</i>	Filterpapier als Lauffläche
<i>Parallelen:</i>	20-25
<i>Individuen / Parallele:</i>	1
<i>Dauer:</i>	15 min
<i>Ort:</i>	Labor mit Tageslicht, 22°C
<i>Endpunkt:</i>	Aufenthalt im Abstand zur Reizquelle

Die in den Wahlversuchen zur Kontaktrepellenz festgestellten Meidereaktionen der Collembolen können durch den direkten Körperkontakt mit der jeweiligen Substanz oder durch einen olfaktorischen Reiz ausgelöst worden sein. Die Wirkung des rein olfaktorischen Stimulus wurde exemplarisch an der Collembolenart *O. armatus* untersucht. Im Folgenden werden die Ergebnisse für die einzelnen Pflanzenschutzmittel, Leerformulierungen und Wirkstoffe dargestellt. Die Zahl der registrierten Aufenthaltshäufigkeiten, genaue Prozentangaben, Mittelwerte und Standardabweichungen sowie die Anzahlen der Replikate sind in Anhang 3 zusammengestellt. Eine Zusammenfassung der statistischen Auswertung durch  $\chi^2$ -Tests liefert Anhang 4.

BETANAL

Wie Abbildung 38 zeigt, waren die untersuchten Individuen der Art *O. armatus* in der Lage, Betanal in 0,1%iger Verdünnung ohne direkten Kontakt wahrzunehmen und diesen Stimulus zu meiden. Diese Reaktion wurde mit zunehmender Konzentration stärker, so dass bei reinem Betanal ein Abstand von 1,6 cm von der Reizquelle nicht mehr unterschritten wurde. Die Leerformulierung lieferte sehr ähnliche Ergebnisse. Gegenüber dem aktiven Wirkstoff Phenmedipham verhielten sich die Tiere indifferent, alle Felder der Versuchsanordnung wurden ähnlich wie in der Kontrolle gleichmäßig besucht.

