Sonderdruck aus

# Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

## Band 29

Jahrestagung 1998, Ulm

Herausgegeben im Auftrag der Gesellschaft für Ökologie
von
Jörg Pfadenhauer

unter Mitwirkung von
Ludger Kappen, Kiel
Ernst-Gerhardt Mahn, Halle
Annette Otte, Gießen
Harald Plachter, Marburg

Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg Berlin

# Auswirkungen von Insektiziden (Diflubenzuron, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki)* auf Nichtzielorganismen (edaphische Arthropodenfauna) in Kiefernforsten

Alexander Jäkel, Mechthild Roth


## Synopsis

**Effects of insecticides (Diflubenzuron, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) on non-target organisms (soil arthropods) in pine stands**

The study focuses on side effects of diflubenzuron, δ-endotoxins and spores of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* applied to pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in Northern Saxonia in 1995 as part of a control programme against pine moth (*Dendrolimus pini* L.). Special emphasize was put on the soil arthropod fauna and here above all on representatives of the decomposer community (Collembola, Diptera: Sciaridae, Cecidomyiidae) and potential regulators of pest insects (predators: Araneae, parasitoids: Hymenoptera).

Arthropods were sampled during the vegetation period of 1995, from May to October in two-weeks intervals by ground-photoeclectors (n = 5), pitfall traps (n=5) and the extraction of soil cores (n = 20). Sampling of animals started shortly after spraying the insecticides on pine stands by aircraft (diflubenzuron: 75 g a.i./ha, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*: 51 x $10^9$ IU/ha).

According to the sampling methods the soil arthropod fauna of the pine stands was dominated by Collembola, Diptera, Acari, Hymenoptera and Araneae. Insecticides showed ingredient and taxon specific effects:

Abundance of Sciaridae and Cecidomyiidae was negatively affected by pest control agents during the whole investigation period. Springtails showed contrasting reactions: a decrease of activity density was recorded on diflubenzuron-treated sites, a significant increase on *Bacillus thuringiensis*-treated sites. The Acari reacted on the application of both pest control agents with an increase of catch results. Catch results of pitfall traps and ground-photoeclectors documented a decrease of spider activity density within the first 6 weeks after the application of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. The ecological guild of larval- and imaginalparasitoid wasps was affected only by the application of Diflubenzuron. Effects of the pest control agents on egg-parasitoid wasps were not detected.


*Insektizide, Diflubenzuron, Bacillus thuringiensis var. kurstaki, Nebeneffekte, Bodenarthropoden, Zersetzerorganismen, Räuber, Parasitoide, Kiefernbestände*

*insecticides, Diflubenzuron, Bacillus thuringiensis var. kurstaki, side effects, soil arthropods, decomposers, predators, parasitoids, pine stands*

## 1 Einleitung

Kalamitäten biotischer Schaderreger gehören in anthropogen geprägten Waldökosystemen mit zu den gravierendsten Schadereignissen (SCHWERDTFEGER 1981, SCHWENKE 1996). Bedingt durch ihre Strukturarmut besitzen Kiefernmonokulturen eine erhöhte Disposition gegenüber Gradationen von Schadinsekten (LÜDGE 1971). So führten beispielsweise in den Kieferngebieten Sachsens in den letzten Jahren vor allem Massenvermehrungen von Schmetterlingen (*Dendrolimus pini* L., *Bupalus piniarius* L.) und *Phaenops cyanea* L. (Col.: Buprestidae) zur Gefährdung und zum Zusammenbruch von Beständen (SML 1997). Zur Eindämmung der Kalamitäten wurden vor allem zwei, in der Schädlingsbekämpfung häufig verwendete Insektizide mit unterschiedlichem Wirkmechanismus eingesetzt: der Chitinsynthesehemmer Diflubenzuron (GROSSCOURT & JONGSMA 1987) und *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, dessen toxisches Prinzip (δ-Endotoxine, Sporen) u.a. auf einem Zusammenbruch der Transportregulationsmechanismen im Intestinaltrakt beruht (ELLAR & al. 1990).

Entgegen den in den Prüfverfahren zur Zulassung festgestellten begrenzten Toxizitäten (FORSTER & al. 1993) belegen Freilanduntersuchungen vor allem für Diflubenzuron ein höheres toxisches Potential gegenüber Nichtzielorganismen (GEELS & RUTJENS 1992, MARTINAT & al. 1993, ROTH & FUNKE 1993, TINGLE 1996).

Von besonderer Relevanz sind toxische Effekte der Pflanzenschutzmittel, wenn ökologische Gilden betroffen sind, die Schlüsselpositionen im Funktionsgefüge von Ökosystemen einnehmen. Zu den auf ökosystemarer Ebene relevanten biotisch gesteuerten

Prozessen zählen in Wäldern zweifellos der Stoffkreislauf und die Fähigkeit zur Selbstregulation im Hinblick auf die Stabilität der Ökosysteme. Epi- und endogäische Arthropoden, die zu den Zersetzern oder Schädlingsantagonisten gehören, sind deshalb als Nichtzielorganismen von besonderem Interesse. Auch ohne direkte Kontamination sind Bodenbewohner durch die Auswaschung der Insektizide aus dem Kronenraum und den Eintrag mit dem Streufall gefährdet (s. a. SKATULLA & KELLNER 1989, SUNDRAM 1996). Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluß von Diflubenzuron und δ-Endotoxinen bzw. Sporen von *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* auf Vertreter dieser Gilden in Kiefernforsten zu untersuchen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden in einem ca. 47-jährigen einschichtigen Kiefernreinbestand (Forstamt Falkenberg, Kreis Torgau, Nordsachsen) durchgeführt. Die Kiefern stocken auf podsolierten Sand-Braunerden unter Rohhumus (Mächtigkeit: 6–8 cm, $pH_{KCl}$: 3,7). Es handelt sich um einen mäßig trockenen bis frischen Standort mit (mäßig) saurem Charakter, der rasch zur Austrocknung neigt. Der durchsschnittliche jährliche Niederschlag liegt bei 575 mm, das langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur bei 8,7 °C.

