

3. Ergebnisse

3.1 LABORVERSUCHE

3.1.1. Akuttests

AKUTTEST	
<i>Versuchstiere:</i>	
Versuche mit Handelsprodukten:	<i>Isotoma anglicana,</i> <i>Lepidocyrtus violaceus,</i> <i>Folsomia candida,</i> <i>Folsomia fimetaria,</i> <i>Heteromurus nitidus,</i> <i>Onychiurus armatus</i>
Versuche mit Wirkstoffen:	<i>Isotoma anglicana,</i> <i>Onychiurus armatus</i>
<i>Substrat:</i>	LUFA 2.2, 50% MWK
<i>Parallelen:</i>	5
<i>Individuen / Parallele:</i>	10
<i>Testdauer:</i>	24 Stunden bzw. 7 Tage
<i>Ort:</i>	Tageslicht-Klimaschrank, 20°C
<i>Endpunkte:</i>	Lokomotionsstörungen, Schädigung (= Lokomotionsstörungen + Tod)

Die Zeitabhängigkeit der akuttoxischen Wirkungen der einzelnen Pflanzenschutzmittel wurde mit Hilfe von 24-Stunden- und 7-Tage-Tests untersucht. Jene Pestizidkonzentrationen, bei denen keine Einschränkung der Lokomotionsfähigkeit der Tiere nach 24 Stunden festgestellt werden konnte, wurden als Höchstkonzentrationen für die nachfolgenden Wahlversuche verwendet.

Zur Abgrenzung der Effekte von aktiven Wirkstoffen und Formulierungszusätzen wurden die Wirkstoffe aller Handelsprodukte sowie die Leerformulierungen von Betanal und NeemAzal T/S zusätzlich mit den Arten *I. anglicana* (epedaphisch) und *O. armatus* (euedaphisch) getestet.

3.1.1.1 Toxizität der Handelsprodukte

BETANAL (Tab. 7 sowie Abb. 6 u. 7 auf S. 52-53)

Das Herbizid Betanal rief bei den fünf Collembolenarten *I. anglicana*, *F. candida*, *F. fimetaria*, *H. nitidus* und *O. armatus* nach einer Expositionszeit von 24 Stunden bei niedrigen Konzentrationen Bewegungsstörungen, bei steigenden Konzentrationen auch Mortalität hervor. Bei *L. violaceus* wurden nach 24 Stunden dagegen hauptsächlich tote und nur wenige lokomotionsgestörte Tiere gefunden. Diese Art zählte zusammen mit *F. candida*, *H. nitidus* und *I. anglicana* im 24-Stunden-Test zu den gegenüber Betanal empfindlicheren Arten. Erste Schädigungen waren hier bereits bei 10 mg ai / kg TG festzustellen. *F. fimetaria* und *O. armatus* reagierten im 24-Stunden-Test dagegen erst in Konzentrationsbereichen ab 28,9 mg ai / kg TG auf Betanal. Die unterschiedlichen Sensibilitäten spiegelten sich auch in den Effektkonzentrationen wider. Für die empfindlicheren Arten lagen die berechneten Werte für die EC₅₀ etwa dreimal niedriger als die Werte für *F. fimetaria* und *O. armatus*. Für *H. nitidus* konnten mittels der Probitanalyse keine Effektkonzentrationen berechnet werden, da für dieses Verfahren für mindestens drei Konzentrationen Effekte über 0% und unter 100% vorliegen müssen, um eine Regressionsgerade zu errechnen. Diese Voraussetzung war für *H. nitidus* in diesem Test nicht gegeben. Sowohl die Konzentrations-Wirkungskurve als auch die LOEC weisen jedoch auf eine vergleichsweise hohe Sensibilität dieser Art gegenüber Betanal hin.

Nach einer Versuchsdauer von 7 Tagen war im Vergleich zu den Ergebnissen nach 24 Stunden nur eine geringe Zunahme der Gesamtschädigung zu verzeichnen. Dabei verschob sich das Verhältnis der Tiere mit Lokomotionsstörungen in Richtung einer höheren Sterblichkeit. Auch nach dieser Expositionszeit stellten sich die Arten *F. fimetaria* und *O. armatus* im Vergleich zu den anderen Arten als weniger empfindlich dar.

Entsprechend der EC₅₀ für die Schädigung ergab sich für die Versuche über 24 Stunden und 7 Tage die gleiche Reihenfolge der Sensibilität:

24h: (*H. nitidus*) > *L. violaceus* > *I. anglicana* > *F. candida* > *F. fimetaria* > *O. armatus*

7d: (*H. nitidus*) > *L. violaceus* > *I. anglicana* > *F. candida* > *F. fimetaria* > *O. armatus*.

Tab. 7: Effektkonzentrationen und LOEC (lowest observed effect concentration) für die Schädigung (lokomotionsgestörte und tote Tiere) im Akuttest mit Betanal nach 24 Stunden (a) bzw. 7 Tagen (b). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Die Effektkonzentrationen wurden mittels Probitanalyse errechnet. Erläuterungen zu den Regressionsparametern in Kapitel 2.3.2.2. Die LOEC wurden mittels Varianzanalyse ermittelt (ANOVA, Dunnett's-Test, $\alpha=5\%$).
n. b.: aufgrund zu geringer Datenmenge nicht zu berechnen.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	13	10	10	28,9	7,7	28,9
EC₂₀	11,2	9,2	10,7	27,5	n. b.	26,9
95%-Konf.-Intervall	10,6-11,8	n. b.	9,8-11,8	25,5-29,8		18,1-32,4
EC₅₀	12,9	10,8	13,8	32,4	n. b.	35,1
95%-Konf.-Intervall	12,3-13,5	n. b.	12,9-14,7	30,7-34,1		28,4-43,9
Intercept a	-10,1	-7,33	-3,81	-13,09		-6,21
Slope b	13,61	11,93	7,73	11,98		7,25
Varianz von b	1,52	2,41	1,61	3,19		0,45
p(Chi ²)	0,427	<0,001	0,426	0,044		<0,001
p(F)	0,018	0,153	0,083	0,186		0,005
r ²	0,984	0,717	0,983	0,917		0,818

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	13	7,7	10	22,2	7,7	28,9
EC₂₀	6,8	6,6	10,1	16,4	n. b.	22,5
95%-Konf.-Intervall	n. b.	n. b.	9,4-11,0	14,5-18,5		n. b.
EC₅₀	10,1	8,7	13,1	29,1	n. b.	31,4
95%-Konf.-Intervall	n. b.	n. b.	12,3-14,0	24,1-35,1		n. b.
Intercept a	0	-1,45	-3,4	0,1		-3,67
Slope b	4,98	6,86	7,52	3,35		5,8
Varianz von b	0,42	0,98	0,91	0,26		0,38
p(Chi ²)	<0,001	<0,001	0,662	0,003		<0,001
p(F)	0,166	0,157	0,007	0,03		0,05
r ²	0,525	0,711	0,987	0,731		0,658

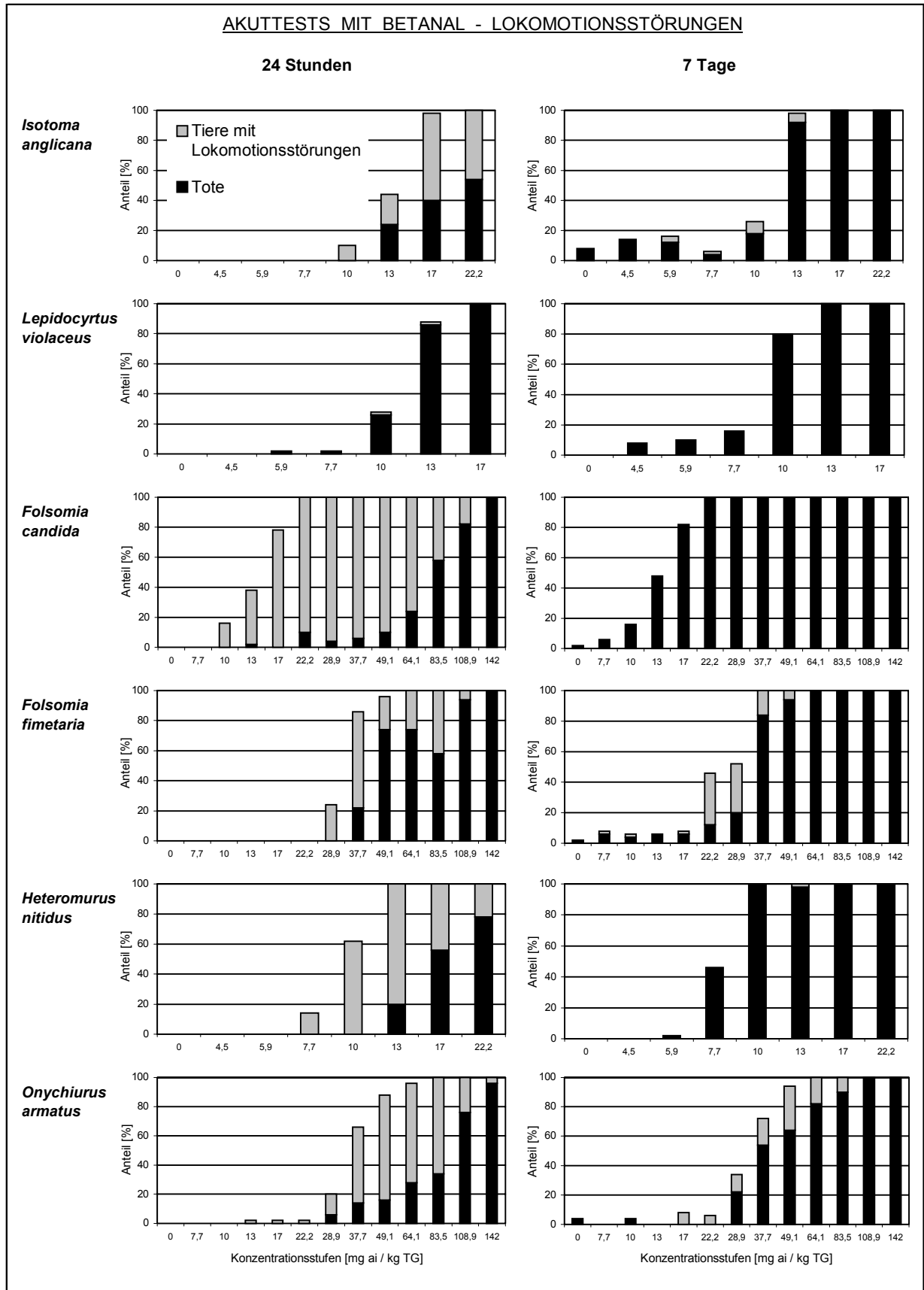


Abb. 6: Betanal Akuttests: Prozentualer Anteil toter und lokomotionsgestörter Collembolen bei Versuchslaufzeiten von 24 Stunden bzw. 7 Tagen (Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen). Die Abszissenachsen geben unterschiedliche Konzentrationsbereiche an!

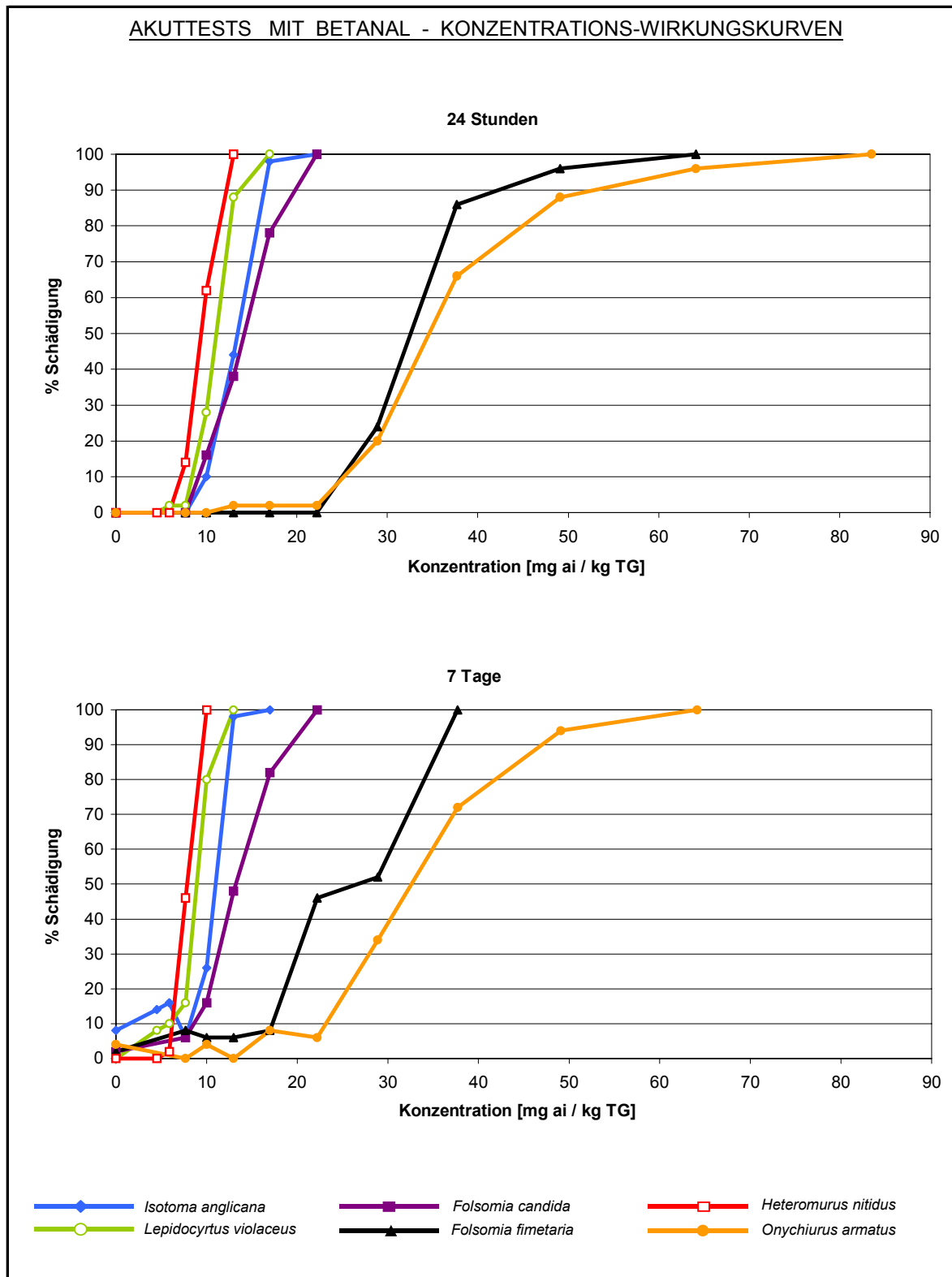


Abb. 7: Konzentrations-Wirkungskurven für die sechs untersuchten Collembolenarten im Akuttest über 24 Stunden und 7 Tage mit Betanal. Dargestellt sind die Mittelwerte aus je 5 Parallelen. Einzelwerte und Standardabweichungen im Anhang 1.

KARATE (Tab. 8 sowie Abb. 8 u. 9 auf S. 56-57)

In den untersuchten Konzentrationen führte das synthetische Pyrethroid Karate bei den fünf Arten *L. violaceus*, *F. candida*, *F. fimetaria*, *H. nitidus* und *O. armatus* nach einer Expositionszeit von 24 Stunden zwar zu Lokomotionsstörungen, jedoch nur in geringem Maß zu letalen Effekten. Für die Art *I. anglicana* wurde ein Anteil toter Tiere von bis zu 40% festgestellt. Nach einer Versuchsdauer von 7 Tagen bewirkten die gleichen Konzentrationen eine deutlich höhere Gesamtschädigung mit einem artspezifisch unterschiedlich hohen Anteil von Mortalität.