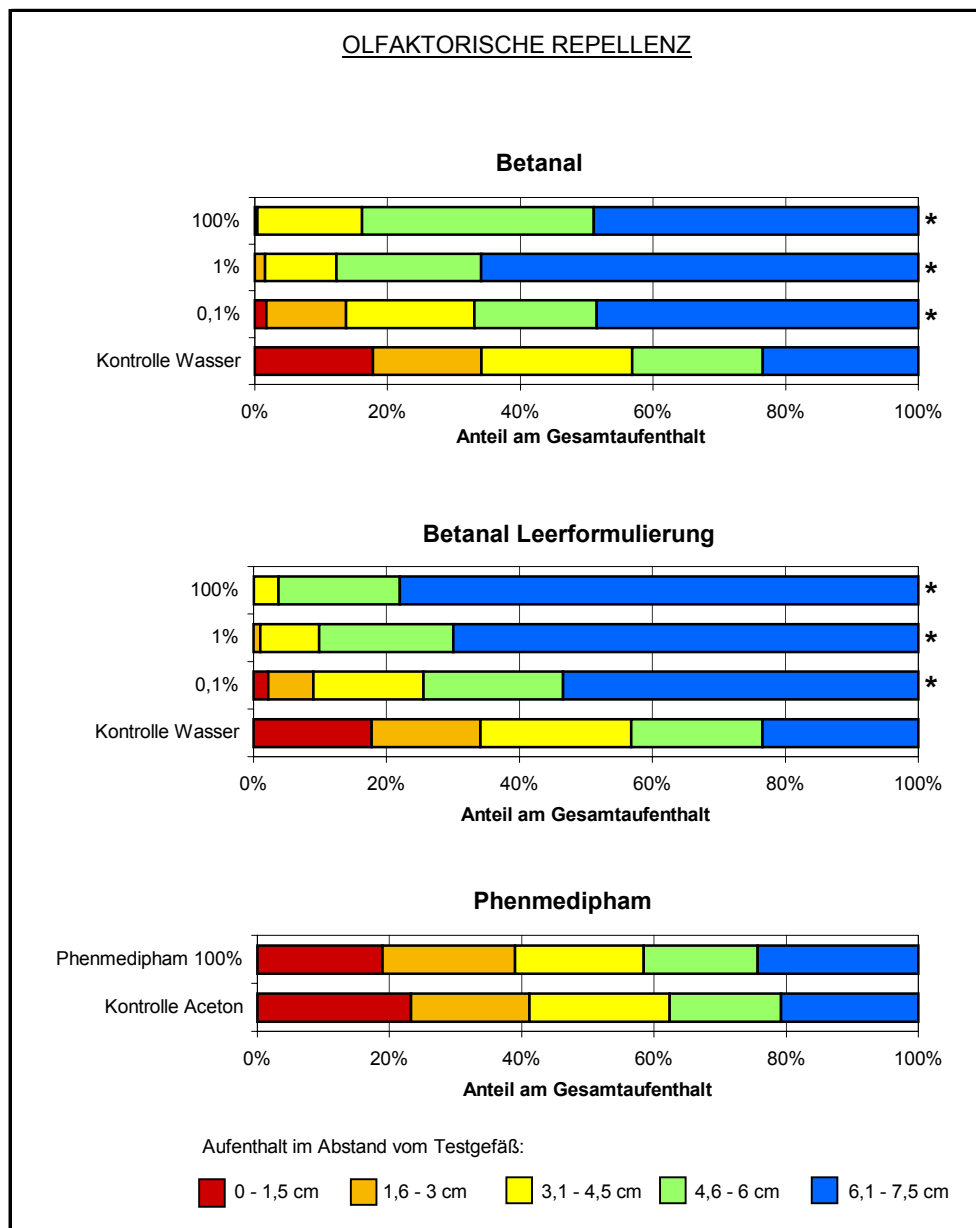


Abb. 38: Versuche zur olfaktorischen Repellenz des Herbizids Betanal, einer Leerformulierung und des aktiven Wirkstoffs Phenmedipham mit der Collembolenart *O. armatus*. Dargestellt sind die mittleren Anteile des Aufenthaltes der Tiere auf den einzelnen Feldern des Versuchesgefäßes (= Abstände zur Testsubstanz) während der Versuchslaufzeit von 15 min., n = 20 – 25.

\* : signifikanter Unterschied zur Kontrollverteilung (chi<sup>2</sup>-Test, p<0,05).

KARATE

Weder reines Karate noch der reine Wirkstoff  $\lambda$ -Cyhalothrin riefen bei *O. armatus* eine von der Kontrolle abweichende Verteilung der Tiere auf den fünf Feldern der Versuchsanordnung hervor (Abb. 39). Ein Meideverhalten gegenüber einem olfaktorischen Reiz war somit nicht zu beobachten.