Als Versuchsareale (Kontrollfläche: KF, Diflubenzuronfläche: DF, *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*-Fläche: BF) wurden ca. 1–2 ha große Parzellen des Kiefernforstes mit vergleichbaren Bestockungsverhältnissen (Stammzahlen, Volumenschlußgrad) ausgewählt. Um die verdriftungsbedingte Deposition der aviotechnisch ausgebrachten Insektizide in benachbarte Untersuchungsflächen zu vermeiden, waren die Versuchsparzellen durch Pufferstreifen getrennt.

## 3 Material und Methoden

Die Erfassung temporär oder permanent bodenlebender Arthropoden erfolgte mit Bodenphotoeklektoren (THIEDE 1977, n = 5; Zielorganismen: epigäische Collembola und Acari, Insekten mit bodenlebenden Entwicklungsstadien: Diptera, Hymenoptera), Bodenfallen (MÜHLENBERG 1993, n = 5; Zielorganismen: Araneae, Carabidae, Staphylinidae) und durch Extraktion von Stechrohrproben (KEMPSON & al. 1983, n = 20; Zielorganismen: endogäische Collembola, Acari). Während der Vegetationsperiode (02.05.–30.10.) 1995 wurden die Fallen in zweiwöchigem Rhythmus geleert. Die Entnahme der Stechrohrproben (∅: 10 cm; Profiltiefe: 15 cm) erfolgte am 15.05. und 12.06.1995.

Die Insektizide wurden bei windstillen und regenfreien Witterungsverhältnissen am 26.04.1995 in praxisüblichen Konzentrationen aviotechnisch appliziert: Diflubenzuron (75 g a.i./ha), *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ($51 \times 10^9$ IU/ha, getestet an *Trichplusia ni*).

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse basieren auf der Auswertung von 309.344 epi- und endogäischen Arthropoden. Die edaphische Arthropodenzönose des Kiefernforstes wurde dominiert von Collembola, Acari, Diptera, Hymenoptera und Araneae (Tab. 1–3). Von besonderer Relevanz für Effekte der Insektizide auf das funktionale Gefüge sind deshalb Collembola, Sciaridae, Cecidomyiidae, z.T. Acari (Zersetzergilde), Araneae, parasitoide Hymenoptera (Schädlingsantagonisten).

### 4.1 Auswirkungen der Insektizide auf Vertreter der Zersetzergilde

Betrachtet man die mit Hilfe von Bodenphotoeklektoren und Bodenfallen ermittelten Individuenzahlen der epigäischen Collembola und Acari, führte *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* zu teilweise drastischen Fangzahlsteigerungen während des gesamten Untersuchungszeitraums (Tab. 1, 2, Abb. 1). Die im Vergleich zu KF erhöhten Aktivitätsdichten waren in fast allen Fangperioden statistisch signifikant (MANN-WHITNEY-U-Test: $p < 0{,}05$). Ähnliche Effekte traten auch auf DF (vor allem im Eklektor) auf, allerdings nur innerhalb der ersten 6 Wochen (FP 1–3) nach Applikation von Diflubenzuron (Abb. 1).

Steigerungen der Aktivitätsdichte als Reaktion auf die Kontamination des Lebensraums sind für zahlreiche Arthropodengruppen und die verschiedensten chemischen Stoffklassen dokumentiert (FUNKE & ROTH 1993, PFEIFER & al. 1995). Sie können einerseits als Fluchtreaktionen auf nicht letale Insektizidkonzentrationen interpretiert werden (PFEIFER & al. 1995) bzw. durch insektizidbedingte Eingriffe in biotische Interaktionen entstehen (z.B. Beeinträchtigung von Prädatoren, Pathogenen oder Nahrungskonkurrenten). Die im Vergleich zu KF signifikant verringerte Schlüpfabundanz der (myceto)saprophagen Sciaridae und Cecidomyiidae auf den Insektizidflächen (s.u.) unterstützt diese Behauptung.

Teilweise signifikant verringerte Aktivitätsdichten epigäischer Collembolen traten auf DF 6–8 Wochen (FP 4)nach der chemischen Insektenbekämpfung auf (Abb. 1). Ähnliche Effekte wurden von verschiedenen Autoren beschrieben und sind wahrscheinlich auf Verschiebungen der Altersstruktur (RUF & al. 1997), Veränderungen der Artendiversität (FORSTER

Tab. 1

**Individuendichte der Arthropoda (Ind./m²) auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron; BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) nach Fängen mit Bodenphotoeklektoren im Untersuchungszeitraum 02.05.–30.10.95 – $\bar{x}$: arithmetisches Mittel, ±SD: Standardabweichung; [1] Mymaridae, Scelionidae, Trichogrammatidae; [2] Eulophidae, Ceraphronidae, Platygastridae, Ichneumonidae; [3] Lepidoptera, Psocoptera, Dermaptera, Larven (Insecta); [4] Daten der Acari basieren nur auf Untersuchungen vom 02.05.–10.07.95**

Table 1

**Abundance of Arthropoda (ind./m²) on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) according to the catch results of ground-photoeclectors during the investigation period 02.05.–30.10.95 – $\bar{x}$: arithmetic mean, ±SD: standard deviation; [1] Mymaridae, Scelionidae, Trichogrammatidae; [2] Eulophidae, Ceraphronidae, Platygastridae, Ichneumonidae; [3] Lepidoptera, Psocoptera, Dermaptera, Larven (Insecta); [4] data of Acari are based on catch results from 02.05. to 10.07.95**