Insgesamt wurden bei der Reaktion auf Karate im 24-Stunden-Test extreme Artunterschiede festgestellt. So zeigten bereits bei einer Konzentration von 83,5 mg ai / kg TG 100% der Versuchstiere der Arten *I. anglicana* und *F. fimetaria* Schädigungen, während bei den vier anderen Arten die Schädigungsrate bei dieser Konzentrationsstufe noch unter 20% lag. Dies kam auch in den berechneten Werten für die EC₅₀ zum Ausdruck, die für *I. anglicana* und *F. fimetaria* etwa fünfmal niedriger lagen als für die nächstempfindliche Art *L. violaceus*. Für *F. candida* wurde mit 549 mg ai / kg TG die höchste EC₅₀ ermittelt. Die Art *H. nitidus* war (ausgehend von den Ergebnissen aus Vorversuchen über eine Versuchsdauer von 7 Tagen) in einem schmalen Konzentrationsbereich getestet worden. Da sie bis zu einer Konzentration von 241,4 mg ai / kg TG jedoch keinerlei Symptome zeigte, ist davon auszugehen, dass die Art zumindest ähnlich robust wie *F. candida* auf eine kurzzeitige Bodenbelastung mit Karate reagierte.

Nach einer Expositionszeit von 7 Tagen waren die Artunterschiede geringer ausgeprägt. *I. anglicana* und *F. fimetaria* reagierten weiterhin am empfindlichsten auf Karate, zudem führte die Dauer der Exposition bei ihnen nur zu geringen Unterschieden der EC₅₀-Werte. Für alle anderen Arten war nach der geringen Kurzzeittoxizität nun eine teilweise erhebliche Verringerung der Effektkonzentrationen festzustellen, wobei sich *L. violaceus* bei dieser Versuchsdauer robuster als die anderen Arten erwies. In der Gegenüberstellung der Rangfolgen für beide Expositionszeiten kommt die Verschiebung der Sensibilitäten zum Ausdruck:

24h: *I. anglicana* > *F. fimetaria* > *L. violaceus* > *O. armatus* > *F. candida* > (*H. nitidus*)

7d: *I. anglicana* > *F. fimetaria* > *O. armatus* > *F. candida* > *H. nitidus* > *L. violaceus*.

Tab. 8: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgestörte Tiere) im Akuttest mit Karate nach 24 Stunden (a) bzw. 7 Tagen (b). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

n. b.: aufgrund zu geringer Datenmenge nicht zu berechnen. /: kein Effekt.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	13	185,1	314,7	28,9	/	142
EC₂₀	16	110	278	25		137
95%-Konf.-Intervall	13-18	24-175	239-324	22-29	/	n. b.
EC₅₀	30	209	549	39		265
95%-Konf.-Intervall	27-33	140-3792	400-755	34-44	/	n. b.
Intercept a	0,61	-1,98	-2,77	-2,26		-2,08
Slope b	2,99	3,01	2,84	4,57		2,92
Varianz von b	0,09	0,16	0,29	0,53		0,13
p(Chi ²)	0,066	<0,001	0,104	0,086		<0,001
p(F)	0	0,03	0,019	0,169		0,055
r ²	0,899	0,643	0,783	0,931		0,758

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	13	64,1	37,7	17	49,1	17
EC₂₀	9	44	29	12	34	20
95%-Konf.-Intervall	8-11	39-50	26-31	10-15	24-47	17-23
EC₅₀	14	74	38	22	66	34
95%-Konf.-Intervall	12-15	68-81	36-41	19-25	57-77	30-39
Intercept a	-0,39	-1,88	-5,41	0,4	-0,23	-0,37
Slope b	4,75	3,67	6,57	3,44	0,28	3,51
Varianz von b	0,37	0,09	0,33	0,17	0,28	0,14
p(Chi ²)	0,914	0,567	0,023	0,002	0,006	0,081
p(F)	0	0	0,001	0,032	0,077	0,008
r ²	0,991	0,965	0,91	0,828	0,7	0,931

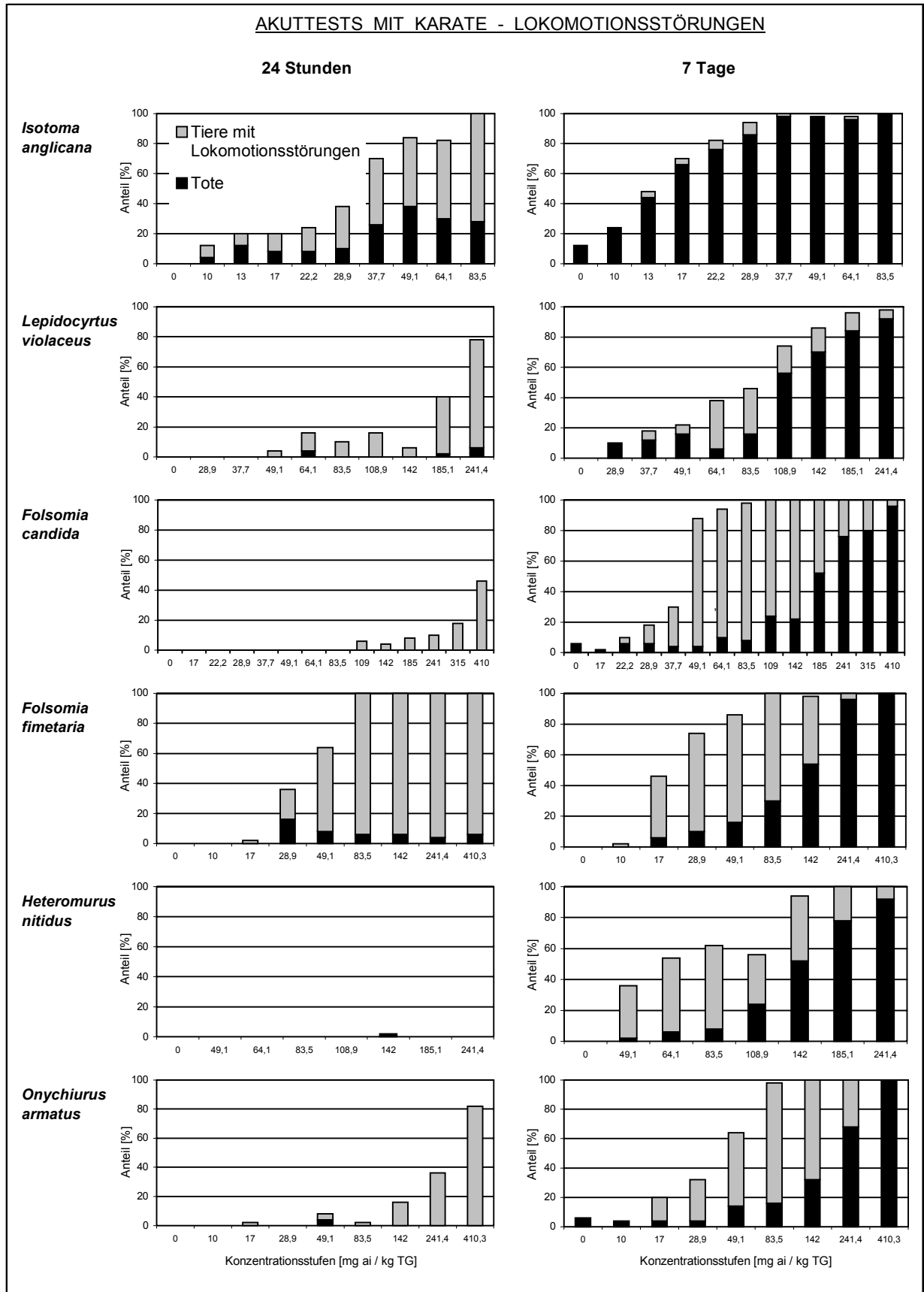


Abb. 8: Karate Akuttests: Prozentualer Anteil toter und lokomotionsgestörter Collembolen bei Versuchslaufzeiten von 24 Stunden bzw. 7 Tagen (Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen). Die Abszissenachsen geben unterschiedliche Konzentrationsbereiche an!

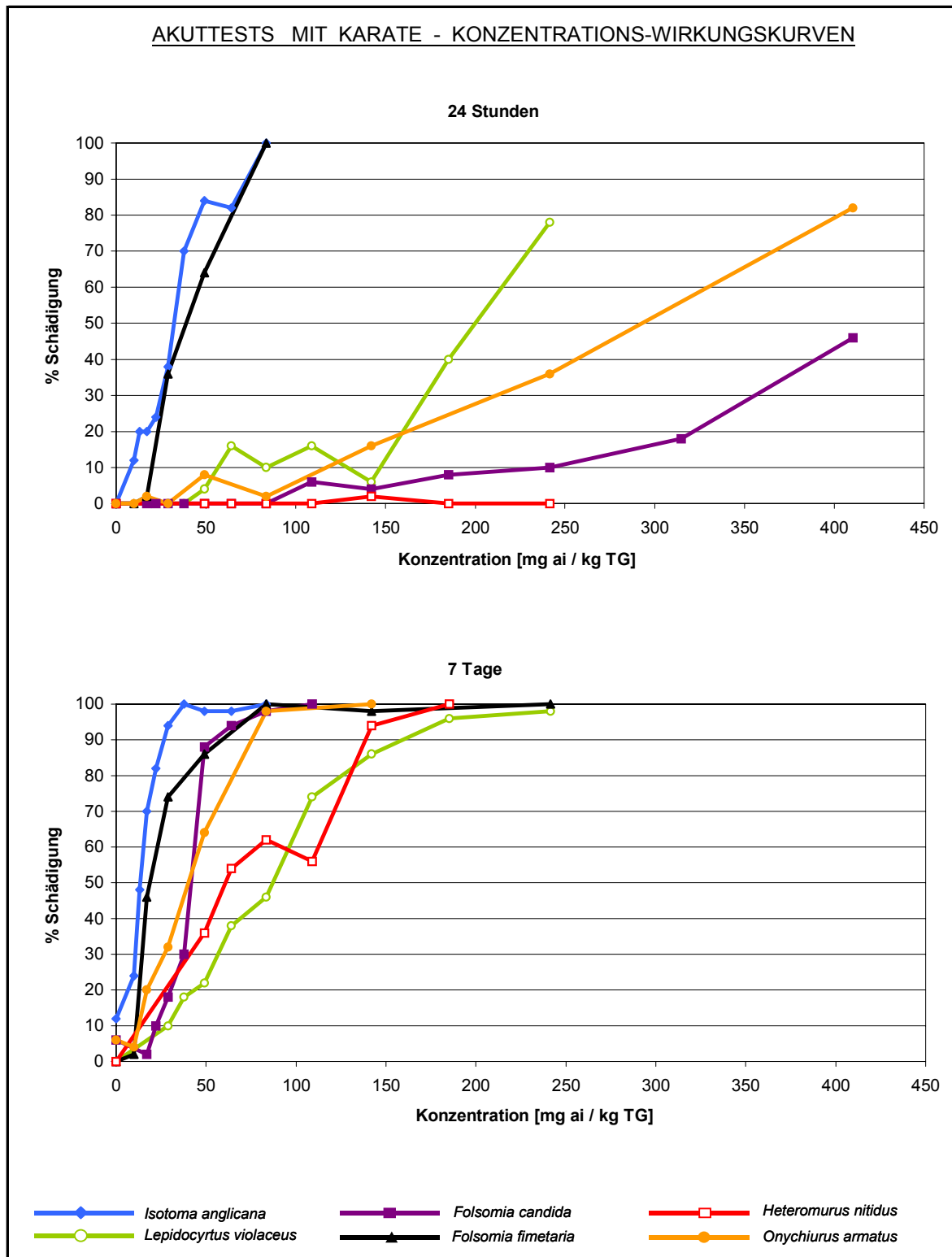


Abb. 9: Konzentrations-Wirkungskurven für die sechs untersuchten Collembolenarten im Akuttest über 24 Stunden und 7 Tage mit Karate. Dargestellt sind die Mittelwerte aus je 5 Parallelen. Einzelwerte und Standardabweichungen im Anhang 1.

CYMBUSH (Tab. 9 sowie Abb. 10 u. 11 auf S. 60-61)

Die Wirkung des zweiten untersuchten synthetischen Pyrethroids, Cymbush, war der des Karate insofern ähnlich, als dass nach einer Expositionszeit von 24 Stunden bei allen getesteten Arten bei niedrigen Konzentrationen Lokomotionsstörungen auftraten. Bei höheren Konzentrationsstufen waren auch letale Effekte zu beobachten.

Nach einer Versuchsdauer von 7 Tagen zeigten sich im Vergleich zum Karate deutlichere Unterschiede: Lokomotionsstörungen waren unter Cymbush-Einfluss nur bei einem sehr geringen Teil der Versuchstiere zu verzeichnen, die Gesamtschädigung wurde zum überwiegenden Teil durch die Mortalität bestimmt. Dabei wurden die EC_{50} -Werte für *F. candida*, *F. fimetaria* und *O. armatus* jedoch nur unerheblich durch die verlängerte Expositionszeit verringert.

Ähnlich wie auf Karate reagierte die Art *I. anglicana* auch auf Cymbush in beiden Versuchsansätzen am empfindlichsten, jedoch zusammen mit *L. violaceus*. Die Rangfolge der Sensibilität der Arten war bei beiden Expositionszeiten ähnlich:

24h : *L. violaceus* > *I. anglicana* > *H. nitidus* > *O. armatus* > *F. candida* > *F. fimetaria*

7d : *I. anglicana* > *L. violaceus* > *H. nitidus* > *O. armatus* > *F. candida* > *F. fimetaria*.

Tab. 9: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgestörte Tiere) im Akuttest mit Cymbush nach 24 Stunden (a) bzw. 7 Tagen (b). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	28,9	37,7	37,7	49,1	37,7	64,1
EC₂₀	23	28	40	54	44	53
95%-Konf.-Intervall	n. b.	n. b.	36-45	36-79	40-49	n. b.
EC₅₀	37	33	59	181	62	60
95%-Konf.-Intervall	n. b.	n. b.	53-66	76-430	53-72	n. b.
Intercept a	-1,39	-11,64	-3,74	1,42	-5,6	-20,41
Slope b	4,08	10,96	4,93	1,58	5,93	14,27
Varianz von b	0,39	1,54	0,56	0,17	1,29	5,61
p(Chi ²)	<0,001	<0,001	0,177	0,346	0,124	<0,001
p(F)	0,179	0,167	0,014	0,066	0,069	0,33
r ²	0,398	0,017	0,898	0,873	0,867	0,755

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	28,9	22,2	37,7	49,1	28,9	49,1
EC₂₀	13	16	30	50	20	30
95%-Konf.-Intervall	45-18	11-19	19-41	36-70	17-22	15-45
EC₅₀	23	24	59	185	36	55
95%-Konf.-Intervall	16-38	19-30	43-126	79-431	31-40	39-204
Intercept a	0,73	-1,32	-0,12	1,65	0,04	-0,53
Slope b	3,12	4,6	2,89	1,48	3,2	3,17
Varianz von b	0,09	0,15	0,11	0,12	0,11	0,14
p(Chi ²)	<0,001	<0,001	<0,001	0,1	0,123	<0,001
p(F)	0,007	0,001	0,004	0,018	0	0,014
r ²	0,731	0,843	0,724	0,634	0,894	0,663