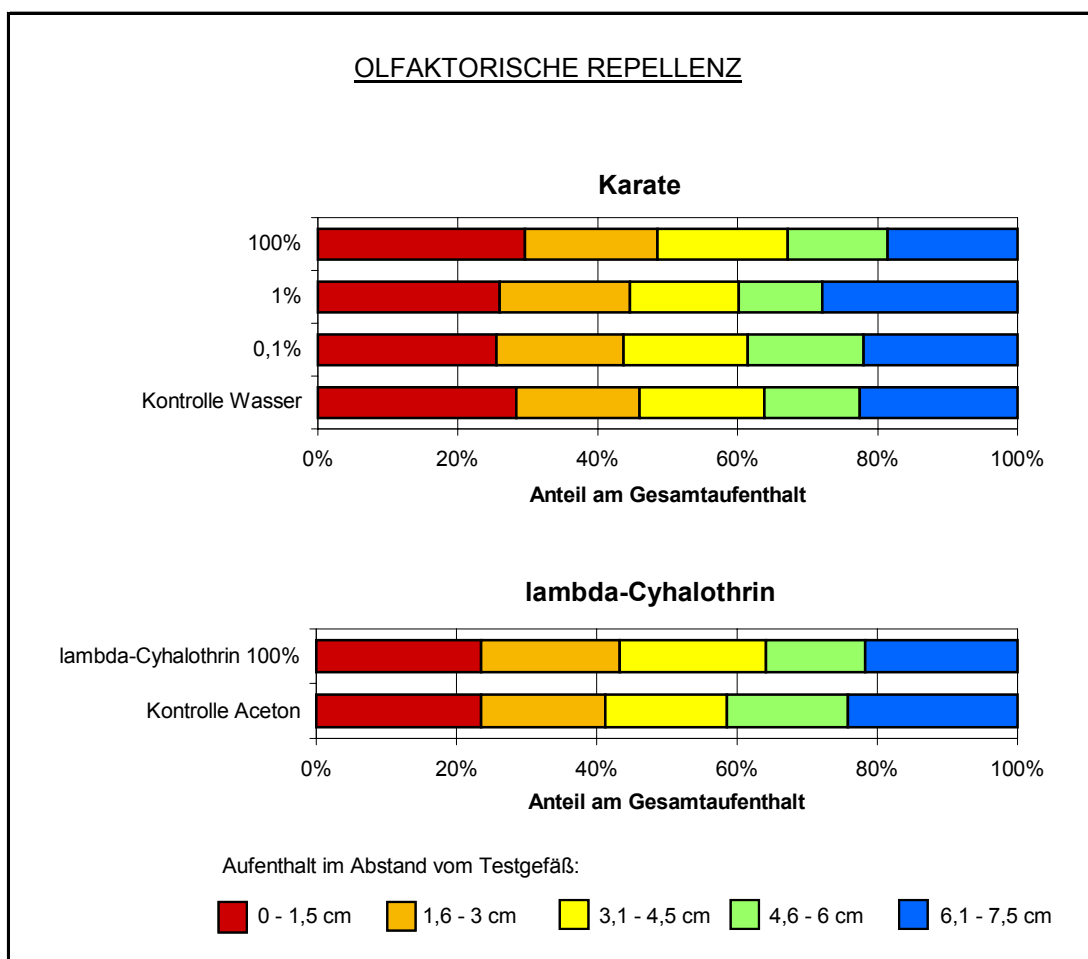


Abb. 39: Versuche zur olfaktorischen Repellenz des Insektizids Karate und des aktiven Wirkstoffs  $\lambda$ -Cyhalothrin mit der Collembolenart *O. armatus*. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 38.

CYMBUSH

Eine 0,1%ige Lösung von Cymbush rief bei *O. armatus* eine signifikante Verringerung des Aufenthalts in der unmittelbaren Nähe des Stimulus hervor (Abb. 40). Diese Reaktion nahm mit steigender Konzentration zu. Bei Verwendung von reinem Cymbush wurden die bis 4,5 cm von der Reizquelle entfernten Felder der Versuchsanordnung gemieden. 100%iges Cymbush wirkte jedoch nach wenigen Minuten lähmend auf die Versuchstiere, so dass der Versuch meist nach der Hälfte der Versuchszeit abgebrochen werden musste. Die entsprechende Verteilung in Abbildung 40 setzt sich daher nur aus Daten der ersten 5-8 Beobachtungsminuten zusammen. Reines Cypermethrin löste dagegen keinerlei von der Kontrolle abweichende Reaktion aus.