| | KF | | DF | | BF | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | Gesamt |
| **Insecta** | | | | | | | |
| Collembola | 6.262,0 | 2.613,4 | 7.205,2 | 2.120,8 | 16.059,8 | 3.383,3 | 29.527,0 |
| Diptera | 2.888,8 | 982,4 | 1.473,8 | 203,7 | 1.281,0 | 91,7 | 5.644,2 |
| Sciaridae | 1.425,8 | 735,2 | 345,4 | 136,9 | 522,4 | 163,9 | 2.293,6 |
| Cecidomyiidae | 1.146,0 | 364,9 | 856,4 | 88,3 | 600,2 | 182,2 | 2.602,6 |
| Hymenoptera | 510,6 | 209,0 | 321,4 | 50,9 | 472,8 | 174,2 | 1.304,8 |
| Eiparasitoide[1] | 38,0 | 10,5 | 58,6 | 5,2 | 41,8 | 9,6 | 138,4 |
| Larvalparasitoide[2] | 247,2 | 74,7 | 104,4 | 15,5 | 197,4 | 36,6 | 549,0 |
| Coleoptera | 52,8 | 13,3 | 67,2 | 19,2 | 113,4 | 114,9 | 233,4 |
| Rhynchota | 58,8 | 21,5 | 96,6 | 26,2 | 55,0 | 27,6 | 210,4 |
| Sonstige[3] | 52,2 | 18,0 | 106,4 | 25,9 | 59,2 | 20,1 | 217,8 |
| **Arachnida** | | | | | | | |
| Araneae | 160,8 | 55,0 | 186,8 | 18,2 | 132,2 | 27,6 | 479,8 |
| Acari[4] | 574,6 | 91,0 | 888,2 | 258,3 | 1.075,6 | 310,8 | 2.538,4 |
| **Gesamt** | 10.560,6 | | 10.538,8 | | 19.249,6 | | 40.155,8 |

& al. 1993, SCHAAF & VOGT 1996) oder der Reproduktionsrate (ALTENKIRCH 1993) zurückzuführen.

Endogäische Collembola (Extraktion von Stechrohrproben) reagierten auf beide Insektizide mit einer signifikaten Verringerung der Individuenzahlen (Abb. 2, s.a. SCHAAF & VOGT 1996, DOPPELREITER 1979).

(Myceto)saprophage Sciaridae und Cecidomyiidae, die nach Fängen mit Bodenphotoeklektoren auf den Kiefernforstparzellen über 80 % der Dipterenfauna stellten, zeigten drastische Reaktionen auf die chemischen Forstschutzmaßnahmen. Sowohl Diflubenzuron als auch *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* führten zu erheblichen, teilweise hochsignifikanten Reduktionen der Abundanzen, die – wie für die Sciaridae dargestellt (Abb. 3) – während des gesamten Untersuchungszeitraums sichtbar waren.

Die Untersuchungen legen nahe, daß die Gefährdung von (myceto)saprophagen Nichtzielorganismen durch chemische Forstschutzmaßnahmen auch von der vertikalen Einnischung der Tiere im Lebensraum Boden abhängt. Während sich epigäische Arten durch ihre größere Mobilität und den Verdünnungseffekt der Atmosphäre (BOEHNKE & al. 1989) dem schädigenden Potential der Insektizide mehr oder weniger entziehen können (epigäische Collembola, Acari), sind endogäische (quasi sedentäre) Arthropoden (Larven der Sciaridae, Cecidomyiidae, Collembola) stärker gefährdet.

Bei Diflubenzuron (Entwicklungshemmstoff) sind toxische Effekte sicherlich auf Störungen des Häutungsprozesses zurückzuführen. Die Reduktion der Schlüpfabundanzen von Sciariden und Cecidomyiiden dürfte primär durch die Schädigung der endogäischen Larvalstadien zustande gekommen sein (s.a. GEELS & RUTJENS 1992). Ähnliches gilt für (endogäische) Collembolen, die sich auch als Adulti häuten.

Im Falle von *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* ist eine Interpretation der Effekte schwieriger, da diesem Insektizid bisher nur geringe Toxizitäten gegenüber Nichtzielorganismen bescheinigt wurden

Tab. 2

**Aktivitätsdichte (Ind./Bodenfalle) der Arthropoda auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) nach Bodenfallenfängen im Untersuchungszeitraum 02.05.–30.10.95 – $\bar{x}$: arithmetisches Mittel, ±SD: Standardabweichung; [1] Daten der Acari basieren nur auf Untersuchungen vom 02.05.–10.07.95, [2] Lepidoptera, Thysanoptera, Psocoptera, Dermaptera, Larven (Insecta), Opiliones, Pseudoscorpiones, Chilopoda, Diplopoda**

Table 2

**Abundance (ind./pitfall trap) of Arthropoda on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) according to the catch results of pitfall traps during the investigation period 02.05.–30.10.95 – $\bar{x}$: arithmetic mean, ±SD: standard deviation; [1] data of Acari are based on catch results from 02.05. to 10.07.95, [2] Lepidoptera, Thysanoptera, Psocoptera, Dermaptera, Larven (Insecta), Opiliones, Pseudoscorpiones, Chilopoda, Diplopoda**

| | KF | | DF | | BF | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | Gesamt |
| **Insecta** | | | | | | | |
| Collembola | 4.462,4 | 891,7 | 4.273,6 | 954,5 | 6.153,8 | 1.836,1 | 14.889,8 |
| Diptera | 637,2 | 222,8 | 514,6 | 73,9 | 423,2 | 85,0 | 1.575,0 |
| Hymenoptera | 130,8 | 40,3 | 95,4 | 29,8 | 96,2 | 31,7 | 322,4 |
| Coleoptera | 65,4 | 14,9 | 97,6 | 35,2 | 80,0 | 22,6 | 243,0 |
| Rhynchota | 161,2 | 46,6 | 128,6 | 19,4 | 109,8 | 30,5 | 399,6 |
| **Arachnida** | | | | | | | |
| Araneae | 144,6 | 25,9 | 139,6 | 17,2 | 123,6 | 36,5 | 407,8 |
| Acari[1] | 458,8 | 179,9 | 949,4 | 436,1 | 1.039,0 | 592,1 | 2.447,2 |
| Sonstige[2] | 54,2 | 19,8 | 46,8 | 10,8 | 49,0 | 10,4 | 150,0 |
| **Gesamt** | 6.114,6 | | 6.245,6 | | 8074,6 | | 20.434,8 |