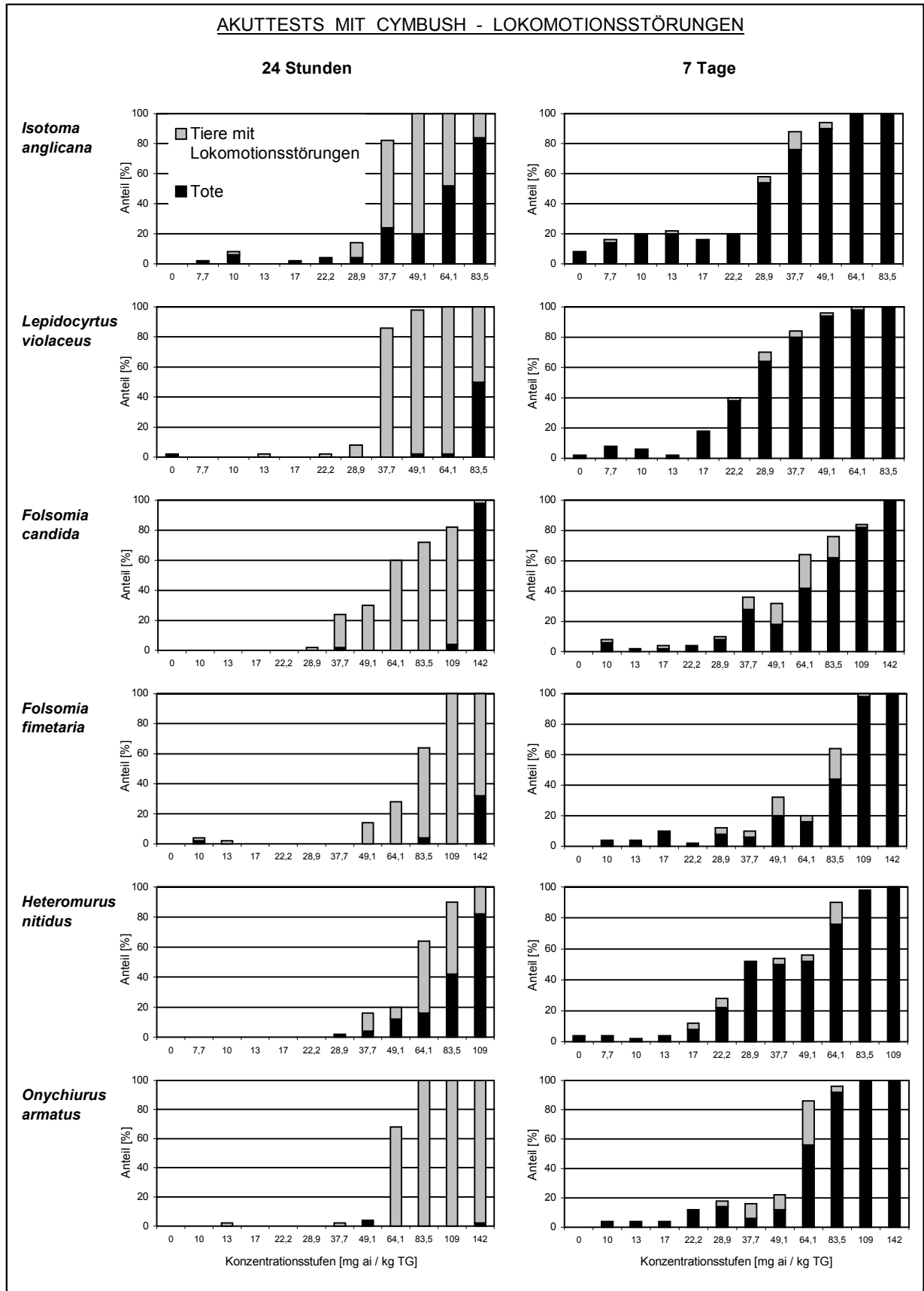


Abb. 10: Cymbush Akuttests: Prozentualer Anteil toter und lokomotionsgestörter Collembolen bei Versuchslaufzeiten von 24 Stunden bzw. 7 Tagen (Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen). Die Abszissenachsen geben unterschiedliche Konzentrationsbereiche an!

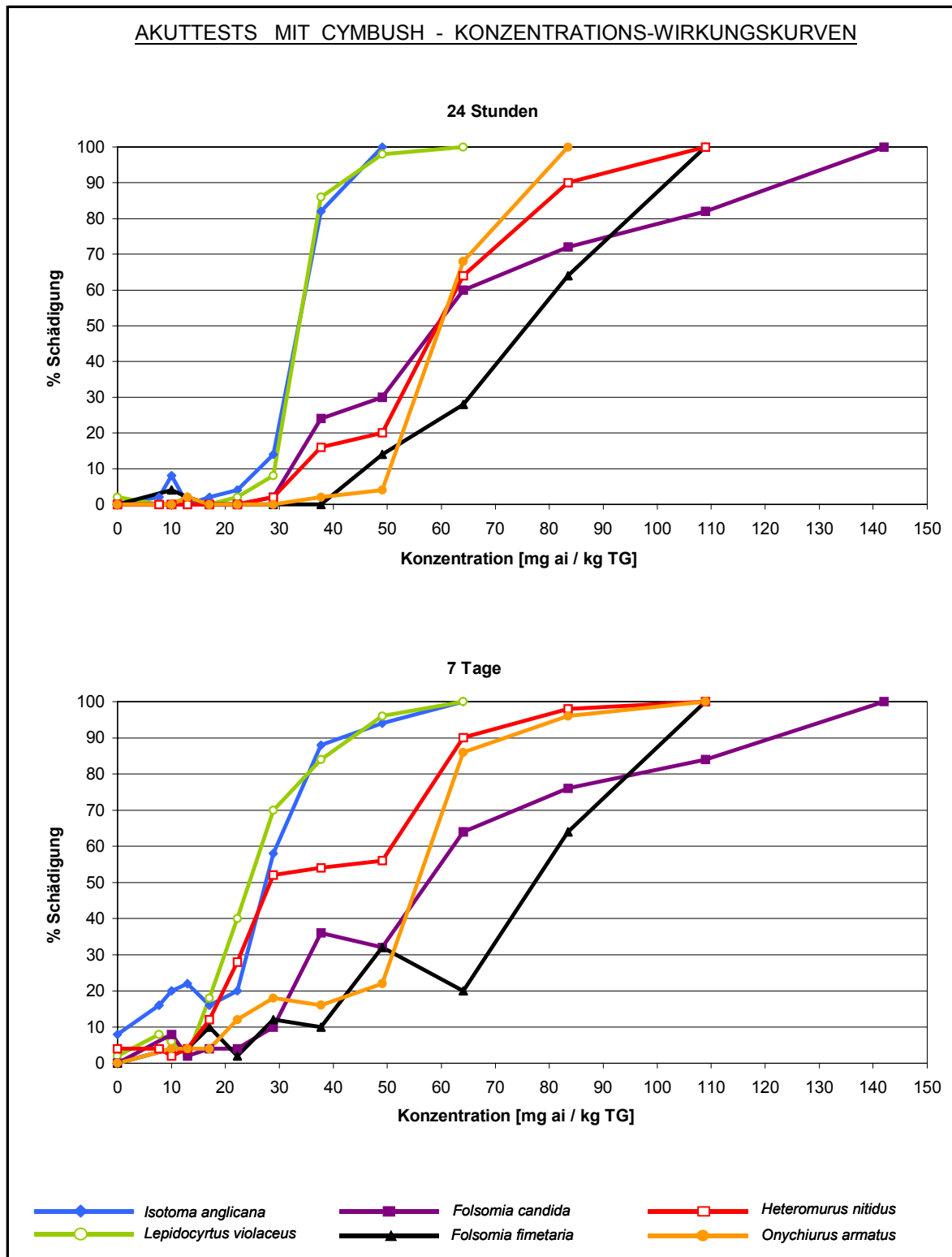


Abb. 11: Konzentrations-Wirkungskurven für die sechs untersuchten Collembolenarten im Akuttest über 24 Stunden und 7 Tage mit Cymbush. Dargestellt sind die Mittelwerte aus je 5 Parallelen. Einzelwerte und Standardabweichungen im Anhang 1.

CRONETON (Tab. 10 sowie Abb. 12 u. 13 auf S. 64-65)

Die Hauptwirkung des Carbamat-Insektizids Croneton bestand nach 24 Stunden Versuchsdauer bei den getesteten Konzentrationsstufen in einer Störung der Lokomotionsfähigkeit aller untersuchten Collembolenarten. Dabei reagierte *F. fimetaria* am empfindlichsten, *L. violaceus* bei weitem am unempfindlichsten. Die Wirkungsstärke bezüglich der Schädigung variierte für die einzelnen Arten sehr deutlich.

Im Gegensatz dazu führte Croneton nach einer Expositionszeit von 7 Tagen fast ausschließlich zu letalen Effekten, nur bei *F. candida*, *F. fimetaria* und *O. armatus* wurden noch wenige Tiere mit Lokomotionsstörungen gefunden. Bei *F. candida* und *F. fimetaria* hatte die unterschiedliche Expositionsdauer zudem die geringste Auswirkung auf das Ausmaß der Schädigung. Die Sensibilitätsunterschiede waren nach 7 Tagen erheblich geringer ausgeprägt, die Arten zeigten hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber dem Produkt eine veränderte Reihenfolge:

24h: *F. fimetaria* > *F. candida* > *H. nitidus* > *I. anglicana* > *O. armatus* > *L. violaceus*

7d: *F. fimetaria* > *H. nitidus* > *I. anglicana* > *L. violaceus* > *O. armatus* > *F. candida*.

Tab. 10: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgestörte Tiere) im Akuttest mit Croneton nach 24 Stunden (a) bzw. 7 Tagen (b). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	17	22,2	13	10	22,2	22,2
EC₂₀	16,5	22,7	13,3	8,5	19,1	19,2
95%-Konf.-Intervall	15,1-18,0	17,8-28,8	12,2-14,6	7,4-9,6	17,8-20,5	17,6-20,9
EC₅₀	23,1	56,8	17,9	12,7	23	25,9
95%-Konf.-Intervall	21,5-24,8	39,5-81,8	16,8-19,1	11,7-13,8	21,8-24,3	23,7-28,3
Intercept a	-2,82	1,31	-3,24	-0,29	-9,17	-4,15
Slope b	5,74	2,1	6,58	4,8	10,4	6,47
Varianz von b	0,32	0,3	0,48	0,35	2,06	0,95
p(Chi ²)	0,003	0,894	0,05	0,009	0,209	0,73
p(F)	0,007	0,003	0,01	0,026	0,109	0,007
r ²	0,864	0,961	0,92	0,851	0,971	0,986

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	10	17	17	7,7	13	17
EC₂₀	7,1	12,6	12,8	5,9	10,8	13,2
95%-Konf.-Intervall	5,7-8,7	11,7-13,6	11,7-14,0	5,1-6,8	10,2-11,5	12,1-14,4
EC₅₀	15,3	16	18,2	11,1	12,6	17,6
95%-Konf.-Intervall	13,4-17,5	15,1-16,9	16,9-19,6	10,0-12,4	12,1-13,2	16,5-18,8
Intercept a	2,04	-4,78	-1,94	1,82	-9,04	-3,39
Slope b	2,49	8,13	5,51	3,04	12,76	6,74
Varianz von b	0,11	0,69	0,28	0,09	2,33	0,5
p(Chi ²)	0,005	0,177	0,05	0,023	0,047	0,136
p(F)	0,008	0,005	0,001	0,001	0,041	0,006
r ²	0,779	0,951	0,908	0,877	0,92	0,943

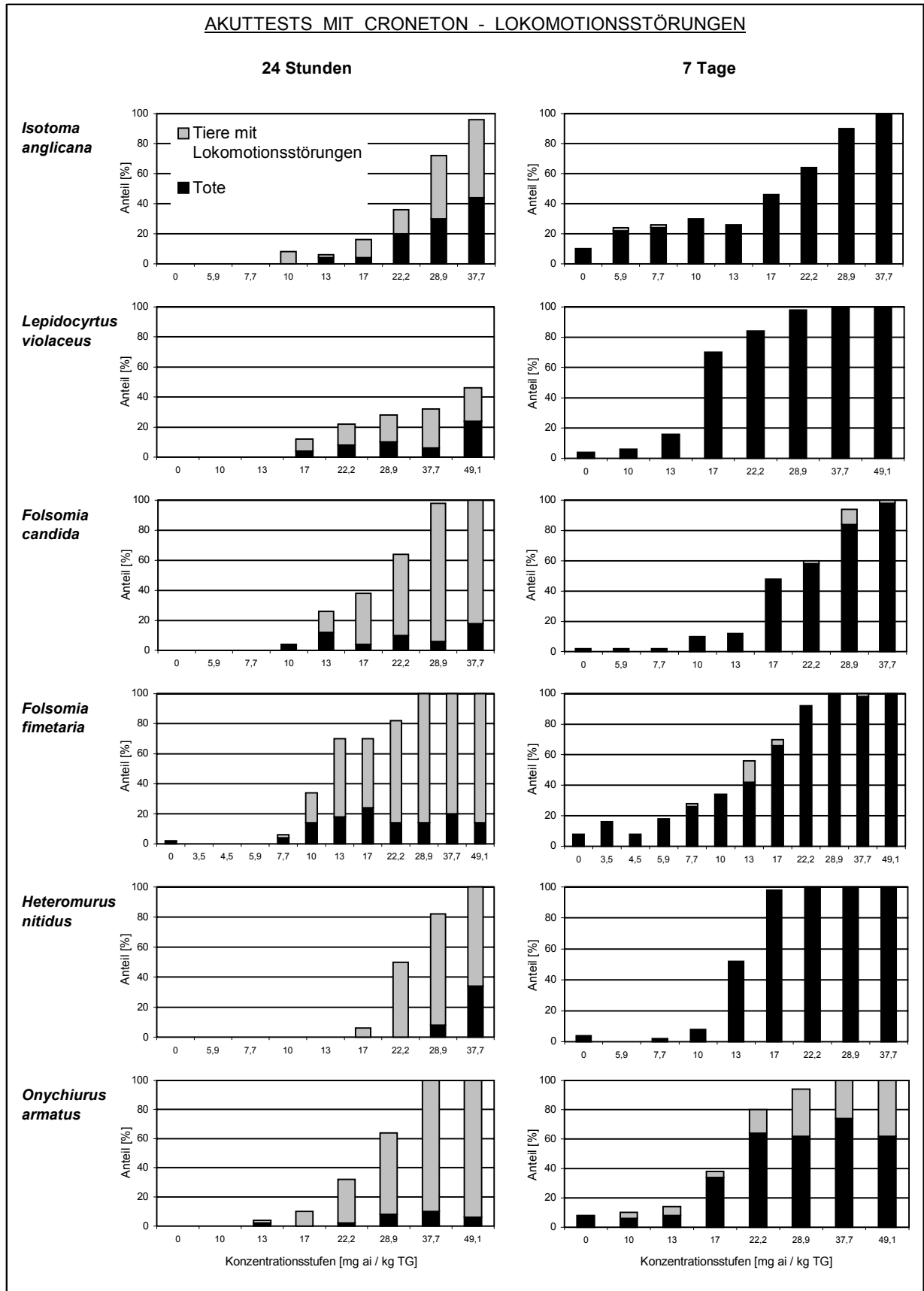


Abb. 12: Croneton Akuttests: Prozentualer Anteil toter und lokomotionsgestörter Collembolen bei Versuchslaufzeiten von 24 Stunden bzw. 7 Tagen (Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen). Die Abszissenachsen geben unterschiedliche Konzentrationsbereiche an!