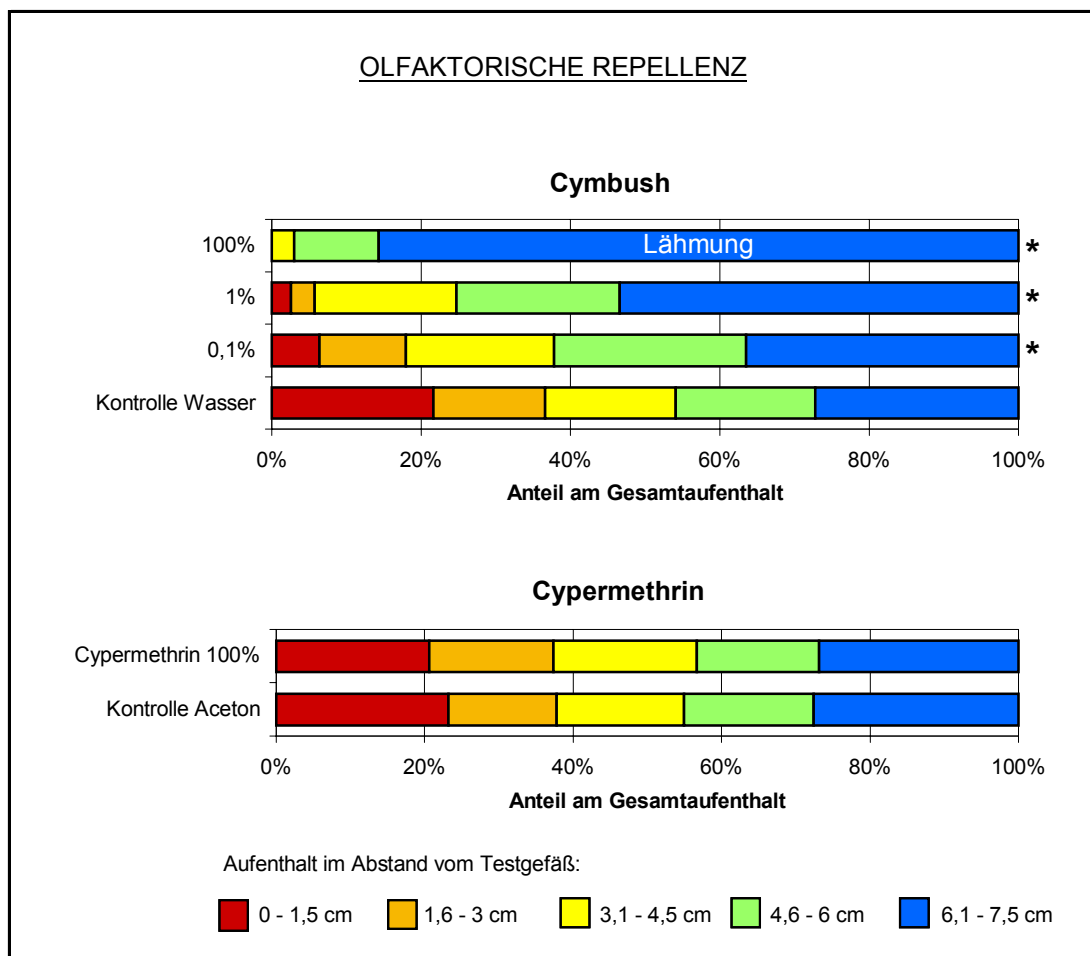


Abb. 40: Versuche zur olfaktorischen Repellenz des Insektizids Cymbush und des aktiven Wirkstoffs Cypermethrin mit der Collembolenart *O. armatus*. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 38.

CRONETON

Auch Croneton führte bereits in der niedrigsten getesteten Konzentration von 0,1% zur einer Verringerung des Aufenthaltes der Tiere in unmittelbarer Nähe der Reizquelle (Abb. 41). Bei der 1%igen Lösung war eine Verstärkung der Reaktion zu beobachten, so dass die beiden Felder bis zu einer Entfernung von 3 cm vom Stimulus vollständig gemieden wurden. Reines Croneton führte innerhalb von etwa 3 Minuten nach dem Einsetzen der Tiere zu starken Lähmungserscheinungen. Aufgrund der so beeinträchtigten Lokomotionsfähigkeit konnten bei dieser Konzentrationsstufe nur wenige Werte zu Beginn der Versuche registriert werden. Der reine Wirkstoff Ethiofencarb führte im Vergleich zur Kontrolle zu einer leichten aber signifikanten Verschiebung der Aufenthaltsverteilung.