Tab. 3

**Individuendichte der Arthropoda (Ind./Stechrohr) auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron; BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) nach Ergebnissen der Bodenprobenextraktion – $\bar{x}$: arithmetisches Mittel, ±SD: Standardabweichung; Probenahmetermine: 15.05.95 und 12.06.95**

Table 3

**Abundance (ind./soil core) of Arthropoda on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) – data based on the extraction of soil core samples – $\bar{x}$: arithmetic mean, ±SD: standard deviation; sampling dates: 15.05.95 and 12.06.95**

| | KF | | DF | | BF | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | Gesamt |
| **Insecta** | | | | | | | |
| Collembola | 1.307,2 | 378,9 | 941,6 | 95,8 | 817,4 | 308,6 | 3066,2 |
| Diptera | 5,2 | 4,8 | 3,6 | 2,7 | 6,6 | 2,9 | 15,4 |
| Hymenoptera | 15,4 | 13,1 | 9,0 | 3,7 | 11,2 | 11,2 | 35,6 |
| Coleoptera | 3,8 | 1,3 | 5,4 | 2,1 | 3,6 | 1,5 | 12,8 |
| Rhynchota | 4,6 | 3,2 | 4,2 | 2,3 | 5,4 | 3,8 | 14,2 |
| Larven (Insecta) | 36,6 | 12,5 | 43,4 | 15,6 | 41,4 | 11,5 | 121,4 |
| **Arachnida** | | | | | | | |
| Araneae | 29,0 | 20,7 | 24,6 | 10,1 | 17,6 | 6,2 | 71,2 |
| Acari | 1.326,0 | 523,8 | 1.189,0 | 78,1 | 1.357,0 | 374,6 | 3.872,0 |
| **Myriapoda** | | | | | | | |
| Chilopoda | 8,2 | 2,8 | 7,0 | 1,8 | 3,8 | 2,2 | 19,0 |
| Diplopoda | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,4 | 0,2 |
| **Gesamt** | 2.736,0 | | 2.228,0 | | 2.264,0 | | 7.228,0 |

(LANGENBRUCH 1993, OTVOS & VANDERDEEN 1993, WERNICKE & FUNKE 1995). Allerdings belegten auch die von MÖLLER & MAJUNKE (1998) in brandenburgischen Kieferngebieten durchgeführten Untersuchungen eine Beeinträchtigung der Diptera. Auch bei Syrphidenlarven wurden geringe Beeinträchtigungen beobachtet (FORSTER & al. 1993). ADDISON (1993) weist in diesem Zusammenhang auf mögliche Nebenwirkungen durch UV-Blocker und Sticker hin, die in den häufig eingesetzten *Bacillus thuringiensis* Präparaten enthalten sind.

KALMYKOVA & al. (1995) wies mehrere Formen von Mutationen bei der Varietät *kurstaki* nach, die sich vor allem auf die Struktur und das Molekulargewicht des δ-Endotoxinkristalls auswirkten. Mutagen veränderte Phänotypen der Subspecies *kurstaki* wirkten nach KALMYKOVA & al. (1995) auf Culicidenlarven letal. Inwieweit solche Mutationen für die Re-

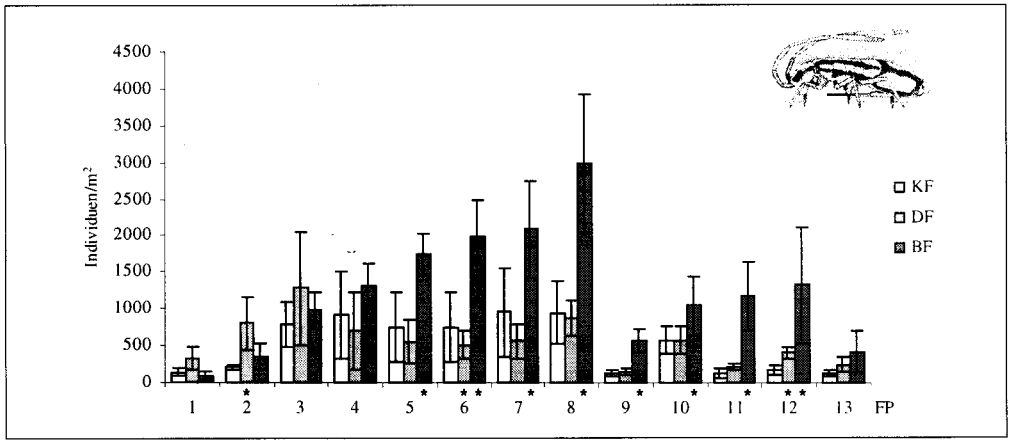


Abb. 1
**Individuendichten (Ind./m²) epigäischer Collembola auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron; BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) aufgeschlüsselt nach Fangperioden (FP) der Bodenphotoeklektoren; * p ≤ 0,05 (Mann Whitney U-Test)**

Fig.1
**Abundance (ind./m²) of ground dwelling Collembola on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) arranged by the sampling periods (FP) of ground-photoeclectors, * p ≤ 0,05 (Mann Whitney U-Test)**