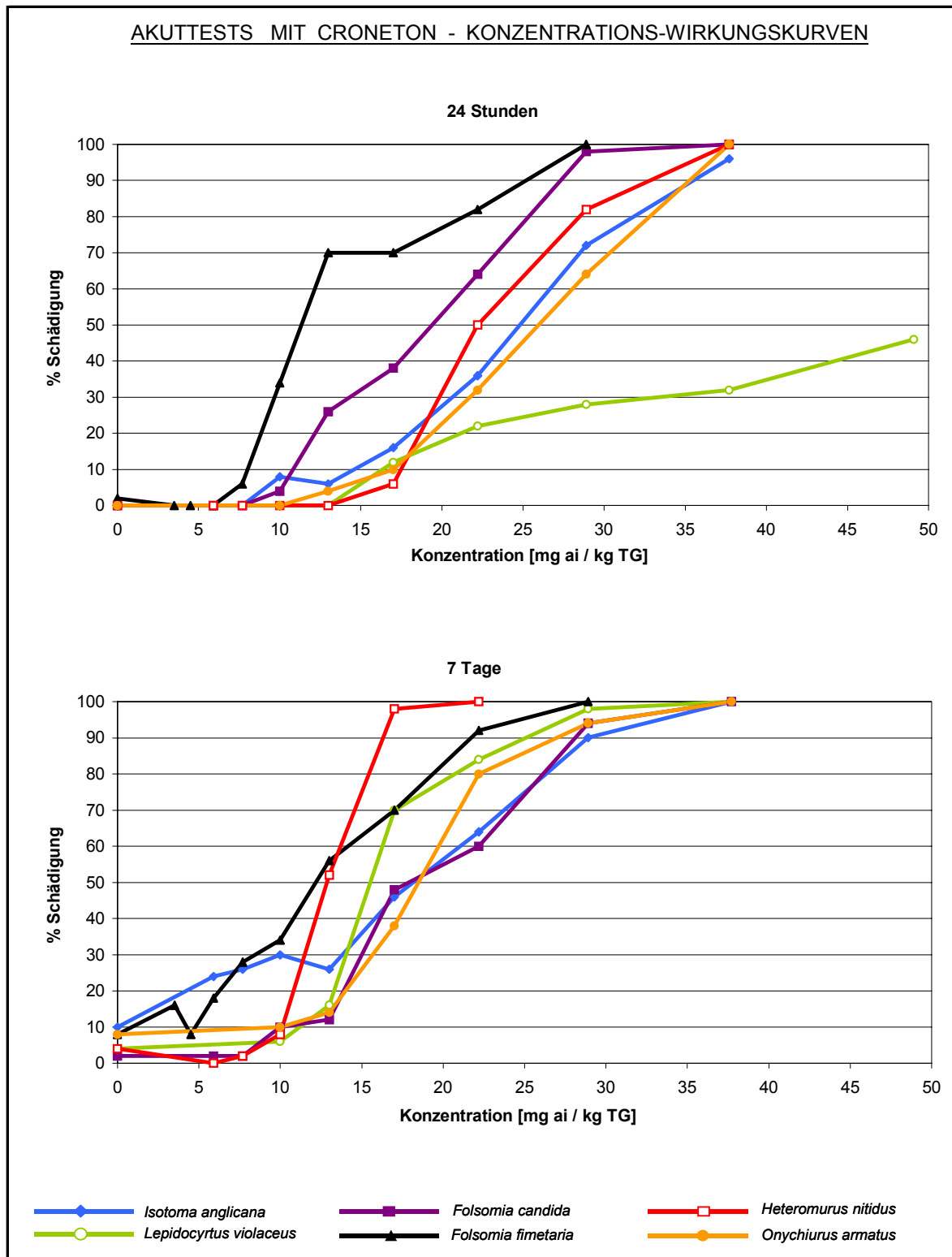


Abb. 13: Konzentrations-Wirkungskurven für die sechs untersuchten Collembolenarten im Akuttest über 24 Stunden und 7 Tage mit Croneton. Dargestellt sind die Mittelwerte aus je 5 Parallelen. Einzelwerte und Standardabweichungen im Anhang 1.

CURATERR (Tab. 11 sowie Abb. 14 u. 15 auf S. 68-69)

Ähnlich wie bei dem zuvor beschriebenen Carbamat-Insektizid Croneton bestand auch beim Curaterr ein großer Teil der Gesamtwirkung nach 24 Stunden Versuchsdauer in einer Beeinflussung der Lokomotionsfähigkeit, während nach 7 Tagen die Tiere überwiegend tot waren.

Bei beiden Versuchansätzen fielen extreme Artunterschiede auf. Sowohl nach 24 Stunden als auch nach 7 Tagen zeigten sich die Arten *F. fimetaria* und *F. candida* empfindlicher als alle anderen Arten, mit entsprechend steileren Konzentrations-Wirkungskurven. Die Art *H. nitidus* reagierte bei beiden Versuchsdauern am unempfindlichsten auf Curaterr. Nach 7 Tagen zeigte sie erst bei einer 55fach höheren Konzentration die gleiche Reaktion wie die sensibelste Art *F. candida*.

Gemessen an der EC_{50} ergaben sich folgende Rangfolgen der Empfindlichkeit gegenüber Curaterr:

24h: *F. fimetaria* > *F. candida* > *O. armatus* > *L. violaceus* > *I. anglicana* > *H. nitidus*

7d: *F. candida* > *F. fimetaria* > *O. armatus* > *L. violaceus* > *I. anglicana* > *H. nitidus*.

Tab. 11: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgestörte Tiere) im Akuttest mit Curaterr nach 24 Stunden (a) bzw. 7 Tagen (b). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

n. b.: aufgrund zu geringer Datenmenge nicht zu berechnen.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	2,0	1,6	0,41	0,32	5,9	0,7
EC₂₀	1,79	1,46	0,28	0,29	5,9	0,64
95%-Konf.-Intervall	1,59-2,00	n. b.	0,24-0,31	0,26-0,31	5,05-6,90	0,57-0,73
EC₅₀	3,14	2,33	0,47	0,37	10,26	1,14
95%-Konf.-Intervall	2,81-3,50	n. b.	0,39-0,57	0,35-0,40	7,76-13,57	0,98-1,33
Intercept a	3,3	3,47	6,18	8,12	1,47	4,81
Slope b	3,43	4,16	3,6	7,32	3,5	3,39
Varianz von b	0,11	0,36	0,48	1,44	0,41	0,21
p(Chi ²)	0,803	<0,001	0,033	0,368	0,444	0,78
p(F)	0	0,052	0,056	0,026	0,005	0
r ²	0,961	0,652	0,755	0,949	0,889	0,958

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	1,2	0,7	0,14	0,32	5,9	0,54
EC₂₀	0,9	0,62	0,1	0,16	4,09	0,41
95%-Konf.-Intervall	0,76-1,06	0,56-0,70	0,09-0,11	0,10-0,22	3,58-4,67	0,37-0,46
EC₅₀	1,73	0,98	0,14	0,3	7,68	0,68
95%-Konf.-Intervall	1,56-1,93	0,90-1,07	0,13-0,15	0,22-0,57	6,25-9,43	0,62-0,74
Intercept a	4,3	5,04	9,95	6,66	2,28	5,66
Slope b	2,94	4,25	5,79	3,18	3,07	3,88
Varianz von b	0,08	0,15	0,41	0,12	0,15	0,13
p(Chi ²)	0,766	0,102	0,018	<0,001	0,02	0,013
p(F)	0	0	0,016	0,005	0,001	0,001
r ²	0,964	0,928	0,889	0,753	0,776	0,882

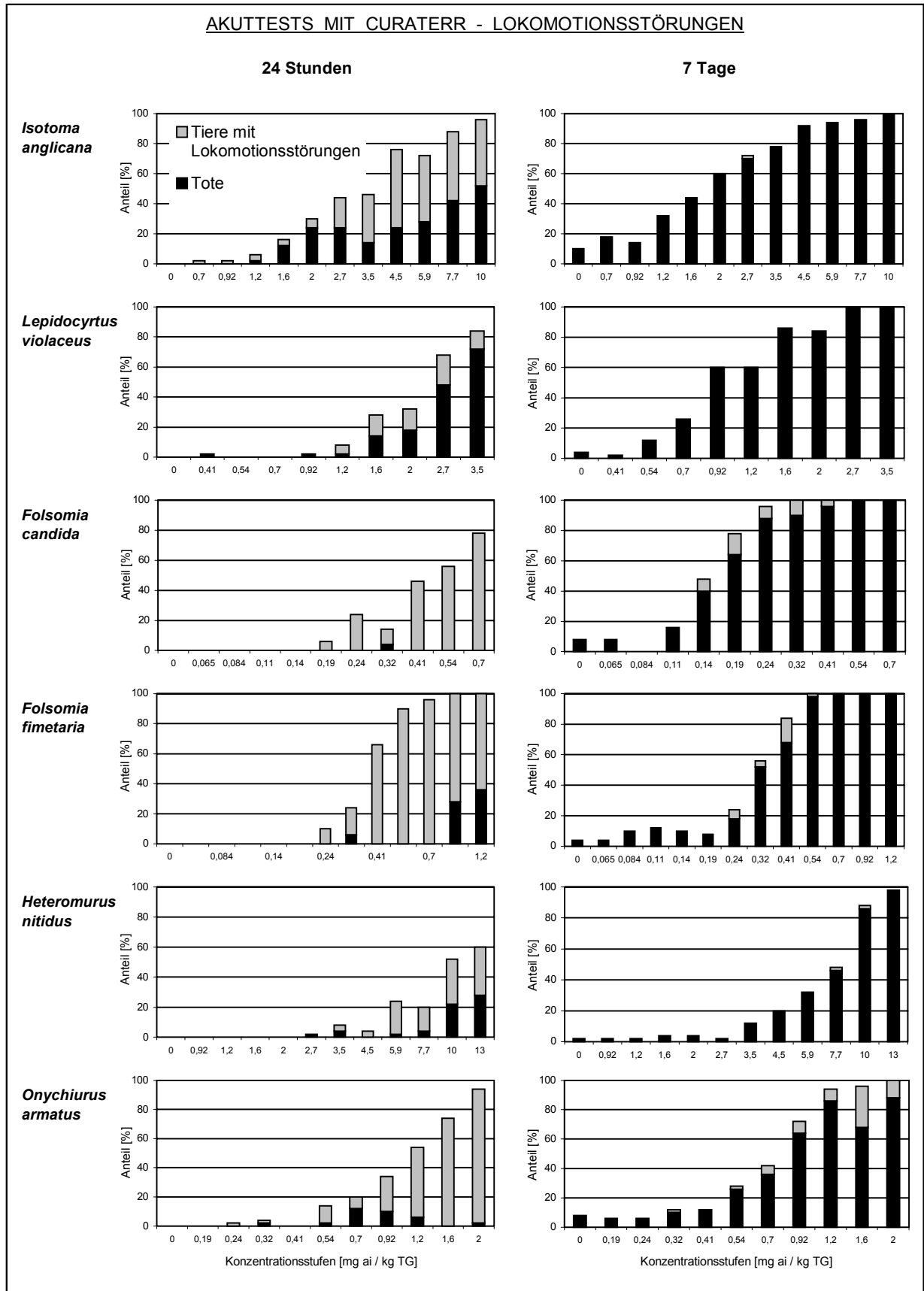


Abb. 14: Curaterr Akuttests: Prozentualer Anteil toter und lokomotionsgestörter Collembolen bei Versuchslaufzeiten von 24 Stunden bzw. 7 Tagen (Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen). Die Abszissenachsen geben unterschiedliche Konzentrationsbereiche an!

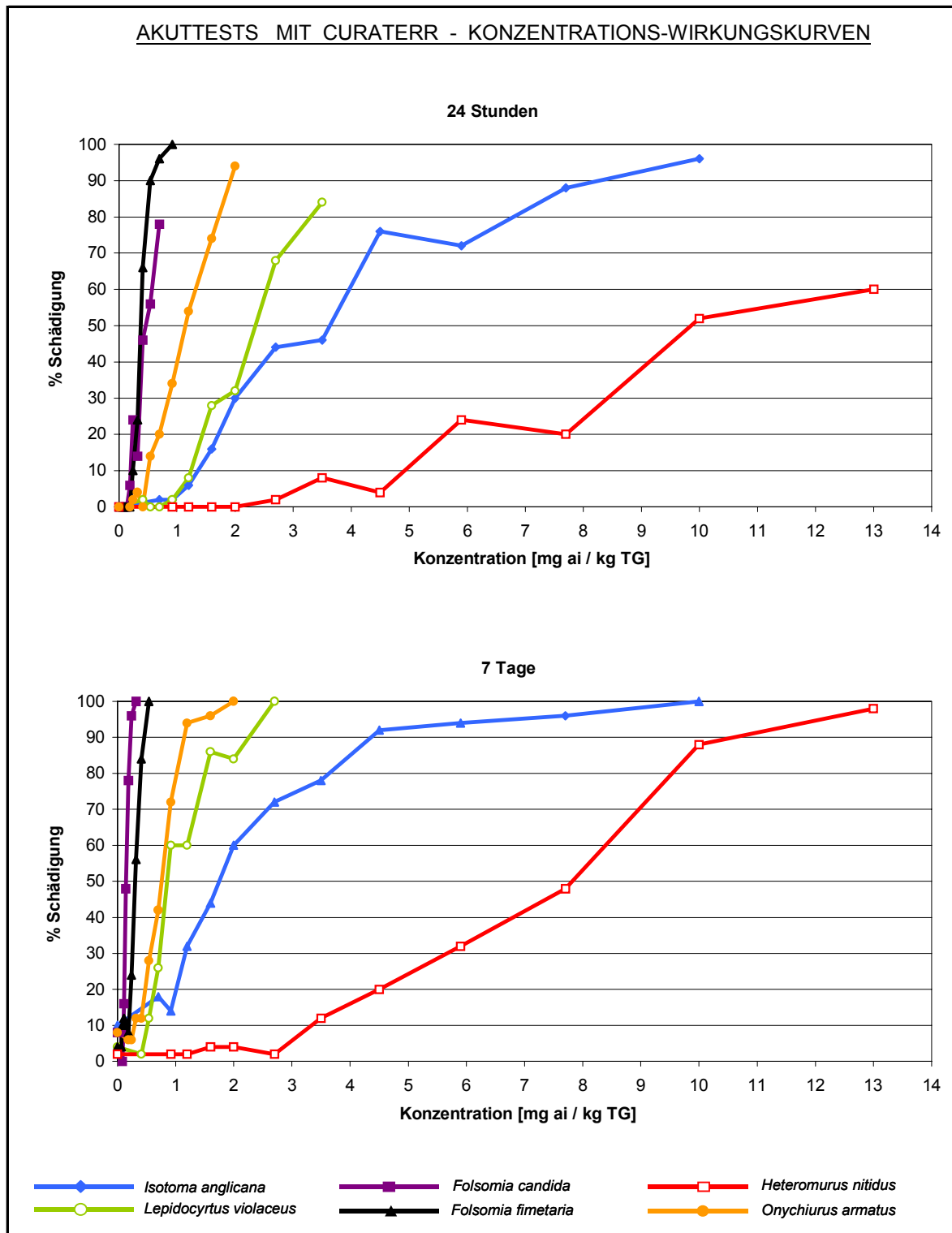


Abb. 15: Konzentrations-Wirkungskurven für die sechs untersuchten Collembolenarten im Akuttest über 24 Stunden und 7 Tage mit Curaterr. Dargestellt sind die Mittelwerte aus je 5 Parallelen. Einzelwerte und Standardabweichungen im Anhang 1.

NEEMAZAL T/S (Tab. 12 sowie Abb. 16 u. 17 auf S. 72-73)

Das Insektizid NeemAzal T/S hatte nach 24 Stunden Expositionszeit keinerlei sichtbare Effekte auf die untersuchten Collembolenarten.

Nach 7 Tagen wurden alle Arten durch die verwendeten Konzentrationen geschädigt, die Hauptwirkung bestand weniger in Lokomotionsstörungen als in einer konzentrationsabhängigen Zunahme der Mortalität. Die Art *L. violaceus* erwies sich gegenüber NeemAzal T/S im Vergleich zu den anderen Arten am unempfindlichsten mit einem deutlich flacheren Verlauf der Konzentrations-Wirkungskurve.

Die Arten wurden entlang der folgenden Reihenfolge durch NeemAzal T/S geschädigt:

7d: *F. fimetaria* > *I. anglicana* > *F. candida* > *O. armatus* > *H. nitidus* > *L. violaceus* .

Tab. 12: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgestörte Tiere) im Akuttest mit NeemAzal T/S nach 24 Stunden (a) bzw. 7 Tagen (b). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

/: kein Effekt.

a) 24 Stunden

Nach 24 Stunden waren bei den untersuchten Arten keine schädigenden Effekte zu beobachten.