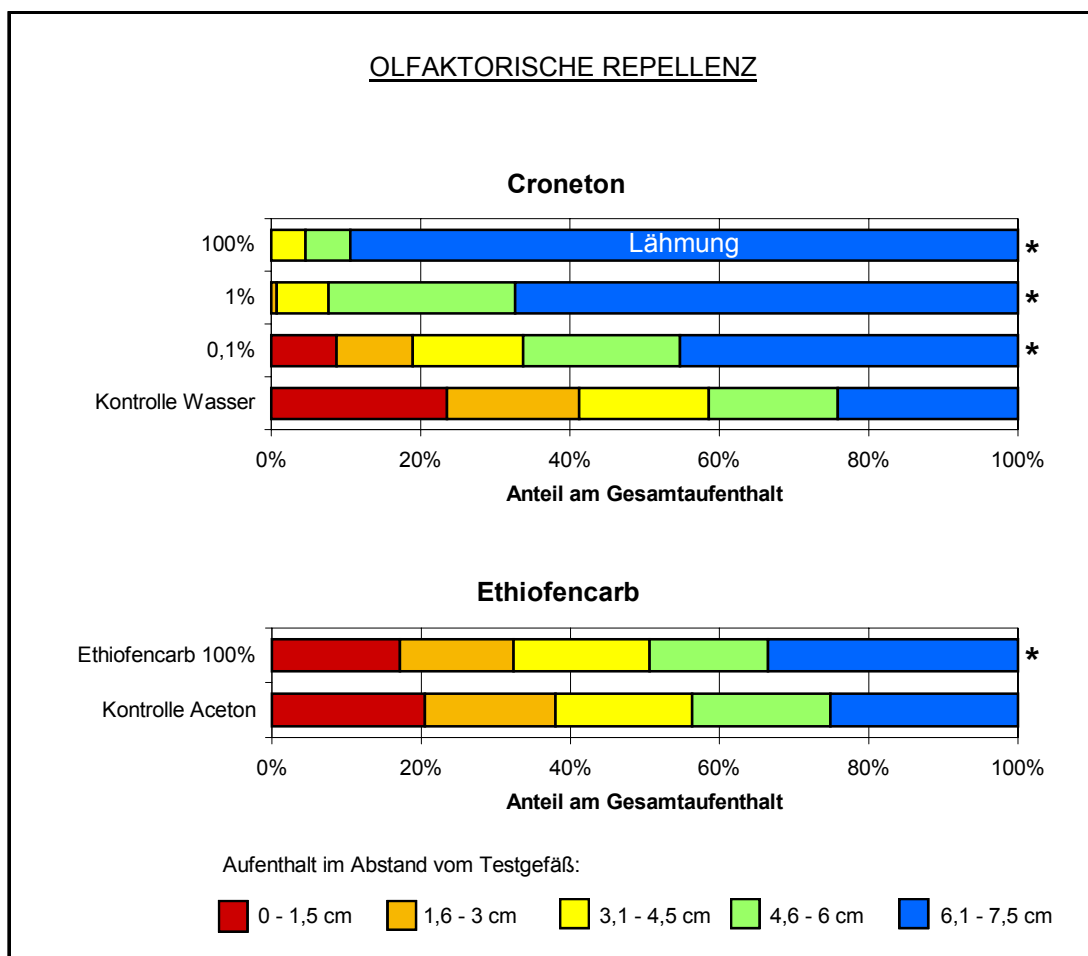


Abb. 41: Versuche zur olfaktorischen Repellenz des Insektizids Croneton und des aktiven Wirkstoffs Ethiofencarb mit der Collembolenart *O. armatus*. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 38.



CURATERR

Curaterr als olfaktorischer Stimulus führte in den Konzentrationen 1% und 100% zu einem von der Kontrollverteilung abweichenden Aufenthalt der Vertreter von *O. armatus* auf den fünf Feldern der Versuchsanordnung (Abb. 42). Bei Verwendung des reinen Wirkstoffs Carbofuran war die Aufenthaltshäufigkeit auf den einzelnen Feldern gegenüber dem Kontrollversuch nicht verändert.