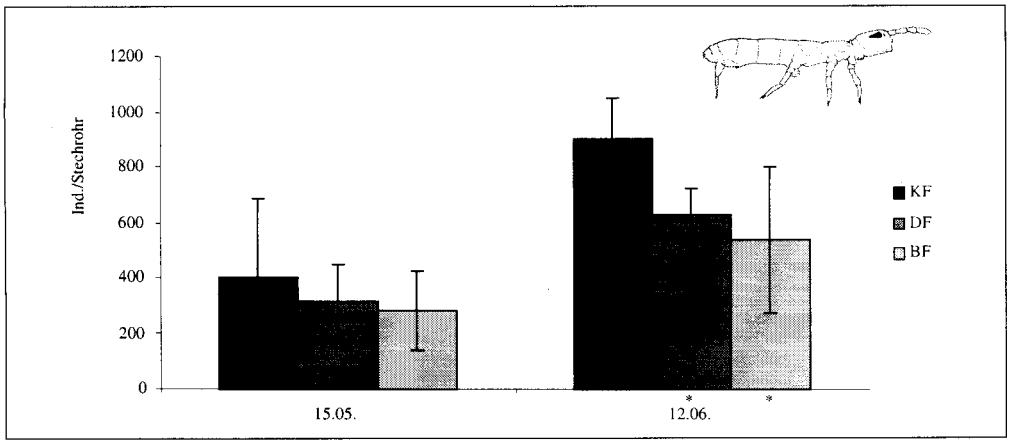


Abb. 2
**Individuendichte (Ind./Stechrohr) endogäischer Collembola auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron; BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) – nach Daten der Bodenprobenextraktion vom 15.05.95 und 12.6.95; * p ≤ 0,05 (Mann Whitney U-Test)**

Fig. 2
**Abundance (ind./soil core) of euedaphic Collembola on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) – according to the results of soil core extractions, sampling dates: 15.05.95 and 12.06.95, * p ≤ 0,05 (Mann Whitney U-Test)**

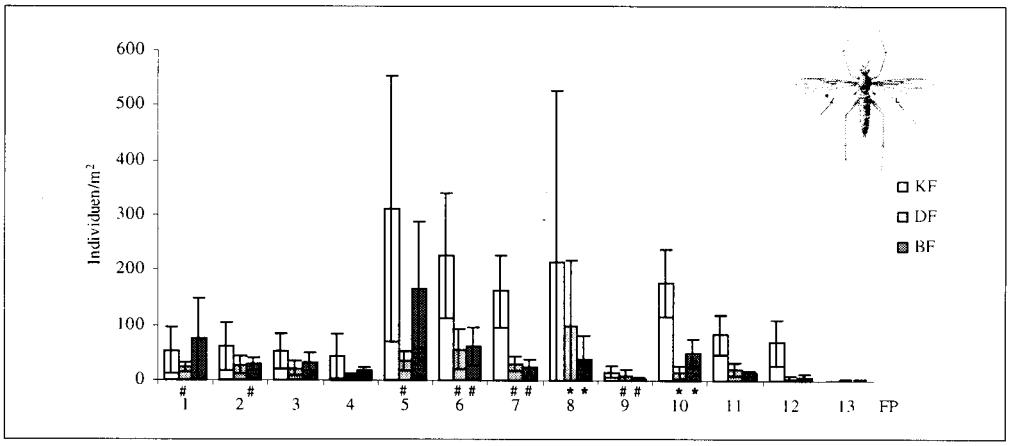


Abb. 3
**Individuendichten (Ind./m²) der Sciaridae auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron; BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) aufgeschlüsselt nach Fangperioden (FP) der Bodenphotoeklektoren; * p ≤ 0,05, # p ≤ 0,01 (Mann Whitney U-Test)**

Fig. 3
**Abundance (ind./m²) of Sciaridae on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) arranged by the sampling periods (FP) of ground-photoeclectors, * p ≤ 0,05, # p ≤ 0,01 (Mann Whitney U-Test)**

duktion der Abundanzen von Sciariden und Cecidomyiiden im Kiefernforst verantwortlich sind, muß offen bleiben.

## 4.2 Auswirkungen der Insektizide auf Schädlingsantagonisten

Für die wichtigste epigäische Prädatorengruppe im Kiefernforst, die Araneae, konnte keine Beeinträchtigung durch Diflubenzuron dokumentiert werden (Tab. 1 und 2, Abb. 4). Auch WINTER (1977) stellte keine Unterschiede in der Aktivitätsdichte dieser Raubarthropoden mit äquivalenten Erfassungsmethoden fest. Nachteilige Effekte des Entwicklungshemmstoffs auf Spinnen sind dennoch aus der Literatur bekannt (TINGLE 1996). MARTINAT & al. (1993) fanden deutlich herabgesetzte Aktivitätsdichten während der Hauptaktivitätsphase der Spinnen in von Eichen und Kiefern dominierten Mischwäldern Kanadas. Die Autoren vermuten eine insektizidbedingte Verringerung des Beuteangebotes als Ursache.

Auf BF waren die Aktivitätsdichten der Spinnen vor allem während der ersten 3 Fangperioden nach Applikation von *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* deutlich und teilweise signifikant verringert (Abb. 4, s.a. Tab. 1 und 2). Spinnen sind polyphage Nahrungsopportunisten. Weichhäutige Beutetiere, die nur etwa 60–80% der eigenen Körpergröße erreichen, werden als Nahrung meist bevorzugt (NENTWIG 1987). So zählen vorwiegend Dipteren und Collembolen zum Beutespektrum der Prädatoren (EDGAR 1970). Da gerade die Individuendichten dieser Taxa im Kiefernforst durch die applizierten Insektizide z.T. stark beeinträchtigt wurden, sind auch hier insektizidbedingte Beeinträchtigungen des Beuteangebotes wahrscheinlich. Auch der Faktor Nahrungskonkurrenz kann, in Anbetracht der – im Vergleich zu anderen Versuchsparzellen – hohen Aktivitätsdichte der Carabidae auf BF als Erklärung in Erwägung gezogen werden.

Die Untersuchungen machten deutlich, daß Hymenopterentaxa, die sich in Larvenstadien entwickeln, eine weitaus höhere Disposition gegenüber Insektiziden besitzen als Eiparasiten (Tab. 4). So wurden Mymariden, Scelioniden und Trichogrammatiden durch Diflubenzuron nicht beeinträchtigt (s.a. HASSAN & al. 1987). Ob die geringe Disposition dieser Taxa gegenüber den Insektiziden, auf einem mangelnden Insektizidtransport ins Ooplasma beruht (Eihüllen als Barrieren), ist nicht bekannt.