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>	<i>L. violaceus</i>	<i>F. candida</i>	<i>F. fimetaria</i>	<i>H. nitidus</i>	<i>O. armatus</i>
LOEC	2,0	4,5	2,0	0,92	3,5	2,7
EC₂₀	0,4	2,6	1,3	0,7	2,5	0,8
95%-Konf.-Intervall	0,3-0,5	1,7-4,1	1,1-1,5	0,6-0,8	1,0-3,5	0,5-1,4
EC₅₀	1,3	8,2	2,8	1,2	4,5	3,7
95%-Konf.-Intervall	1,1-1,6	6,7-9,9	2,4-3,2	1,1-1,3	3,0-5,8	2,9-4,7
Intercept a	4,82	3,45	3,92	4,69	2,9	4,28
Slope b	1,49	1,7	2,44	3,73	3,25	1,27
Varianz von b	0,04	0,07	0,05	0,13	0,1	0,04
p(Chi ²)	0,003	0,015	0,141	0,717	<0,001	<0,001
p(F)	0,002	0,006	0	0	0,002	0,178
r ²	0,675	0,736	0,875	0,959	0,808	0,243

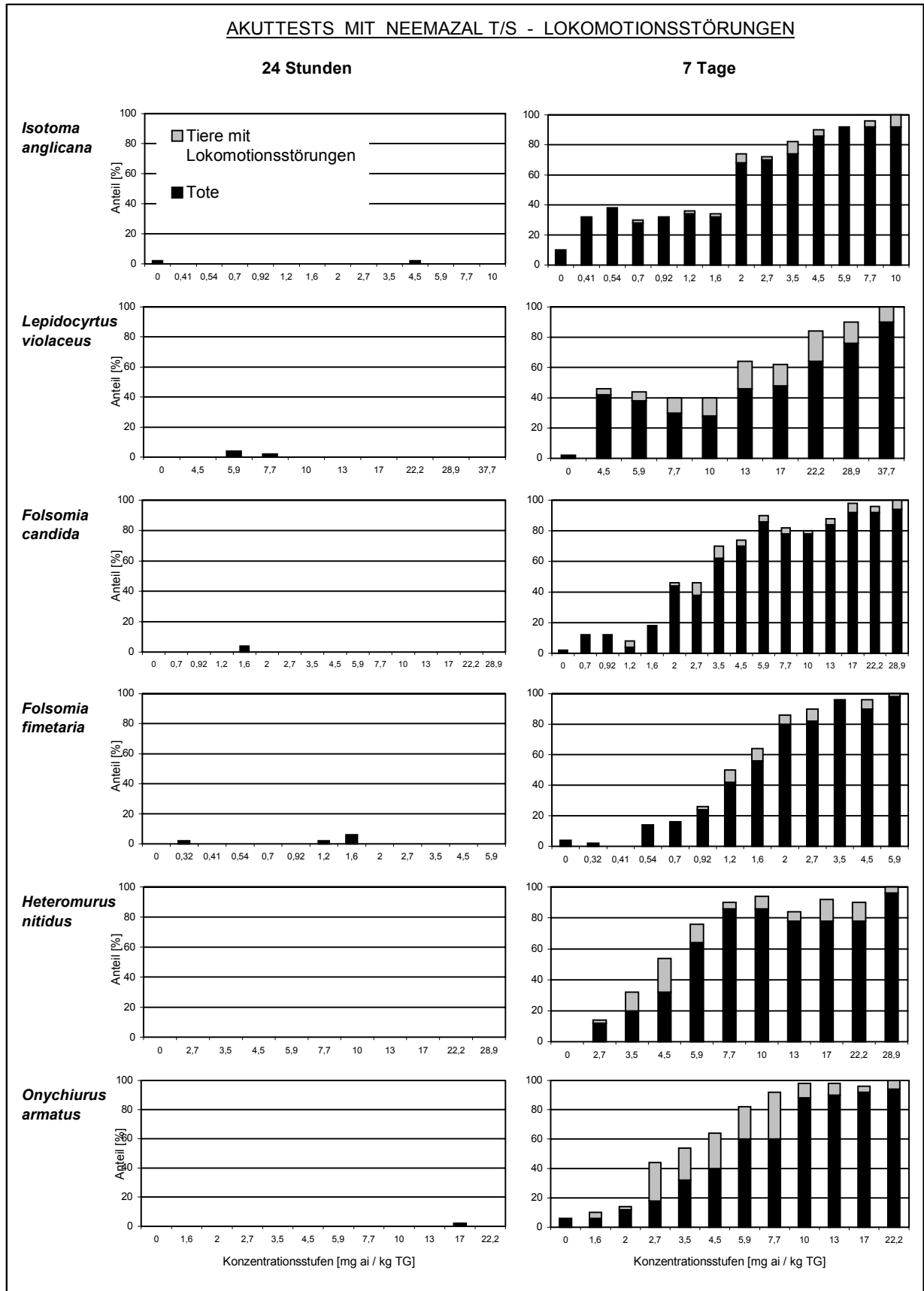


Abb. 16: NeemAzal T/S Akuttests: Prozentualer Anteil toter und lokomotionsgestörter Collembolen bei Versuchslaufzeiten von 24 Stunden bzw. 7 Tagen (Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen). Die Abszissenachsen geben unterschiedliche Konzentrationsbereiche an!

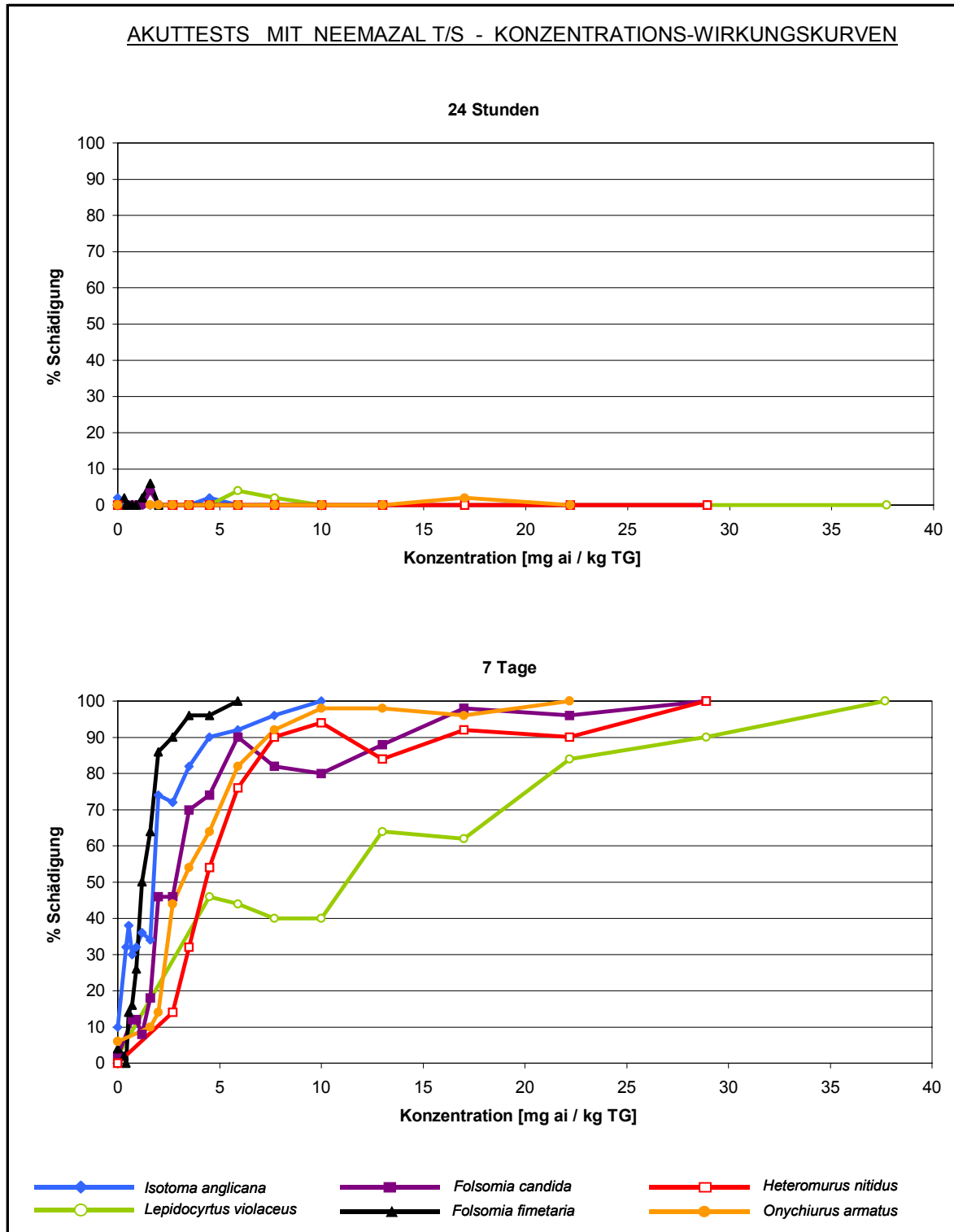


Abb. 17: Konzentrations-Wirkungskurven für die sechs untersuchten Collembolenarten im Akuttest über 24 Stunden und 7 Tage mit NeemAzal T/S. Dargestellt sind die Mittelwerte aus je 5 Parallelen. Einzelwerte und Standardabweichungen im Anhang 1.

ZUSAMMENFASSUNG

Die getesteten Produkte führten bei den einzelnen Collembolenarten zu einer unterschiedlich starken Steigerung der Schädigungsrate bei Verlängerung der Expositionszeit. Besonders deutlich wirkte sich die Versuchsdauer für die Art *F. candida* bei Karate und für die Art *L. violaceus* bei Croneton aus.

Mit Ausnahme von NeemAzal T/S riefen alle untersuchten Pflanzenschutzmittel nach einer Einwirkungszeit von 24 Stunden bei den untersuchten Collembolenarten bei niedrigen Konzentrationen Störungen der Lokomotionsfähigkeit hervor. Nach 7 Tagen nahm der Anteil der toten Individuen an der Anzahl der geschädigten Tiere zu.

Einen Extremfall stellt das Produkt NeemAzal T/S dar, welches nach 24 Stunden keinerlei sichtbare Effekte bei den untersuchten Collembolen hervorrief.

Die Empfindlichkeit gegenüber den einzelnen Pflanzenschutzmitteln unterlag einer ausgeprägten interspezifischen Variation. Eine durchgängige Klassifizierung der untersuchten Arten nach ihrer Reaktionsstärke ist nicht möglich.

Die eingesetzten Höchstkonzentrationen in den nachfolgenden Wahlversuche orientierten sich an jenen Konzentrationen, bei denen im 24-Stunden-Akutttest durchschnittlich nicht mehr als 20% der Tiere geschädigt wurden (Tab. 13).

Tab. 13: Richtkonzentrationen für die Wahlversuche (= Konzentrationen, bei denen im Akutttest nach 24 Stunden durchschnittlich nicht mehr als 20% Schädigung aufgetreten waren). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Bei NeemAzal T/S wurden bei den untersuchten Konzentrationen keine Schädigungen festgestellt.

	Betanal	Karate	Cymbush	Croneton	Curaterr	NeemAzal T/S
<i>I. anglicana</i>	10	17	28,9	17	1,6	-
<i>L. violaceus</i>	7,7	142	28,9	17	1,2	-
<i>F. candida</i>	10	315	28,9	10	0,32	-
<i>F. fimetaria</i>	22,2	17	49,1	7,7	0,24	-
<i>H. nitidus</i>	7,7	241,4	49,1	17	7,7	-
<i>O. armatus</i>	28,9	142	49,1	17	0,7	-

3.1.1.2 Vergleich der Toxizität der Handelsprodukte mit jener der aktiven Wirkstoffe und Leerformulierungen

Zu Vergleichszwecken wurden Teile der bereits oben dargestellten Ergebnisse der Akuttests mit den Handelsprodukten in die graphische Darstellung der Wirkung von aktiven Wirkstoffen und Leerformulierungen mit einbezogen.

Mit Hilfe einer zweifaktoriellen ANOVA wurde überprüft, ob die bei den einzelnen Konzentrationsstufen festgestellten Effekte von der eingesetzten Formulierung (Handelsprodukt, Wirkstoff, Leerformulierung) abhängig waren. Bis auf einen Datensatz wiesen alle getesteten Ergebnisse zwar Varianzhomogenität auf, waren aber nicht normalverteilt. Auch Transformationen lieferten keine normalverteilten Daten. Die Tests wurden dennoch durchgeführt, da die Varianzanalyse bei genügend hoher Datenzahl robust gegen die Verletzung der Voraussetzung „Normalverteilung“ wird (FOX ET AL. 1995, BÄRLOCHER 1999).

BETANAL / PHENMEDIPHAM / LEERFORMULIERUNG

Die Konzentrations-Wirkungskurven für *O. armatus* zeigten in den Akuttests mit Betanal bzw. der Leerformulierung bei beiden Versuchslaufzeiten nahezu den gleichen Verlauf (Abb. 18). Auch die EC₅₀-Werte unterschieden sich nur sehr wenig (Tab. 14), die LOEC lagen im gleichen Konzentrationsbereich. Der Vergleich der beiden Formulierungen mittels zweifaktorieller ANOVA zeigte, dass zwischen den Substanzen und den eingesetzten Konzentrationen keine Wechselwirkung bestand (Tab. 15, Erläuterungen zum Verfahren s. S. 28).

Die Art *I. anglicana* reagierte auf die Leerformulierung etwas empfindlicher als auf das Handelsprodukt. Dies äußert sich in etwas unterschiedlichen EC₅₀-Werten (Tab. 15). Die LOEC wichen für beide Versuchslaufzeiten um eine Konzentrationsstufe voneinander ab. Die zweifaktorielle ANOVA lieferte für die Tests mit einer Laufzeit von 7 Tagen einen signifikanten Unterschied zwischen den Effekten der beiden Formulierungen (Tab.15).

Tab. 14: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgeschädigte Tiere) bei Akuttests mit Betanal, dem aktiven Wirkstoff Phenmedipham (Phen.) und einer Leerformulierung (LF). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.
/: kein Effekt.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>			<i>O. armatus</i>		
	Betanal	Phen.	LF	Betanal	Phen.	LF
LOEC	13	/	10	28,9	/	28,9
EC₅₀	12,9	/	11,8	35,1	/	34,3
95%-Konf.- Int.	12,3-13,5		11,1-12,4	28,4-43,9		32,5-36,2
Intercept a	-10,1		-4,62	-6,21		-8,94
Slope b	13,61		8,99	7,25		9,08
Varianz von b	1,52		1,07	0,45		1,08
p(Chi ²)	0,427		0,028	<0,001		0,151
p(F)	0,018		0,044	0,005		0,024
r ²	0,984		0,914	0,818		0,953

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>			<i>O. armatus</i>		
	Betanal	Phen.	LF	Betanal	Phen.	LF
LOEC	13	/	10	28,9	/	28,9
EC₅₀	10,1	/	9,0	31,4	/	31,0
95%-Konf.- Int.	n. b.		8,0-10,0	n. b.		29,5-32,7
Intercept a	0,00		-3,62	-3,67		-10,45
Slope b	4,98		10,40	5,80		10,36
Varianz von b	0,42		3,11	0,38		1,40
p(Chi ²)	<0,001		0,017	<0,001		0,419
p(F)	0,166		0,020	0,050		0,011
r ²	0,525		0,908	0,658		0,978

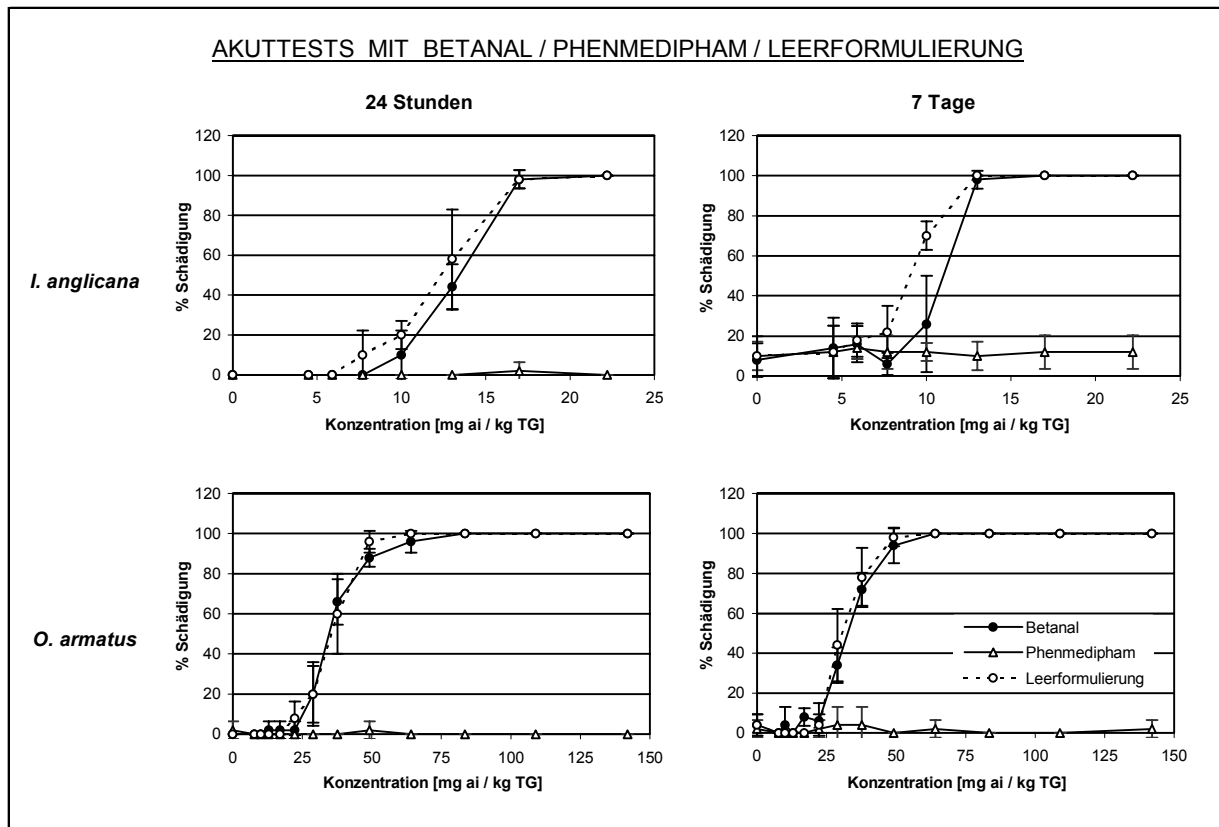


Abb. 18: Vergleich der Akuttests mit Betanal, dem aktiven Wirkstoff Phenmedipham und einer Leerformulierung an zwei Collembolenarten über 24 Stunden und 7 Tage. Alle Substanzen wurden in Konzentrationsstufen getestet, die den für die Versuche mit Betanal verwendeten Konzentrationen entsprachen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile geschädigter Tiere aus je 5 Parallelen. Fehlerbalken = Standardabweichung.