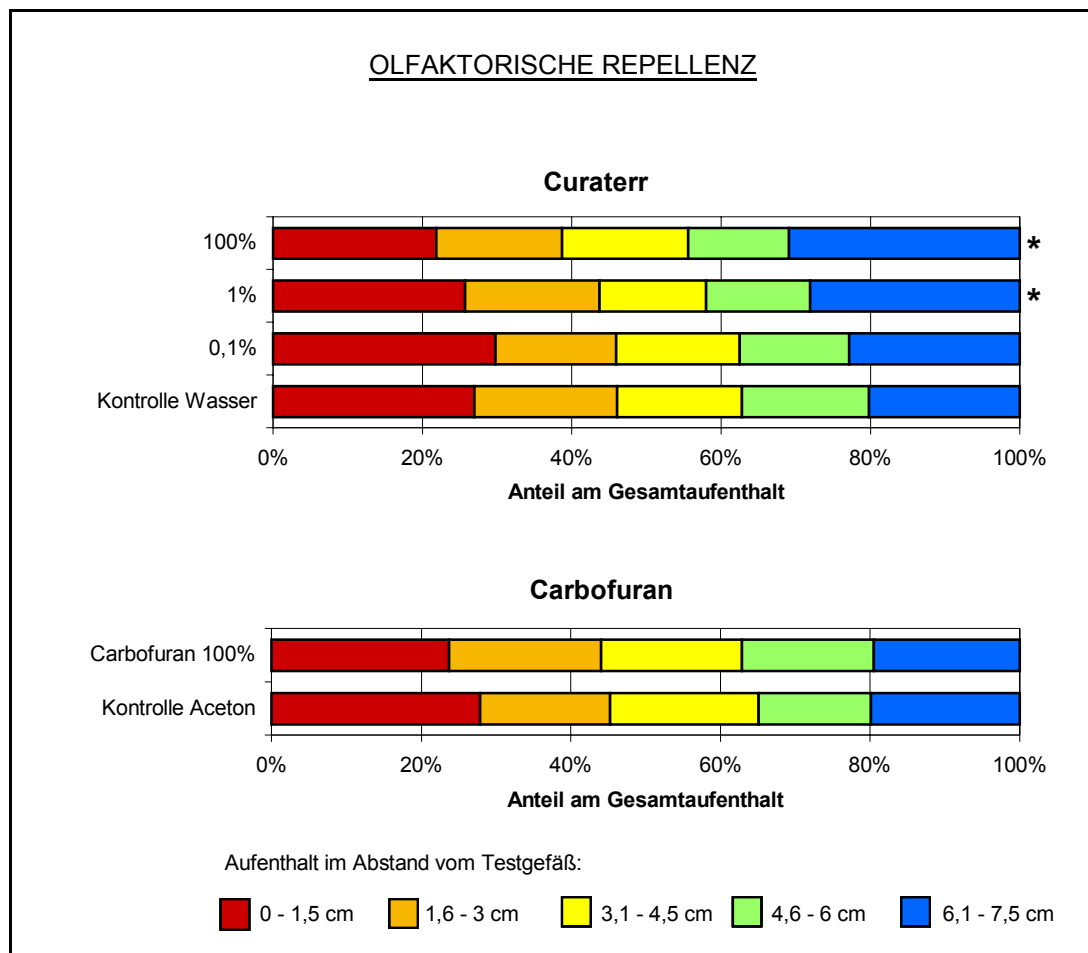


Abb. 42: Versuche zur olfaktorischen Repellenz des Insektizids Curaterr und des aktiven Wirkstoffs Carbofuran mit der Collembolenart *O. armatus*. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 38.

