

Beitragsserie: Vom Labor ins Freiland

(UWSF 1/97, S.1-5, 2/97, S. 62-68, 4/97, S. 213-224, 5/97, S.267-272, 6/97, S. 355-359, 1/98, S.31-36)

Die Situation im Freiland als Ausgangspunkt der Bewertung von PSM

Insektizid-Auswirkungen auf Fließgewässer-Lebensgemeinschaften

Ralf Schulz

Korrespondenzadresse: Dr. Ralf Schulz, Zoologisches Institut, Technische Universität Braunschweig, Fasanenstraße 3, D-38092 Braunschweig; eMail: R.Schulz@tu-bs.de

Zusammenfassung

Bei praxisüblicher Anwendung können Insektizidwirkstoffe in erheblichem Maße in landwirtschaftliche Fließgewässer eingetragen werden. Als Folge treten starke Schädigungen der Fließgewässer-Gemeinschaften auf (z.B. Artenzahlreduktionen von 11 auf 3 Arten).

Mit zunehmender Entfernung von den Haupteintragsorten nimmt die biologische Reaktion im Freiland und in *in-situ*-Experimenten mit *L. lunatus* und *G. pulex* deutlich ab, liegt aber selbst nach 2 km Fließstrecke noch signifikant über der Reaktion an einer unbelasteten Kontrollstelle.

Bei der Übertragbarkeit von Ergebnissen aus *in-situ*-Experimenten müssen die artspezifischen Reaktionsmuster der Testtiere, wie z.B. eine Vermeidungdrift von *G. pulex* im Freiland, berücksichtigt werden, da sonst falsche Toxizitätsbeurteilungen resultieren können.

Schlagwörter: Amphipoda, *Limnephilus lunatus*; Belastungscharakterisierung, Lebensgemeinschaften; Fließgewässer; Halfreilandexperiment; Freilandexperiment; Insektizide, Fenvalerat; *in-situ*-Exposition, *Gammarus pulex*; Längsgradient, Übertragbarkeit; Makroinvertebraten; Parathion; Pflanzenschutzmittel; PSM; Schadstoffe, organische; Trichoptera; Wirbellose

Abstract

Effects of Insecticides on Macroinvertebrate Communities in Flowing Waters

Event-triggered sampling from a stream in agricultural terrain has revealed a level of contamination considerably higher than that which has generally been assumed, although only moderate amounts of insecticides had been washed away from the cultivated fields. Macroinvertebrate sampling carried out in parallel with the contamination measurements documented severe negative effects of the insecticide inputs on the aquatic community; 8 of the 11 species disappeared from the water for a period of 3 to 6 months.

In field investigations, as well as in *in situ* bioassays, *L. lunatus* and *G. pulex* exhibited acute responses (drifting, mortality during drifting) which were seen to be significantly higher than those values noted at an uncontaminated control site as far as even 2000 m from the input site.

In these bioassays, where the animals are confined in cages, the insecticide toxicity in *G. pulex* may be overestimated compared to the field data since the drifting behavior of this species normally helps it to avoid contamination.

Keywords: Amphipoda, *Limnephilus lunatus*; environmental sampling; fenvalerate; field experiment; *in situ* bioassay, *Gammarus pulex*; longitudinal gradient; macroinvertebrate communities; macroinvertebrates; organic insecticides; parathion; plant protection products; pollutants; running waters; semifield experiment; spatial pattern, transferability; streams; Tricoptera

1 Einleitung

Fließgewässer landwirtschaftlich genutzter Gebiete werden insbesondere über Oberflächen-Runoff in starkem Maße durch Stoffeinträge (Sedimente, Nährstoffe und Pestizide) aus dem Umland belastet (COOPER, 1993; WAUCHOPE, 1978; WILLIS und McDOWELL, 1982; LIESS, 1998).

Nach derartigen Einträgen können sich im Fließgewässer-Längsgradienten mit zunehmender Entfernung vom Eintrags-

ort infolge von Sorptionsprozessen (HILL, 1989) sowie dem Zufluß unbelasteter Nebengewässer (WILLIAMS et al., 1995) Verringerungen der bioverfügbaren Insektizidkonzentration ergeben. Mit Hilfe von Freilandfassungen und *in-situ*-Experimenten wurde untersucht, wie weit gewässerabwärts noch mit negativen Auswirkungen von Insektizideinträgen zu rechnen ist.

In-situ-Experimente werden im allgemeinen zur experimentellen Exposition von Testorganismen im Freiland genutzt.