Tab. 15: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA zum Vergleich der Effekte von Betanal und einer Leerformulierung auf die zwei Collembolenarten *I. anglicana* und *O. armatus*. FG = Freiheitsgrade, F-Statistik = F-Wert der Varianzanalyse, p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Art	Versuchsdauer	Variationsquelle	FG	F-Statistik	p	Signifikanz (p<0,05)
<i>I. anglicana</i>	24 h	Formulierung	1	9,389	0,003	+
		Konzentration	7	199,611	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	7	0,690	0,680	-
	7 d	Formulierung	1	13,045	<0,001	+
		Konzentration	7	186,934	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	7	6,173	<0,001	+
<i>O. armatus</i>	24 h	Formulierung	1	0,413	0,522	-
		Konzentration	10	350,337	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	10	0,704	0,718	-
	7 d	Formulierung	1	0,615	0,435	-
		Konzentration	10	371,986	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	10	0,991	0,457	-

KARATE / λ -CYHALOTHRIN

Im 24-Stunden-Test übte der Wirkstoff λ -Cyhalothrin im Bereich höherer Konzentrationsstufen einen stärkeren Effekt auf die Art *I. anglicana* aus, als das Karate selbst. Nach 7 Tagen kehrte sich dieses Verhältnis um (Abb. 19). Die berechneten Effektkonzentrationen zeigt Tabelle 16. Die zweifaktorielle ANOVA zeigte, dass sich bei beiden Versuchslaufzeiten die Kurvenverläufe jeweils signifikant unterschieden (Tab. 17).

Tab. 16: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgeschädigte Tiere) bei Akuttests mit Karate und dem aktiven Wirkstoff λ -Cyhalothrin. Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben. n. b.: aufgrund zu geringer Datenmenge nicht zu berechnen.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>		<i>O. armatus</i>	
	Karate	λ -Cyhalothrin	Karate	λ -Cyhalothrin
LOEC	13	13	142	142
EC₅₀	30	22	265	236
95%-Konf.- Int.	27-33	20-23	n. b.	141-684
Intercept a	0,61	-2,51	-2,08	0,05
Slope b	2,99	5,61	9,92	2,09
Varianz von b	0,09	0,29	0,13	0,05
p(Chi ²)	0,066	0,059	<0,001	<0,001
p(F)	0,000	0,002	0,055	0,006
r ²	0,899	0,922	0,758	0,742

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>		<i>O. armatus</i>	
	Karate	λ -Cyhalothrin	Karate	λ -Cyhalothrin
LOEC	13	10	17	17
EC₅₀	14	19	34	33
95%-Konf.- Int.	12-15	13-26	30-39	28-38
Intercept a	-0,39	-0,09	-0,37	1,02
Slope b	4,75	3,97	3,51	2,63
Varianz von b	0,37	0,15	0,14	0,09
p(Chi ²)	0,914	<0,001	0,081	0,013
p(F)	0,000	0,007	0,008	0,020
r ²	0,991	0,795	0,931	0,872

Die Konzentrations-Wirkungskurven der Akuttests mit *O. armatus* zeigten dagegen eine sehr ähnliche Tendenz (Abb. 19). Die EC_{50} -Werte unterschieden sich nur geringfügig, die LOEC gar nicht. Die Ähnlichkeit der Wirkung wurde für die Versuchsdauer von 24 Stunden durch die zweifaktorielle ANOVA bestätigt (Tab. 17). Für den 7-Tage-Test zeigte das Verfahren allerdings (bedingt durch Abweichungen bei der Konzentrationsstufe 28,9 mg ai / kg TG, wie ein Tukey-Test zeigt) eine signifikant unterschiedliche Wirkung der beiden Formulierungen auf die Art *O. armatus* an. Aufgrund der sehr nahe beieinanderliegenden Effektkonzentrationen (Tab. 16) und der augenscheinlichen Ähnlichkeit der Konzentrations-Wirkungskurven kann dieses Resultat wohl auf die natürliche Variabilität der Testergebnisse zurückgeführt werden. Somit würden sich das Handelsprodukt Karate und sein aktiver Wirkstoff in ihrer schädigenden Wirkung auf *O. armatus* nicht unterscheiden.

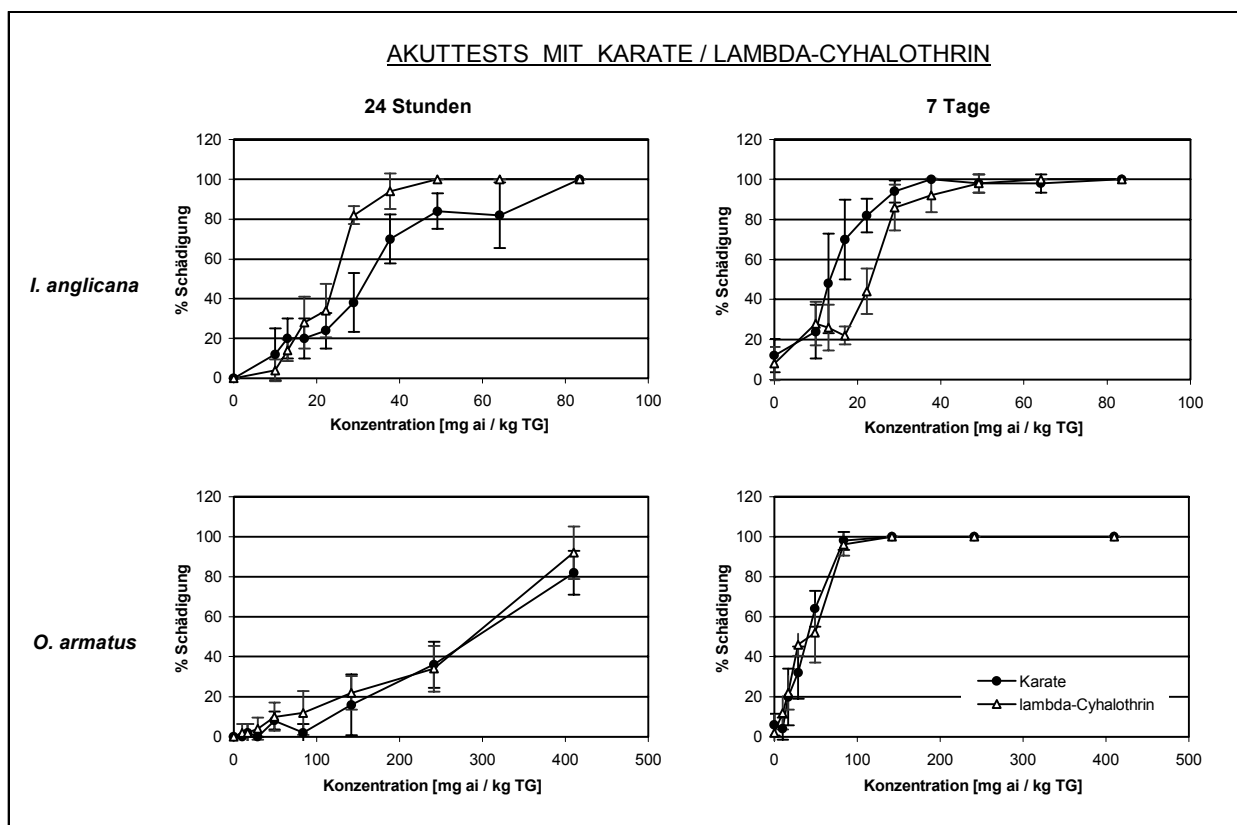


Abb. 19: Vergleich der Akuttests mit Karate und dem aktiven Wirkstoff λ -Cyhalothrin an zwei Collembolenarten über 24 Stunden und 7 Tage. Der Reinstoff wurde in Konzentrationsstufen getestet, die den für die Versuche mit Karate verwendeten Konzentrationen entsprachen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile geschädigter Tiere aus je 5 Parallelen. Fehlerbalken = Standardabweichung.

Tab. 17: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA zum Vergleich der Effekte von Karate und dem technischen Reinstoff λ -Cyhalothrin auf die zwei Collembolenarten *I. anglicana* und *O. armatus*. FG = Freiheitsgrade, F-Statistik = F-Wert der Varianzanalyse, p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Art	Versuchsdauer	Variationsquelle	FG	F-Statistik	p	Signifikanz (p<0,05)
<i>I. anglicana</i>	24 h	Formulierung	1	33,440	<0,001	+
		Konzentration	9	179,075	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	9	7,382	<0,001	+
	7 d	Formulierung	1	12,386	<0,001	+
		Konzentration	9	51,262	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	9	4,756	<0,001	+
<i>O. armatus</i>	24 h	Formulierung	1	3,846	0,054	-
		Konzentration	8	122,056	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	8	0,731	0,664	-
	7 d	Formulierung	1	0,0235	0,879	-
		Konzentration	8	365,547	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	8	2,829	0,009	+

CYMBUSH / CYPERMETHRIN

Der aktive Wirkstoff Cypermethrin hatte in gleichen Konzentrationen wie sie im Handelsprodukt Cymbush enthalten sind auf die beiden untersuchten Arten *I. anglicana* und *O. armatus* über beide Versuchslaufzeiten keine dem Cymbush vergleichbare Wirkung (s. Abb. 20). Die Schwankungen im Versuch mit *I. anglicana* über 7 Tage entsprachen der für diese Art stets etwas erhöhten Kontrollmortalität. Die statistische Auswertung sowie die Berechnung von Effektkonzentrationen erübrigte sich.

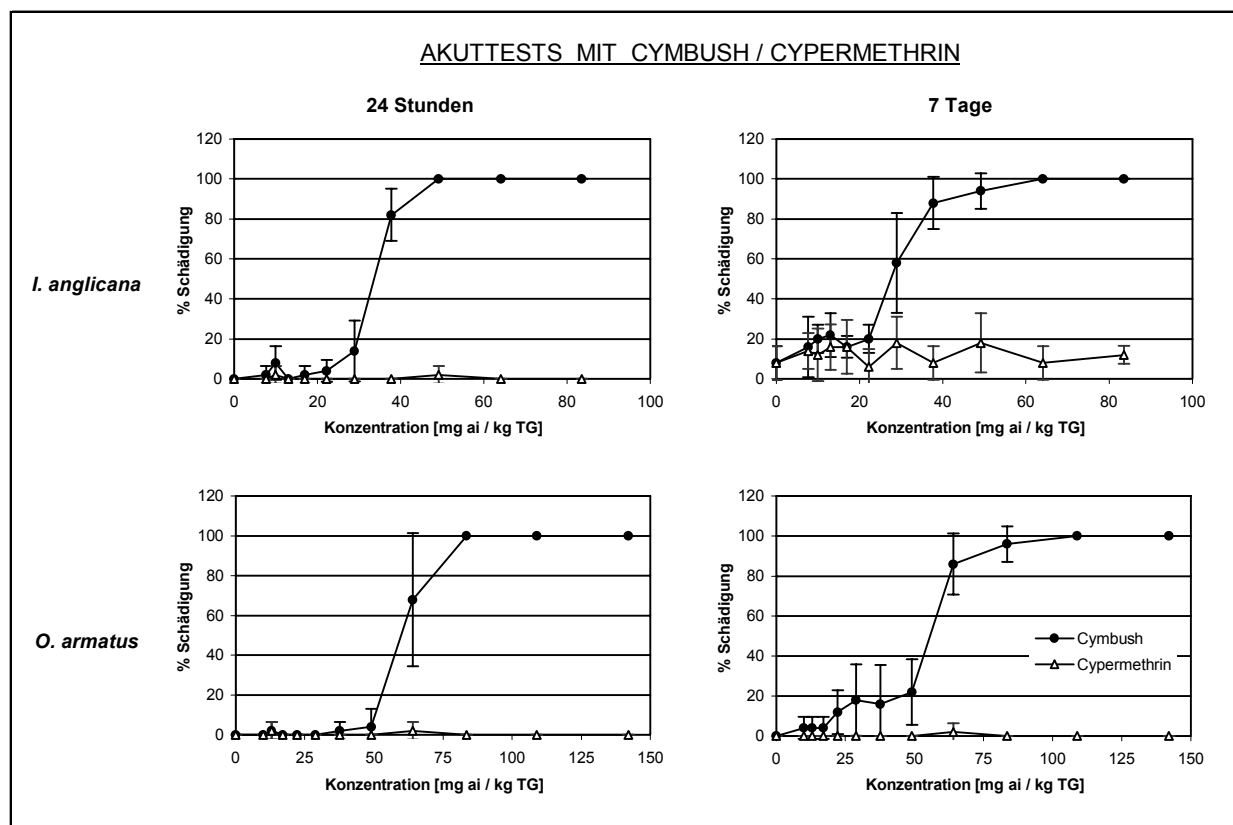


Abb. 20: Vergleich der Akuttests mit Cymbush und dem aktiven Wirkstoff Cypermethrin an zwei Collembolenarten über 24 Stunden und 7 Tage. Der Reinstoff wurde in Konzentrationsstufen getestet, die den für die Versuche mit Cymbush verwendeten Konzentrationen entsprachen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile geschädigter Tiere aus je 5 Parallelen. Fehlerbalken = Standardabweichung.

CRONETON / ETHIOFENCARB

Auf die Art *I. anglicana* wirkten Croneton und der aktive Wirkstoff Ethiofencarb in den Akuttests über 24 Stunden in vergleichbarer Weise (Abb. 21). Nach 7 Tagen unterschieden sich die LOEC nicht (Tab. 18). Die zweifaktorielle ANOVA wies allerdings auf einen unterschiedlichen Verlauf der Konzentrations-Wirkungskurven hin (Tab. 19). Dem etwas steileren Verlauf der Kurve für die Wirkung des Ethiofencarb entsprach auch die leicht erniedrigte EC_{50} , die auf einen stärkeren Effekt des Wirkstoffs im Vergleich mit dem Handelsprodukt Croneton hindeutet.