NEEMAZAL T/S

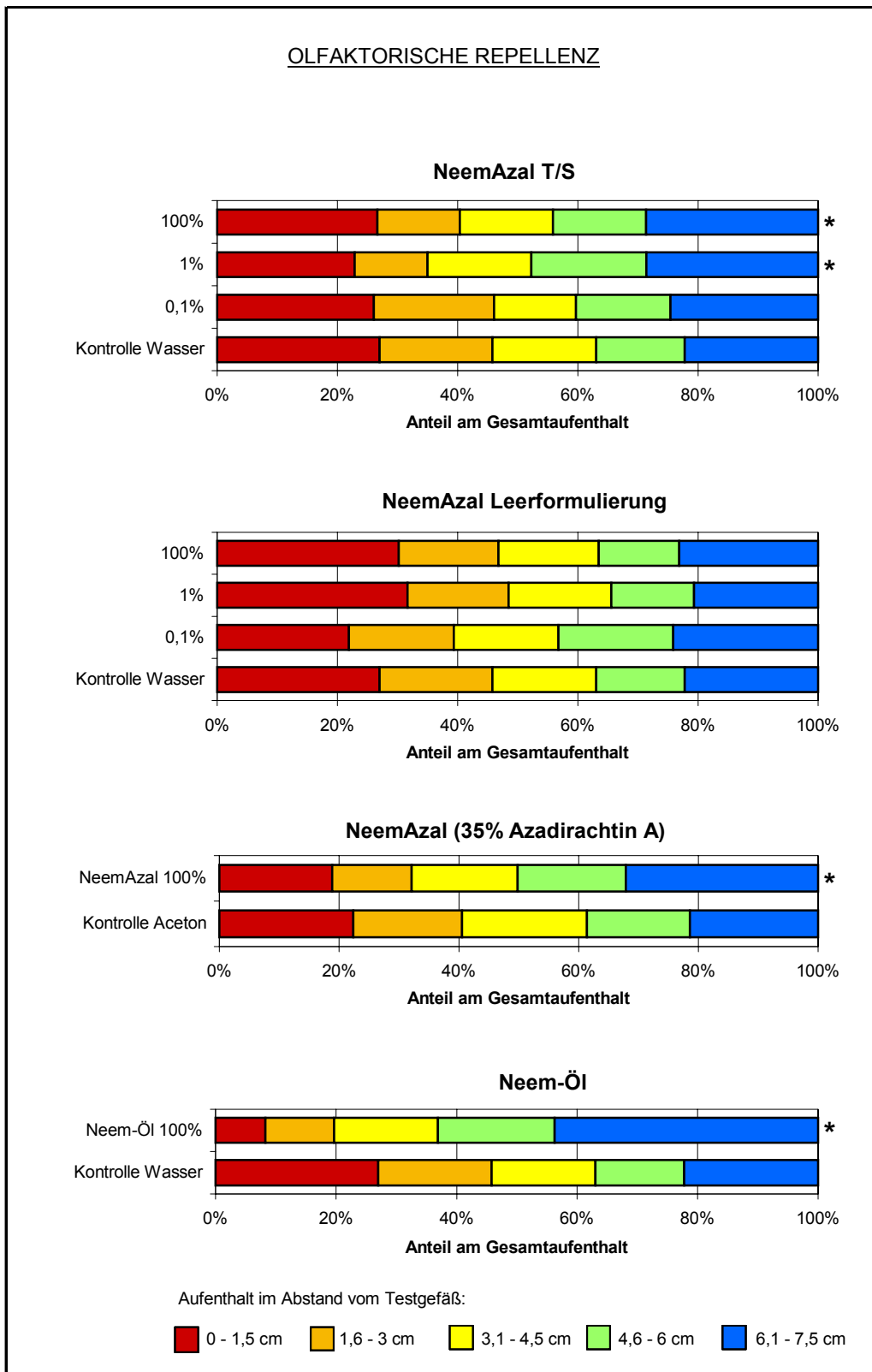


Abb. 43: Versuche zur olfaktorischen Repellenz des Insektizids NeemAzal, einer Leerformulierung, des Neemkernextraktes NeemAzal und kaltgepressten Neem-Öls mit der Collembolenart *O. armatus*. Darstellung und Beschriftung wie in Abbildung 38.