Beliebige Testorganismen können so im aquatischen wie terrestrischen Bereich den unter "natürlichen" Freilandbedingungen üblichen Belastungssituationen ausgesetzt werden. Im Vergleich zu Labortests ist somit eine wesentlich größere Freilandrelevanz insbesondere in bezug auf das Belastungsszenario gegeben (HOPKIN, 1993). Gegenüber chemischen Analysen im Freiland zeichnen sich *in-situ*-Experimente dadurch aus, daß sie nicht auf einem abiotischen Meßwert, sondern auf einer toxikologischen Reaktion beruhen (CRANE und MALTBY, 1991). Aus den Ergebnissen lassen sich dementsprechend wesentlich besser Hinweise zum Schutz aquatischer Lebensgemeinschaften ableiten. *In-situ*-Experimente stellen ein Bindeglied zwischen ökotoxikologischen Labor- und Freilanduntersuchungen dar.

In dieser Arbeit wurden untersucht:

- die Insektizidbelastungssituation (→ Kap. 3)
- die Änderung biologischer Reaktionen auf Insektizideinträge im Fließgewässer-Längsgradienten (→ Kap. 4 und 5)
- die Übertragbarkeit von Ergebnissen aus *in-situ*-Experimenten auf die Freilandsituation (→ Kap. 6).

2 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen wurden 1994 und 1995 in einem Oberlaufgewässersystem 35 km südlich von Braunschweig (Nord 52°1'; Ost 10°28') durchgeführt, welches aus dem Ohebach (Basisabfluß: 10 l*s⁻¹; Spitzenabfluß > 150 l*s⁻¹; Probestelle PS 1, 2 + 3), dem Krummbach (Basisabfluß: 32 l*s⁻¹; PS 4) und einem kleinen Nebengewässer des Krummbaches (Basisabfluß: 5 l*s⁻¹; PS K) besteht (→ Abb. 1). Das Einzugsgebiet des Ohebaches und Krummbaches (150 m über dem Meeresspiegel) besitzt eine Größe von 12 km² und Hangneigungen zwischen 2 und 4%. Es wird intensiv landwirtschaftlich genutzt (Zuckerrübe, Winterweizen und Wintergerste). Das Einzugsgebiet des Nebengewässers ist 0,5 km² groß (Hangneigung < 0,5%) und besteht ausschließlich aus Grünland. Die vorherrschenden Bodentypen sind Parabraunerden aus Löß. Aufgrund der allgemeinen chemischen und physikalischen Parameter (Nährstoffe, Metalle, Sauerstoff, pH u.a.) sind keine schädigenden Effekte auf die Fauna zu erwarten (SCHULZ, 1998).

3 Belastungssituation

1994 traten in der Hauptanwendungszeit drei durch Oberflächen-Abfluß hervorgerufene Insektizideinträge auf (LISS, 1994; SCHULZ, 1994), die hier näher betrachtet werden sollen: am 19.05.94 und am 25.05.94 wurden in Wasserproben hohe Parathiongehalte gefunden (6 µg*l⁻¹ bzw. 0,9 µg*l⁻¹), und am 08.06.94 konnte in suspendierten Schwebstoffen eine hohe Fenvalratbelastung von 302 µg*kg⁻¹

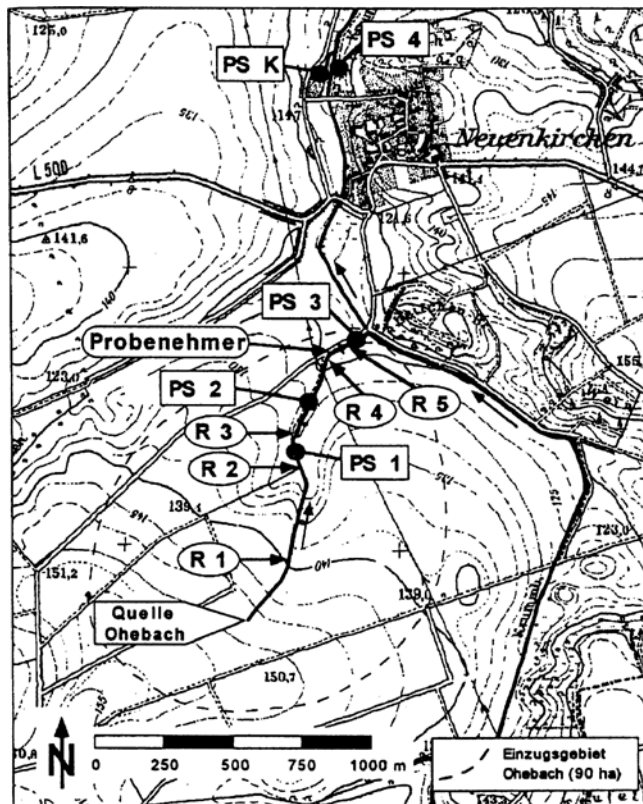


Abb. 1: Karte des Untersuchungsgebietes mit Lage der Probestellen (PS), der Probenentnehmer im Gewässer sowie der Probenentnehmer für Oberflächen-Abfluß (R1 bis R5). PS K ist von Grünland umgeben und weist keinerlei Insektizideinträge auf