Tab. 18: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgeschädigte Tiere) bei Akuttests mit Croneton und dem aktiven Wirkstoff Ethiofencarb. Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>		<i>O. armatus</i>	
	Croneton	Ethiofencarb	Croneton	Ethiofencarb
LOEC	17	22,2	22,2	17
EC_{50}	23,1	24,0	25,9	28,3
95%-Konf.- Int.	21,5-24,8	22,4-25,8	23,7-28,3	25,7-31,1
Intercept a	-2,82	-3,11	-4,15	-1,77
Slope b	5,74	5,88	6,47	4,66
Varianz von b	0,32	0,34	0,95	0,29
p(Chi ²)	0,003	0,301	0,730	0,020
p(F)	0,007	0,001	0,007	0,007
r ²	0,864	0,954	0,986	0,865

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>		<i>O. armatus</i>	
	Croneton	Ethiofencarb	Croneton	Ethiofencarb
LOEC	10	10	17	13
EC_{50}	15,3	12,5	17,6	15,4
95%-Konf.- Int.	13,4-17,5	11,4-13,7	16,5-18,8	14,5-16,4
Intercept a	2,04	0,62	-3,39	-3,99
Slope b	2,49	4,00	6,74	7,57
Varianz von b	0,11	0,20	0,50	0,84
p(Chi ²)	0,005	0,161	0,136	0,673
p(F)	0,008	0,002	0,006	0,006
r ²	0,779	0,923	0,943	0,989

Gleiches gilt auch für die Art *O. armatus*, die nach einer Expositionszeit von 7 Tagen durch Ethiofencarb stärker geschädigt wurde als durch Croneton in gleichen Konzentrationen (Tab. 18). Im Kurzzeittest über 24 Stunden zeigte der aktive Wirkstoff allerdings eine geringere Wirkung als das Handelsprodukt. Für beide Versuchsansätze lagen die Effektkonzentrationen jeweils in ähnlichen Bereichen, die LOEC unterschieden sich um eine Konzentrationsstufe. Bedingt durch die Unterschiede in mehreren Konzentrationsstufen zeigte die zweifaktorielle ANOVA signifikante Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Formulierung und Konzentration in beiden Versuchsansätzen auf (Tab. 19).

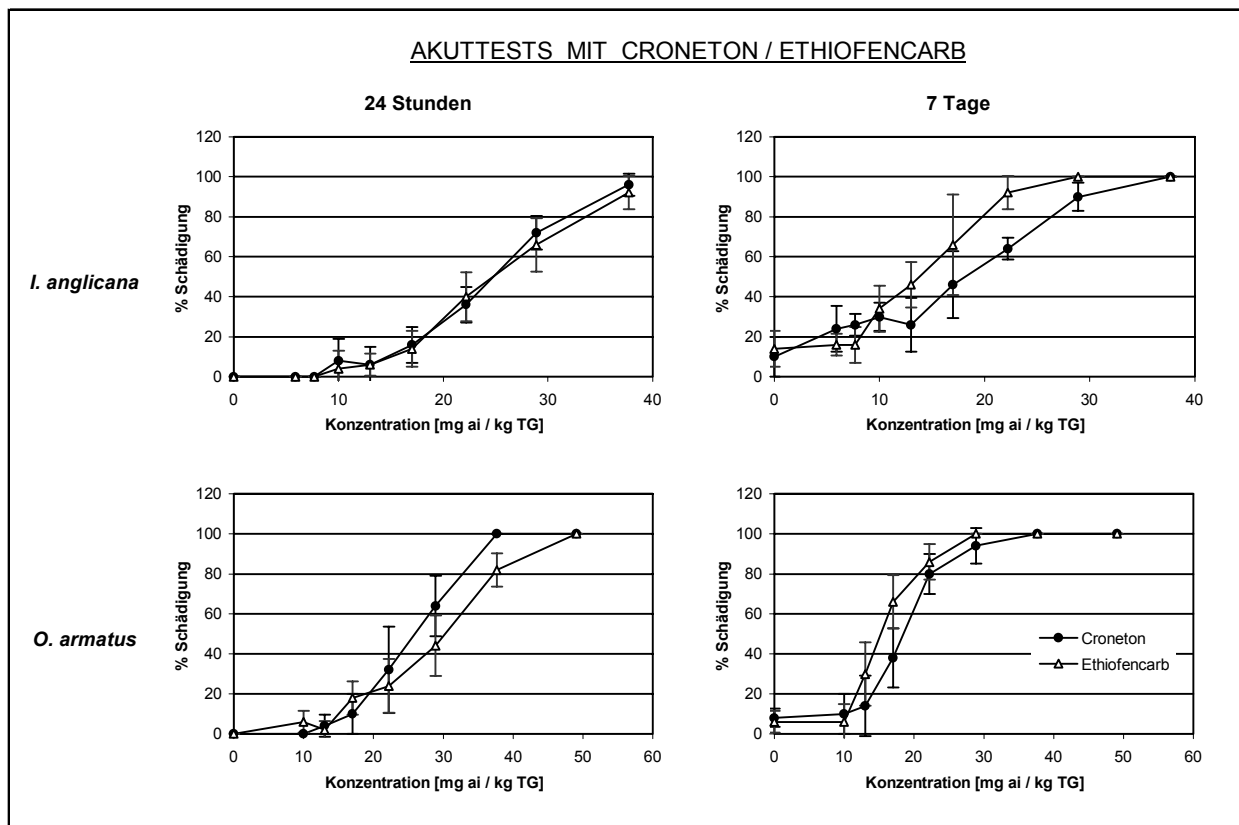


Abb. 21: Vergleich der Akuttests mit Croneton und dem aktiven Wirkstoff Ethiofencarb an zwei Collembolenarten über 24 Stunden und 7 Tage. Der Reinstoff wurde in Konzentrationsstufen getestet, die den für die Versuche mit Croneton verwendeten Konzentrationen entsprachen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile geschädigter Tiere aus je 5 Parallelen. Fehlerbalken = Standardabweichung.

Tab. 19: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA zum Vergleich der Effekte von Croneton und dem technischen Reinstoff Ethiofencarb auf die zwei Collembolenarten *I. anglicana* und *O. armatus*. FG = Freiheitsgrade, F-Statistik = F-Wert der Varianzanalyse, p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Art	Versuchsdauer	Variationsquelle	FG	F-Statistik	p	Signifikanz (p<0,05)
<i>I. anglicana</i>	24 h	Formulierung	1	0,686	0,410	-
		Konzentration	8	204,900	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	8	0,386	0,925	-
	7 d	Formulierung	1	9,000	0,004	+
		Konzentration	8	105,392	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	8	4,162	<0,001	+
<i>O. armatus</i>	24 h	Formulierung	1	4,042	0,049	+
		Konzentration	7	183,239	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	7	2,987	0,009	+
	7 d	Formulierung	1	9,124	0,004	+
		Konzentration	7	201,942	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	7	3,418	0,004	+

CURATERR / CARBOFURAN

Der Wirkstoff des Produktes Curaterr, Carbofuran, hatte in den Akutttests über 24 Stunden eine ähnliche Wirkung auf die Art *I. anglicana* wie das Curaterr selbst (Abb. 22). In den Versuchen über 7 Tage spiegelte sich der steilere Kurvenverlauf für Carbofuran in entsprechend niedrigeren Effektkonzentrationen wider (Tab. 21). Die LOEC war um eine Konzentrationsstufe erniedrigt. Auch die zweifaktorielle ANOVA zeigte, dass die beiden Substanzen nicht in allen Konzentrationen identisch wirkten (Tab. 20).

Auf die Art *O. armatus* hatte der aktive Wirkstoff Carbofuran nach 24 Stunden einen stärkeren Effekt als das Produkt Curaterr (Abb. 22). Die LOEC unterschieden sich zwar nicht, der Verlauf der Gesamtkurven ist jedoch signifikant verschieden (Tab. 20). Nach 7 Tagen lagen die Konzentrations-Wirkungskurven hingegen so nah beieinander, dass keine signifikanten Wechselwirkungen zwischen den beiden Faktoren nachzuweisen waren. Reinstoff und Handelsprodukt schädigten die Versuchstiere somit in allen getesteten Konzentrationen ähnlich stark.

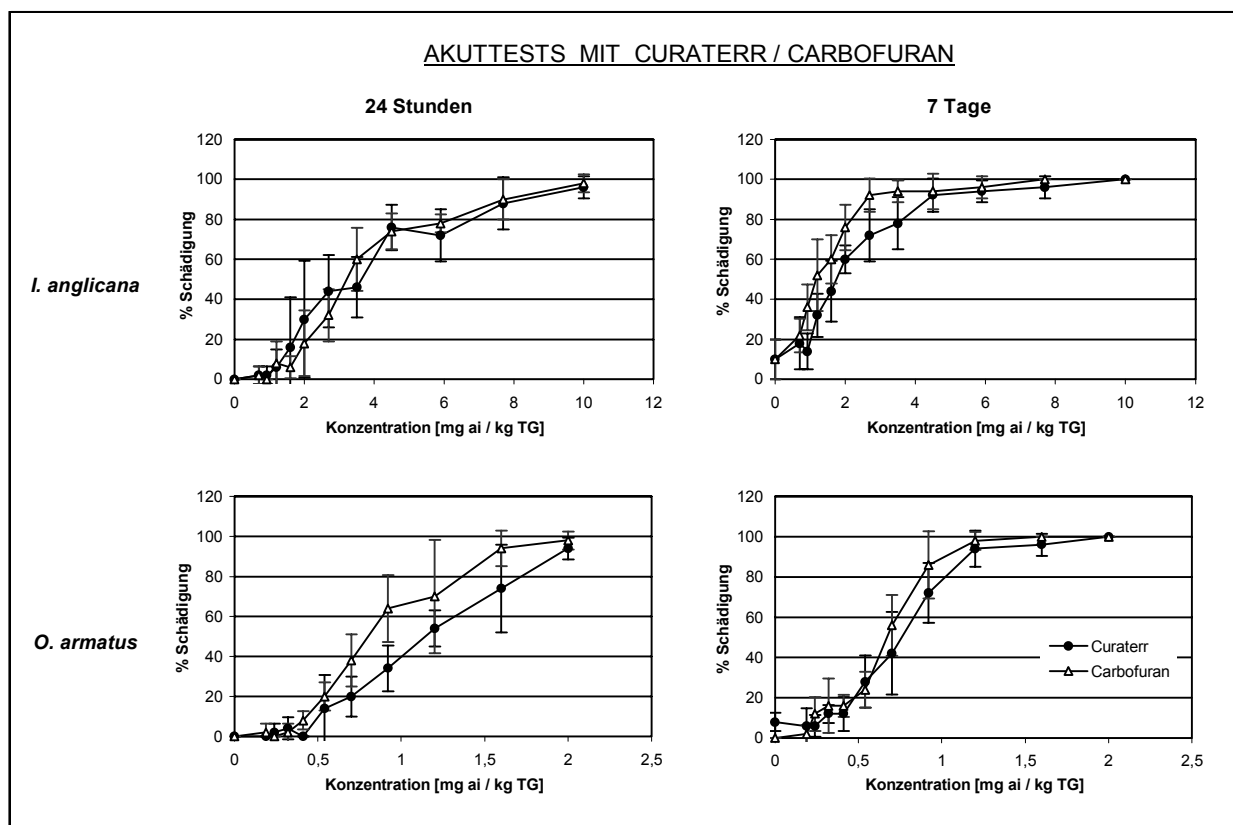


Abb. 22: Vergleich der Akuttests mit Curaterr und dem aktiven Wirkstoff Carbofuran an zwei Collembolenarten über 24 Stunden und 7 Tage. Der Reinstoff wurde in Konzentrationsstufen getestet, die den für die Versuche mit Curaterr verwendeten Konzentrationen entsprachen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile geschädigter Tiere aus je 5 Parallelen. Fehlerbalken = Standardabweichung.

Tab. 20: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA zum Vergleich der Effekte von Curaterr und dem technischen Reinstoff Carbofuran auf die zwei Collembolenarten *I. anglicana* und *O. armatus*. FG = Freiheitsgrade, F-Statistik = F-Wert der Varianzanalyse, p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Art	Versuchsdauer	Variationsquelle	FG	F-Statistik	p	Signifikanz (p<0,05)
<i>I. anglicana</i>	24 h	Formulierung	1	0,263	0,609	-
		Konzentration	11	88,529	<0,001	+
		Formulierung x Konzentration	11	0,920	0,524	-
	7 d	Formulierung	1	31,940	<0,001	+
		Konzentration	11	113,101	<0,001	+
		Formulierung x Konzentration	11	1,994	0,037	+
<i>O. armatus</i>	24 h	Formulierung	1	18,541	0,014	+
		Konzentration	10	109,172	<0,001	+
		Formulierung x Konzentration	10	2,402	<0,001	+
	7 d	Formulierung	1	2,820	0,097	-
		Konzentration	10	177,584	<0,001	+
		Formulierung x Konzentration	10	1,296	0,245	-

Tab. 21: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und Lokomotionsgeschädigte Tiere) bei Akuttests mit Curaterr und dem aktiven Wirkstoff Carbofuran. Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben.

a) 24 Stunden

	<i>I. anglicana</i>		<i>O. armatus</i>	
	Curaterr	Carbofuran	Curaterr	Carbofuran
LOEC	2	2	0,7	0,7
EC₅₀	3,14	3,25	1,14	0,83
95%-Konf.- Int.	2,81-3,50	2,95-3,58	0,98-1,33	0,76-0,91
Intercept a	3,30	2,91	4,81	5,36
Slope b	3,43	4,09	3,39	4,52
Varianz von b	0,11	0,19	0,21	0,23
p(Chi ²)	0,803	0,567	0,780	0,812
p(F)	0,000	0,000	0,000	0,000
r ²	0,961	0,948	0,958	0,975

b) 7 Tage

	<i>I. anglicana</i>		<i>O. armatus</i>	
	Curaterr	Carbofuran	Curaterr	Carbofuran
LOEC	1,2	0,92	0,54	0,54
EC₅₀	1,73	1,20	0,68	0,60
95%-Konf.- Int.	1,56-1,93	1,07-1,35	0,62-0,74	0,55-0,65
Intercept a	4,30	4,74	5,66	5,97
Slope b	2,94	3,19	3,88	4,34
Varianz von b	0,085	0,10	0,13	0,14
p(Chi ²)	0,766	0,807	0,013	0,001
p(F)	0,000	0,000	0,001	0,001
r ²	0,964	0,971	0,882	0,862

NEEMAZAL T/S / NEEMAZAL / LEERFORMULIERUNG

Genau wie das NeemAzal T/S zeigte auch der Neemkernextrakt NeemAzal nach 24 Stunden keine Wirkung auf die untersuchten Collembolenarten (Abb. 23). Nach 7 Tagen Versuchsdauer zeigten beide Substanzen einen vergleichbaren Verlauf der Konzentrations-Wirkungskurven sowie vergleichbare Effektkonzentrationen (Tab. 22). Durch die zweifaktorielle ANOVA ließ sich keine statistisch absicherbare Interaktion zwischen der Formulierung und den einzelnen Konzentrationen nachweisen (Tab. 23).

Die Leerformulierung von NeemAzal T/S übte in keinem der vier Versuche eine schädigende Wirkung auf die Collembolen aus (Abb. 23).