Eine 0,1%ige NeemAzal T/S-Lösung führte nicht zu einer Verteilungsänderung gegenüber dem Kontrollversuch (Abb. 43). Bei 1% und 100% war dagegen eine Verschiebung der Verteilung der Aufenthaltshäufigkeiten zu beobachten, die auf eine Meidereaktion hindeuten. Demgegenüber konnten für die Leerformulierung keine Unterschiede zur Kontrolle festgestellt werden.

Der Neemkernextrakt NeemAzal rief wie das NeemAzal T/S eine Bevorzugung des reizentferntesten Feldes der Versuchsanordnung durch *O. armatus* hervor. Die stärkste Reaktion erfolgte beim Einsatz von reinem, kaltgepressten Neem-Öl. Hier wurde der Aufenthalt in einer Entfernung bis 3 cm deutlich vermieden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Für alle untersuchten Pflanzenschutzmittel (Handelsprodukte) konnten bei direktem Kontakt in den Wahlversuchen Repellenteigenschaften nachgewiesen werden. Diese waren jedoch gemessen an der Zahl der jeweils reagierenden Arten unterschiedlich stark ausgeprägt (s. Tab. 27). So wurde für Betanal von allen sechs Collembolenarten eine Repellentwirkung angezeigt. Auf Karate reagierten vier Arten mit Meideverhalten, auf NeemAzal drei Arten. Croneton rief bei zwei Arten eine Fluchtreaktion hervor, während durch Cymbush und Curaterr nur bei jeweils einer Art eine signifikante Abweichung zur Kontrollverteilung ausgelöst wurde.

Unter den aktiven Wirkstoffen induzierten bei direktem Kontakt nur  $\lambda$ -Cyhalothrin, Cypermethrin und NeemAzal eine Vermeidungsreaktion bei den untersuchten Collembolenarten. Die Leerformulierung von Betanal besaß ebenfalls Repellenteigenschaften.

Für eine Repellentwirkung gegenüber der Collembole *O. armatus* war für die Produkte Betanal, Cymbush, Croneton, Curaterr und NeemAzal T/S kein direkter Körperkontakt erforderlich. Die stärkste Wirkung ging dabei von reinem Cymbush und reinem Croneton aus, die die Tiere nach wenigen Minuten bewegungsunfähig machten. Karate blieb im olfaktorischen Test hingegen ohne Effekt. Unter den aktiven Wirkstoffen war im olfaktorischen Test nur für Ethiofencarb und NeemAzal eine Meidereaktion der Collembolen zu beobachten. Die Leerformulierung von Betanal führte hier ebenfalls zu einer Bevorzugung entfernterer Areale.

Tab. 27: Zusammenfassung der Kontakt- und olfaktorischen Repellenz der Handelsprodukte, Wirkstoffe und Leerformulierungen. –: keine Vermeidung (kein signifikanter Unterschied zur Verteilung in der Kontrolle), +: Vermeidung (signifikanter Unterschied zur Verteilung in der Kontrolle)

	Repellentwirkung auf die Art						
	<i>I.</i>	<i>L.</i>	<i>F.</i>	<i>F.</i>	<i>H.</i>	<i>O. armatus</i>	
	<i>anglicana</i>	<i>violaceus</i>	<i>candida</i>	<i>fimetaria</i>	<i>nitidus</i>	Kontakt	Olfakt.
Betanal	+	+	+	+	+	+	+
Phenmedipham	–	–	–	–	–	–	–
Leerformulierung	+	+	+	–	+	+	+
Karate	+	–	–	+	+	+	–
$\lambda$ -Cyhalothrin	–	–	–	–	+	–	–
Cymbush	+	–	–	–	–	–	+
Cypermethrin	–	–	–	–	–	+	–
Croneton	+	–	–	+	–	–	+
Ethiofencarb	–	–	–	–	–	–	+
Curaterr	–	–	–	–	+	–	+
Carbofuran	–	–	–	–	–	–	–
NeemAzal T/S	+	–	–	+	–	+	+
NeemAzal	+	+	–	–	–	+	+
Leerformulierung	–	–	–	–	–	–	–
Neem-Öl							+