Die larvalparasitischen Platygastridae, Ceraphronidae, Ichneumonidae und Eulophidae reagierten auf die Applikation von Diflubenzuron mit einer deutlichen Verringerung der Aktivitätsdichten während der Hauptaktivitätsphasen. Besonders drastisch waren die Auswirkungen bei *Dahlbomius fuscipennis* ZETTERSTEDT (Eulophidae), die hauptsächlich in den phytophagen Larven von Tenthrediniden und Diprioniden parasitiert.

Bedingt durch den komplexen Lebenszyklus der Parasitoide sind zahlreiche primäre und sekundäre Schädigungsmechanismen denkbar. Adulte Tiere können z.B. durch die Aufnahme von Pollennahrung in direkten Kontakt mit dem Wirkstoff kommen. Auch

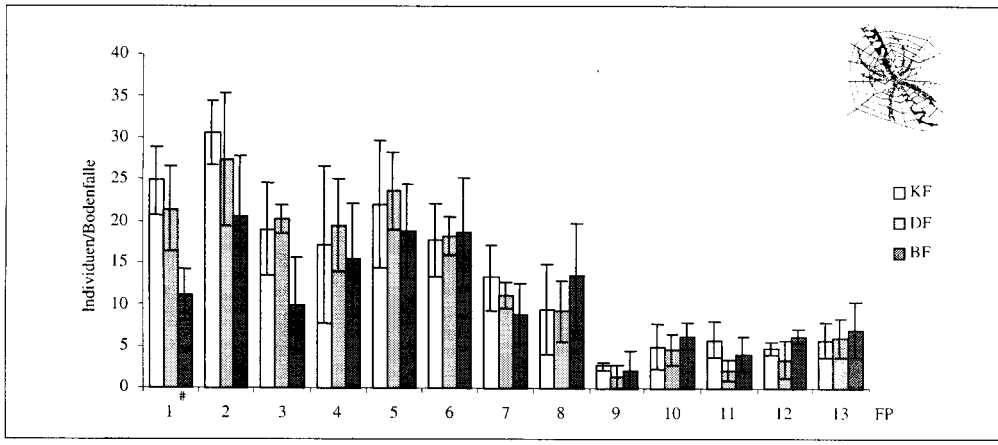


Abb. 4
**Aktivitätsdichte (Ind./Bodenfalle) epigäischer Araneae auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) aufgeschlüsselt nach Fangperioden (FP) der Bodenfallen; # $p \leq 0{,}01$ (Mann Whitney U-Test)**

Fig. 4
**Abundance (ind./pitfall trap) of ground dwelling Araneae on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) arranged by sampling periods (FP), according to the catch results of pitfall traps – # $p \leq 0{,}01$ (Mann Whitney U-Test)**

Tab. 4
**Individuendichten (Ind./m²) dominanter Ei- und Larvalparasitoide der Hymenopteren auf der Kontrollfläche (KF) und den mit Insektiziden behandelten Parzellen (DF: Diflubenzuron; BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) nach Fängen mit Bodenphotoeklektoren – $\bar{x}$: arithmetisches Mittel, ±SD: Standardabweichung, [1] ohne *Dahlbomius fuscipennis***

Table 4
**Abundance (ind./m²) of dominant egg and larval parasitoids of Hymenoptera on the control site (KF) and on areas treated with insecticides (DF: Diflubenzuron, BF: *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*) according to data of ground-photoeclectors – $\bar{x}$: arithmetic mean, ±SD: standard deviation; sampling dates: 15.05.95 and 12.06.95, [1] without *Dahlbomius fuscipennis***

| | KF | | DF | | BF | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | $\bar{x}$ | ±SD | Gesamt |
| **Hymenoptera** | | | | | | | |
| Eiparasitoide | | | | | | | |
| Mymaridae | 21,8 | 9,3 | 34,8 | 8,3 | 25,4 | 13,2 | 82,0 |
| Scelionidae | 5,6 | 3,0 | 7,8 | 3,6 | 12,6 | 13,7 | 26,0 |
| Trichogrammatidae | 10,6 | 8,8 | 16,0 | 13,3 | 3,8 | 3,7 | 30,4 |
| **Larvalparasitoide** | | | | | | | |
| Eulophidae[1] | 40,0 | 12,7 | 20,0 | 8,4 | 55,6 | 29,3 | 115,6 |
| Dahlbomius fuscipennis | 73,0 | 47,1 | 14,8 | 6,7 | 1,4 | 2,6 | 89,2 |
| Platygastridae | 79,8 | 25,9 | 36,4 | 6,8 | 87,4 | 23,8 | 203,6 |
| Ceraphronidae | 43,6 | 25,6 | 28,6 | 5,9 | 46,6 | 12,7 | 118,8 |
| Ichneumonidae | 10,8 | 7,3 | 4,6 | 2,9 | 6,4 | 4,0 | 21,8 |
| **Gesamt** | 285,2 | | 163,0 | | 239,2 | | 687,4 |

eine direkte Schädigung der endoparasitischen Larvenstadien kann für die Reduktion der Fangzahlen verantwortlich sein. Bei *Microplitis rufiventris* Kok. und *Apanteles melanoscelus* (Hym.: Braconidae) wurde die Übertragung der insektiziden Wirkung von Diflubenzuron auf den Endoparasiten nachgewiesen (HEYNEN 1985, GRANETT & WESELOH 1975). Darüber hinaus sind insektizidbedingte Veränderungen

des Angebotes potentieller Wirtsorganismen denkbar. Dies gilt – ohne direkte Schädigungen auszuschließen – wahrscheinlich für die Platygastridae. Sie entwickeln sich in den Larven von Cecidomyiiden (KOZLOV 1980), deren Abundanz auf den Insektizidflächen deutlich reduziert war (Tab. 1)

HASSAN & al. (1987) sowie VARLEZ & al. (1993) fanden nur geringe Beeinträchtigungen parasitoider Hymenoptera durch *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. Veränderte Aktivitätsdichten im Vergleich zu KF waren auf BF in der vorliegenden Untersuchung nur bei *Dahlbomius fuscipennis* ZETTERSTEDT festzustellen. Als Toxizitätsprinzip ist eine erhöhte Mortalität der Entwicklungsstadien des Parasiten durch die Aufnahme von Sporen und Endotoxinkristallen über die Hämolymphe des Wirtes wahrscheinlich. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen VARLEZ & al. (1993) bei Versuchen mit *Chelonus elaeaphilus* (Hym.: Braconidae). Andere Autoren stellten nach oraler Aufnahme art- und teilweise geschlechtsspezifische Schädigungen auf subletalem Niveau bei adulten Parasiten fest (MÜCK & al. 1981).