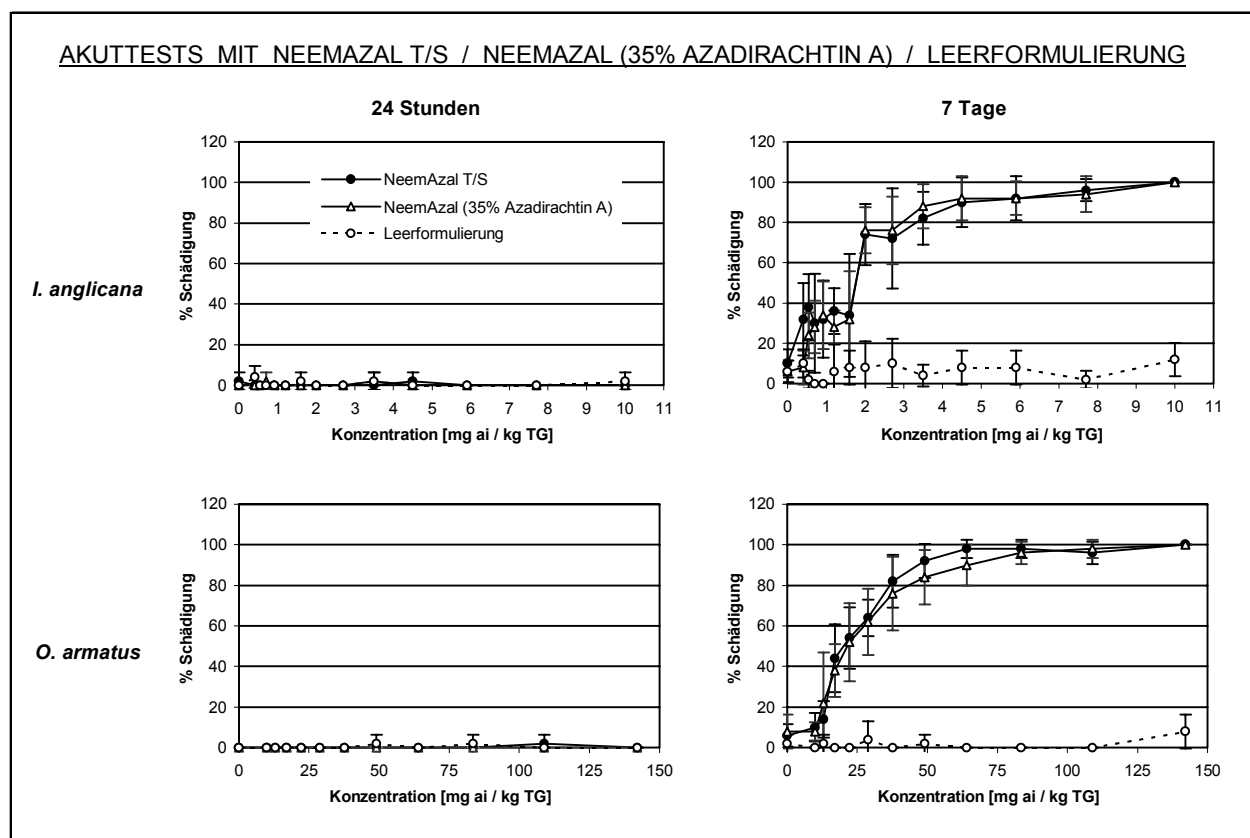


Abb. 23: Vergleich der Akuttests mit NeemAzal T/S, dem Neemkernextrakt NeemAzal (35% aktiver Wirkstoff Azadirachtin A) und einer Leerformulierung an zwei Collembolenarten über 24 Stunden und 7 Tage. Alle Substanzen wurden in Konzentrationsstufen getestet, die den für die Versuche mit NeemAzal T/S verwendeten Konzentrationen entsprachen. Dargestellt sind die prozentualen Anteile geschädigter Tiere aus je 5 Parallelen. Fehlerbalken = Standardabweichung.

Tab. 22: Effektkonzentrationen und LOEC für die Schädigung (tote und lokomotionsgeschädigte Tiere) bei Akuttests über 7 Tage mit NeemAzal T/S, dem Neemkernextrakt NeemAzal (35% aktiver Wirkstoff Azadirachtin A), sowie einer Leerformulierung (LF). Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. Berechnungen wie in Tabelle 7 angegeben. /: kein Effekt

	<i>I. anglicana</i>			<i>O. armatus</i>		
	NeemAzal T/S	NeemAzal	LF	NeemAzal T/S	NeemAzal	LF
LOEC	2	0,92	/	2,7	2,7	/
EC₅₀	1,3	1,5	/	3,7	4,1	/
95%-Konf.- Int.	1,1-1,6	1,3-1,7		2,9-4,7	3,1-5,5	
Intercept a	4,82	4,61		4,28	4,37	
Slope b	1,49	2,24		1,27	1,04	
Varianz von b	0,04	0,06		0,04	0,03	
p(Chi ²)	0,003	0,012		<0,001	<0,001	
p(F)	0,002	0,000		0,178	0,191	
r ²	0,675	0,812		0,243	0,230	

Tab. 23: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA zum Vergleich der Effekte von NeemAzal T/S und dem Neemkernextrakt NeemAzal auf die zwei Collembolenarten *I. anglicana* und *O. armatus*. FG = Freiheitsgrade, F-Statistik = F-Wert der Varianzanalyse, p = Irrtumswahrscheinlichkeit

Art	Versuchsdauer	Variationsquelle	FG	F-Statistik	p	Signifikanz (p<0,05)
<i>I. anglicana</i>	7 d	Formulierung	1	1,309	0,255	-
		Konzentration	13	49,627	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	13	0,717	0,743	-
<i>O. armatus</i>	7 d	Formulierung	1	0,889	0,348	-
		Konzentration	11	95,459	<0,001	+
		Formulierung × Konzentration	11	0,404	0,951	-

ZUSAMMENFASSUNG

Die Toxizitätstests mit den aktiven Wirkstoffen der verwendeten Pflanzenschutzmittel zeigten, dass die schädigenden Effekte von Karate, Croneton, Curaterr und NeemAzal T/S größtenteils von den jeweiligen Wirkstoffen ausgingen. Im Fall von Cymbush und Betanal hatten die Wirkstoffe keine dem Produkt vergleichbare Wirkung, es ist daher zu vermuten, dass andere Substanzen in der Formulierung auf die Collembolen toxisch wirkten. Dies konnte für Betanal direkt durch die Tests mit der Leerformulierung nachgewiesen werden, die ähnliche Auswirkungen auf die Versuchstiere hatte wie das Betanal selbst (s. Tab. 24).

Tab. 24: Zusammenfassung der Toxizität von Wirkstoffen und Leerformulierungen (Handelsprodukte in Klammern).
 -: nicht toxisch, +: ähnlich toxisch wie das Handelsprodukt

	Toxische Wirkung auf die Art	
	<i>I. anglicana</i>	<i>O. armatus</i>
Phenmedipham (Betanal)	–	–
Leerformulierung (Betanal)	+	+
λ -Cyhalothrin (Karate)	+	+
Cypermethrin (Cymbush)	–	–
Ethiofencarb (Croneton)	+	+
Carbofuran (Curaterr)	+	+
NeemAzal (NeemAzal T/S)	+	+
Leerformulierung (NeemAzal T/S)	–	–

3.1.2 Reproduktionstests

REPRODUKTIONSTEST

<i>Art:</i>	<i>Folsomia candida</i>
<i>Substrat:</i>	LUFA 2.2, 50 % MWK
<i>Parallelen:</i>	5
<i>Individuen / Parallele:</i>	10
<i>Dauer:</i>	28 Tage
<i>Ort:</i>	Tageslicht-Klimaschrank, 20°C
<i>Endpunkt:</i>	Anzahl der Juvenilen

Für die Reproduktionstests wurden ausgehend von den Ergebnissen der Akuttests mit der Art *F. candida* jene Konzentrationen als Höchstkonzentrationen festgesetzt, bei denen nach 7 Tagen durchschnittlich nicht mehr als 20% der Tiere geschädigt worden waren. Konnten beim Auszählen der Reproduktionstests durchschnittlich weniger als 80% der eingesetzten Adulten wiedergefunden werden, ging die entsprechende Konzentrationsstufe nicht in die Auswertung ein, um eine Verfälschung der Ergebnisse durch letale Effekte auf die Adulten zu vermeiden.

In Abbildung 24 sind die Ergebnisse der Reproduktionstests für die sechs untersuchten Pflanzenschutzmittel sowie die beiden Leerformulierungen (Betanal und NeemAzal T/S) dargestellt. Die Einzelergebnisse mit den Anzahlen der wiedergefundenen Adulten finden sich im Anhang 2.

Neben der Ermittlung der LOEC durch eine ANOVA mit nachfolgendem Dunnett's-Test wurden die EC_{50} -Werte für die Wirkung auf die Reproduktion mittels Probitanalyse berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 zusammengestellt.

Von den sechs untersuchten Pflanzenschutzmitteln wirkte sich das Insektizid Curaterr am stärksten negativ auf die Reproduktion von *F. candida* aus (Abb. 24). Bei der höchsten getesteten Curaterr-Konzentration von 0,11 mg ai / kg TG war die Anzahl der Juvenilen gegenüber der Kontrolle auf 12% reduziert, ohne dass eine letale Wirkung auf die Adulttiere festzustellen war. Einen Reproduktionsrückgang auf 29% des Kontrollwertes bewirkte das Herbizid Betanal bei der höchsten getesteten Konzentration von 10 mg ai / kg TG. Auch die Leerformulierung des Produkts zeigte negative Effekte. Hier wurden bei der entsprechenden Konzentration nur 37,6% der in der Kontrolle vorhandenen Juvenilen gefunden. Betanal und die Leerformulierung hatten in allen Konzentrationsstufen ähnliche Wirkungen (zweifaktorielle ANOVA, $p=0,352$). Auch die EC_{50} -Werte lagen dicht beieinander (Tab. 25). Im Gegensatz dazu besaß die Leerformulierung des NeemAzal T/S keinerlei reproduktionseinschränkende Wirkung, während das NeemAzal T/S selbst bereits bei einer Konzentration von 0,084 mg ai / kg TG zu einer Verringerung der Juvenilenzahl auf 70% des Kontrollwertes führte. Unter dem Einfluss des synthetischen Pyrethroids Karate nahm die Reproduktion ab einer Konzentration von 17 mg ai / kg TG signifikant ab (Tab. 25). Sie wurde bei der nächsthöheren Konzentrationsstufe auf 57% reduziert. Hingegen hatte das andere untersuchte synthetische Pyrethroid Cymbush keinen Effekt auf die Anzahl der Nachkommen von *F. candida*. Bei Verwendung von höheren Konzentrationen war zwar eine Verringerung der Juvenilenzahl festzustellen, durch eine erhöhte Mortalität der Adulten konnte daraus jedoch nicht eindeutig auf Veränderungen im Reproduktionsgeschehen geschlossen werden. Durch die Kontamination des Testsubstrats mit dem Insektizid Croneton wurde der Reproduktionserfolg bis auf 66% des Kontrollwertes eingeschränkt.

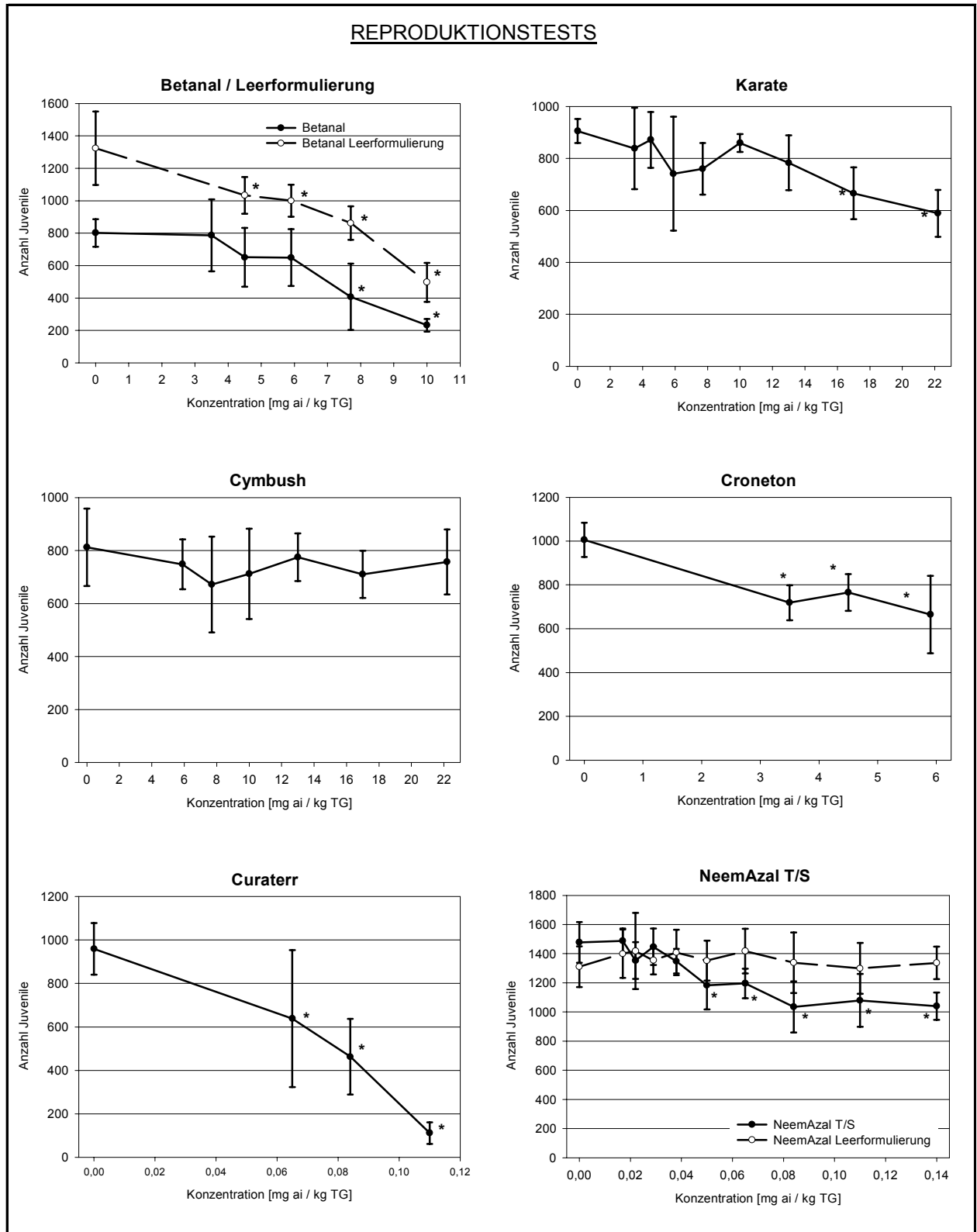


Abb. 24: Wirkung der sechs Pflanzenschutzmittel auf die Reproduktion von *Folsomia candida* nach 28 Tagen. Dargestellt sind die Mittelwerte aus jeweils 5 Parallelen sowie die Standardabweichung. *: signifikant unterschiedlich zur Kontrolle (ANOVA, Dunnett's t-Test, $\alpha=5\%$)

Tab. 25: Reproduktionstests mit *Folsomia candida* (LOEC; ANOVA, Dunnett's t-Test) und EC₂₀- bzw. EC₅₀-Werte (Probitanalyse) bei einer Versuchsdauer von 28 Tagen. Alle Angaben in [mg ai / kg TG]. n. b.: aufgrund zu geringer Datenmenge nicht zu berechnen. /: kein Effekt.

	Betanal	Betanal LF	Karate	Cymbush	Croneton	Curaterr	NeemAzal T/S	NeemAzal T/S LF
LOEC	7,7	4,5	17	/	3,5	0,084	0,05	/
EC₂₀	5,4	5	13	/	2	0,058	0,07	/
95%- Konf.-Int.	3,6-6,4	n. b.	7-26		n. b.	n. b.	0,05-0,09	
EC₅₀	7,9	8,9	49	/	26	0,078	0,23	/
95%- Konf.-Int.	6,8-9,7	n. b.	25-17743		n. b.	n. b.	0,14-1,89	
Intercept a	0,42	1,77	2,52		3,93	12,28	6	
Slope b	5,1	3,41	1,46		0,76	6,58	1,56	
Varianz von b	29,71	24,65	7,88		54,39	71,58	10,08	
p(Chi ²)	0,995	0,962	1		0,883	0,825	1	
p(F)	0,01	0,073	0,024		0,388	0,176	0,01	
r ²	0,921	0,86	0,6		0,327	0,925	0,768	

ZUSAMMENFASSUNG

Bis auf Cymbush wirkten sich alle untersuchten Pflanzenschutzmittel nach einer Expositionszeit von 28 Tagen negativ auf die Reproduktion von *F. candida* aus. Die Leerformulierung von Betanal hatte eine ähnliche Wirkung wie das Betanal selbst. Im Kontrast dazu blieb die Leerformulierung von NeemAzal T/S, anders als das NeemAzal T/S, ohne Effekt.