## 5 Schlußfolgerung

Die Untersuchungen legen nahe, daß die zur Bekämpfung von Insektenkalamitäten in der Forstpraxis eingesetzten Insektizide hinsichtlich ihrer Nebeneffekte auf Nichtzielorganismen durchaus kritisch zu betrachten sind. Wie die Ergebnisse belegen, ist eine nach Wirkstoffen und ökologischen Gilden/taxonomischen Gruppen differenzierte Analyse angebracht. Da das weitaus größere Gefährdungspotential für edaphische Arthropoden von Diflubenzuron ausgeht (s.a. FORSTER & al. 1993) ist die Substitution dieses Wirkstoffes durch weniger systemisch wirkende Präparate zu empfehlen. Auch die hohe Persistenz (MUTANEN 1988, SKATULLA & KELLNER 1989) und die damit verbundene Langzeitwirkung von Diflubenzuron untermauern das ökotoxikologische Risiko des Entwicklungshemmstoffes.

Obwohl die faunistischen Steuergrößen (Zersetzer, Schädlingsantagonisten) Waldökosystem-relevanter Schlüsselprozesse in die Untersuchungen einbezogen wurden, ist eine Evaluation der Insektizidnebenwirkungen auf ökosystemarer Ebene nicht zu leisten. So konnten wegen des hohen Arbeitsaufwandes exemplarisch nur einzelne Vertreter der ausgewählten Gilden Berücksichtigung finden. Da innerhalb ökologischer Gilden funktionale Redundanzen zu vermuten sind, müssen die Konsequenzen der dargestellten Effekte für die Funktionsfähigkeit des Kiefernforstökosystems weiteren Analysen überlassen bleiben.

## Literatur


ADDISON, J. A., 1993: Persistence and nontarget effects of *Bacillus thuringiensis* in soil: a review. – Can. J. For. Res. 23: 2329–2342.

ALTENKIRCH, W., 1993: Stellungnahme zur Pressemitteilung – Kein Dimilin mehr im Forst!. – Forst und Holz. 48(13): 376–378.

BOEHNKE, A., SIEBERS, J. & H.-G. NOLTING, 1989: Investigations of the Evaporation of selected Pesticides from Natural and Model Surfaces in Field and Laboratory. – Chemosphere 21: 1109–1124.

DOPPELREITER, H., 1979: Untersuchungen über Artenspektrum, Verteilung und Biozidempfindlichkeit von Collembolen im Fichtenwaldboden. – Zeitschrift für Angewandte Entomologie 88: 453–470.

EDGAR, W. D., 1970: Prey and feeding behaviour of adult females of the wolf spider *Pardosa amentata* (CLERCK). – Netherl. J. Zool. 20: 487–491.

ELLAR, D.J., KNOWLESS, B.H., CARROLL, J., HORSNELL, J., HAIDER, M.Z., AHMAD, W., NICHOLLS, C.N., ARMSTRONG, G. & C. HODGAM, 1990: Genetic and biochemical studies of the mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* entomocidal δ-Endotoxins. – In: RAPPUOLI & al. (Eds.): Bacterial protein toxins. – In: Zbl. Bact. Suppl. 19: 499–507.

FORSTER, R., KAMPMANN, T. & C. KULA, 1993: Gefährdungsabschätzung für eine Schwammspinnerbekämpfung mit chemischen und biologischen Pflanzenschutzmitteln in den Prüfbereichen Bodenfauna, Honigbiene und Nutzorganismen. – Mittl. aus der Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Heft 293: 203–216.

GEELS, F. & A.J. RUTJENS, 1992: Bendiocarb and diflubenzuron as substitute insecticides for endosulfan in commercial mushroom growing. – Ann. Appl. Biol. 120: 215–224.

GRANETT, J. & R.M. WESELOH, 1975: Dimilin toxicity to the gypsy moth larval parasitoid *Apanteles melanoscelus*. – J. Econ. Entomol. 68: 577–580.

GROSSCOURT, A. C. & B. JONGSMA, 1987: Mode of action and insecticidal properties of diflubenzuron. – In: WRIGHT, J. E. & A. RETNAKARAN (Eds.), Benzoyl Ureas. Plenum, New York: 75–99.

HASSAN, S. A., ALBERT, R., BIGLER, F., BLAISINGER, P., BOGENSCHÜTZ, H., BOLLER, E., BRUN, J., CHIVERTON, P., EDWARDS, P., ENGLERT, W.D., HUANG, P., INGLESFIELD, C., NATON, E., OOMEN, P.A., OVERMEER, W.P.J., RIECKMANN, W., SAMMSOEE-PETERSEN, L., STRÄUBLI, A., TUSET, J.J., VIGGIANI, G. & G. VANWETSWINKEL, 1987: Results of the third joint pesticide testing program by the IOBC/WPRS-

Working Group »Pesticides and Benificial Organisms«. – J. Appl. Ent. 103: 92–107.

HEYNEN, C., 1985: Untersuchungen zum Einfluß von Diflubenzuron (Dimilin) auf das Wirt-Parasit-System *Spodoptera littoralis* BOISD. (Lep. Noctuidae) / *Microplitis rufiventris* KOK. (Hym. Braconidae). – Zeitschrift für Angewandte Entomologie 100(2): 113–132.

KALMYKOVA, G. V., BURTSEVA, L. I. & T.G. YUDINA, 1995: Characteristics of mutants of *Bacillus thuringiensis* subs. *kurstaki*. – Mikrobiologiya 64(4): 461–468.

KEMPSON, D., LLOYD, M. & R. GHELARDIJ, 1963: A new extractor for woodland litter. – Pedobiologia 3: 1–21.

KOZLOV, M. A., 1980: Platygasteridae. – In: MEDVEDEV, G. S., (ed.), 1988: Keys to the Insects of the European Part of the USSR. Volume III Hymenoptera. Part II, E. J. Brill, Leiden – The Netherlands: 1341 S.

LAGENBRUCH, G. A., 1993: Mikrobiologische Bekämpfung freifressender Schmetterlingsraupen im Forst. – Mittl. aus der Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Heft 293: 203–216.

LÜDGE, W., 1971: Der Einfluß von Laubholzunterbau auf die Schädlingsdichte in den Kiefernbeständen der Schwetzinger Hardt. – AFJZ 142: 173–178.

MARTINAT, P. J., JENNINGS, D. T. & R.C. WITHMORE, 1993: Effects of Diflubenzuron on the Litter Spider and Orthopteroid Community in a Central Appalachian Forest Infested with Gypsy Moth (Lepidotera: Lymantriidae). – Env. Entomol. 22(5): 1003–1008.

MÖLLER, K. & C. MAJUNKE, 1998: Untersuchungen zum Einfluß von Pflanzenschutzmitteln auf die Arthropodenfauna in Kiefernforsten. – In: Zur Massenvermehrung des Kiefernspinners (*Dendrolimus pini* L.) in Brandenburg von 1989 – 1997. Dokumentation Teil 1: 62–65.

MÜCK, O., HASSAN, S., HUNGER, A. M. & A. KRIEG, 1981: Zur Wirkung *von Bacillus thuringiensis* BERLINER auf die parasitischen Hymenopteren *Apanteles glomeratus* L. (Braconidae) und *Pimpla turionellae* (L.) (Ichneumonidae). – Zeitschrift für Angewandte Entomologie 92: 303-314.

MÜHLENBERG, M., 1994: Freilandökologie. – 4. Auflage., Quelle & Meyer, Stuttgart: 512 S.

MUTANEN, R. M., SILTANEN, H. T., KUUKKA, V. P., ANNILA, E. A. & M.M.O. VARAMA, 1988: Residues of diflubenzuron and two of its metabolites in a forest ecosystem after control of the pine looper moth, *Bupalus piniarius* L. – Pesticide sience. 23(2): 131–140.

NENTWIG, W., 1987: Ecophysiology of Spiders. – Springer, Berlin 448 S.

OTVOS, I. S. & S. VANDERVEEN, 1993: Environmental report and current status of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* use for control of forest and agricultural insect pests. – Forestry Canada. 1993–1994.

PFEIFER, M., FUNKE, W., ROTH, M., RAU, U. & W. JANS, 1995: Auswirkung von Pflanzenschutzmitteln und aromatischen Kohlenwasserstoffen auf die Insektenfauna (Diptera, Collembola) eines Fichtenbestandes. – Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 9: 763–770.

ROTH, M. & W. FUNKE, 1993: Auswirkung von Stoffeinträgen auf Tiergesellschaften von Wäldern. – Forstw. Cbl. 122: 75–88.

SCHAFF, C. & H. VOGT, 1996: Untersuchungen in einem Gradationsgebiet des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) – Auswirkungen einer Dimilinapplikation auf die Bodenmesofauna (Collembolen und Milben) im Lampertheimer Wald. – In: Schwammspinnermassenvermehrung in Südhessen 1994, Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie 21: 324–330.

SCHWENKE, W., 1996: Grundzüge des Massenwechsels und der Bekämpfung des Großen Fichtenborkenkäfers, *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). – Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 69: 11–15.

SCHWERDTFEGER, F., 1981: Die Waldkrankheiten. – 4. Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 486 S.

SKATULLA, U. & M. KELLNER, 1989: Zur Persistenz einiger Häutungshemmer auf Kiefernnadeln. – Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz. 62: 121–123.

SUNDARAM, K. M. S., 1996: Initial deposits, persistence and degradation kinetics of the insect growth regulator, Diflubenzuron, in some terrestrial matrices following simulated aerial application. – J. Environ. Sci. Health. B31(2): 135–163.

THIEDE, U., 1977: Untersuchungen über die Arthropodenfauna in Fichtenforsten (Populationsökologie, Energieumsatz). Zool. Jb. Syst. 104: 137–202.

TINGLE, C. C. D., 1996: Sprayed barriers of diflubenzuron for control of the migratory locust (*Locusta migratoria capito* (SAUSS.)) [Orthoptera: Acrididae] in Madagascar: short-term impact on relative abundance of terrestrial non-target invertebrates. – Crop Protection 15(6): 579–592.

VARLEZ, S., JERVIS, M. A., KIDD, N. A. C., CAMPOS, M. & P.K. MCEWEN, 1993: Effects of Bacillus thuringiensis on parasitoids of the olive moth, *Prays oleae* BERN. (Lep., Yponomeutidae). – Journal of Applied Entomology 116(3): 267–272.

WALDSCHADENSBERICHT FÜR SACHSEN, 1997 – Sächsisches Ministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten: 48 S.

WERNICKE, K. & W. FUNKE, 1995: Auswirkungen von DIPEL (*Bacillus thuringiensis* BERL. var. *kurstaki*) und BIO1020 (*Metarhizium anisopliae* (METSCH.) SOROK.) auf Arthropoden mit bodenlebenden Entwicklungsstadien. – Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent. 10: 207–210.

WINTER, K., 1977: Untersuchungen über die Auswirkung von Dimilin auf Insekten und Spinnen der Bodenoberfläche in Kiefernwäldern. – Mittl. aus der Biol. Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. Heft 191: 228–229.

## Adresse

Diplomforstwirt Alexander Jäkel
Prof. Dr. Mechthild Roth
TU Dresden
Institut für Forstbotanik und Forstzoologie
Lehrstuhl für Forstzoologie
Postfach 11 17
D-01735 Tharandt