festgestellt werden. Im Jahr 1995 wurden u.a. am 27.05. eine Insektizidbelastung im Gewässer gemessen (Fenvalerat: 6 µg*l⁻¹; Parathion: 0,6 µg*l⁻¹), auf die hier eingegangen werden soll. Die abgetragenen Wirkstoffmengen liegen bei diesen Belastungen unter 0,1% der applizierten Menge, sind also keineswegs ungewöhnlich hoch.

Die Insektizidbelastungen des Untersuchungsgewässers traten immer an der Eintragsstelle R1 oberhalb PS 1 auf (LISS, 1994; SCHULZ, 1994). Somit ist von einer abnehmenden Belastung entlang der PS 1, 2, 3 und 4 auszugehen (→ Abb. 1). An PS K (Kontrolle) konnte nie eine Pestizidbelastung nachgewiesen werden.

4 Insektizideffekte im Freiland

Die Wirbellosen wurden an acht Terminen im Zeitraum Februar bis November 1994 mit einem "Surber Sampler" (Fläche: 0,062 m²; Netzmaschenweite: 1 mm) erfaßt. An jedem Probenahmetermin wurden auf einer Gewässerstrecke von 700 m an drei Probestellen (PS 1, 2 und 3; → Abb. 1) im Fließgewässer-Längsgradienten je vier unabhängige Proben genommen. Die organismische Drift wurde an jeder PS mit einem kontinuierlich exponierten und wöchentlich

geleerten Bodendriftnetz (Öffnung: 10 x 4 cm; 200 cm langes Netz, Maschenweite: 1 mm) gemessen. Außerdem wurde an jeder Probestelle mit jeweils vier Zelten (Grundfläche 1 m², Maschenweite 1 mm, wöchentliche Leerung) die Emergenz bestimmt. Die vorliegenden Methoden (Abundanzmessung, Driftmessung und Emergenzmessung) wurden bereits mehrere Jahre in gleicher Weise am Gewässer eingesetzt und eignen sich grundsätzlich zur Beschreibung der entsprechenden Meßgrößen (LIESS et al., 1993).

Im Zuge der Insektizideinträge Ende Mai/Anfang Juni 1994 konnte eine starke Reduktion der Artenzahl und der Abundanz aquatischer Wirbelloser festgestellt werden (→ Abb. 2). 5 von 11 Arten sind für mindestens sechs Monate, weitere 3 für mindestens drei Monate nicht mehr im Gewässersystem (Mittelwerte aus PS 1, 2 und 3) zu finden. Keine der semiaquatischen Arten (SA in Abb. 2) zeigte irgendeinen Schlupf im Untersuchungsgewässer. Das Ausmaß der biologischen Effekte entspricht den bereits mehrfach dokumentierten

starken Reaktionen nach beabsichtigter oder unbeabsichtigter PSM-Direkteinleitung in Gewässer (CUFFNEY et al., 1984; HYNES und WALLACE, 1975; KREUTZWEISER und SIBLEY, 1991; ZWICK, 1992), obgleich die dargestellte Belastung im Ohebach vermutlich praxisüblichen Werten entspricht und nicht auf direkte Einleitung zurückzuführen ist.

5 Reaktionen im Fließgewässer-Längsgradient

Da, wie in zahlreichen Untersuchungen dokumentiert (KREUTZWEISER und WOOD, 1991; SIBLEY et al., 1991; SUNDARAM, 1991), die Pestizidbelastung mit zunehmender Fließstrecke abnimmt, ist im Untersuchungsgewässer von einer Belastungsabfolge PS 1 > PS 2 > PS 3 > PS 4 auszugehen. **Abbildung 3** zeigt für die beiden Beispiellarten *G. pulex* und *L. lunatus* die Driftreaktionen mit zunehmender Entfernung auf der Basis der Freilanddaten von 1994. In Driftmeßintervallen, in denen keine PSM-Belastung auftritt, zeigt die ab-

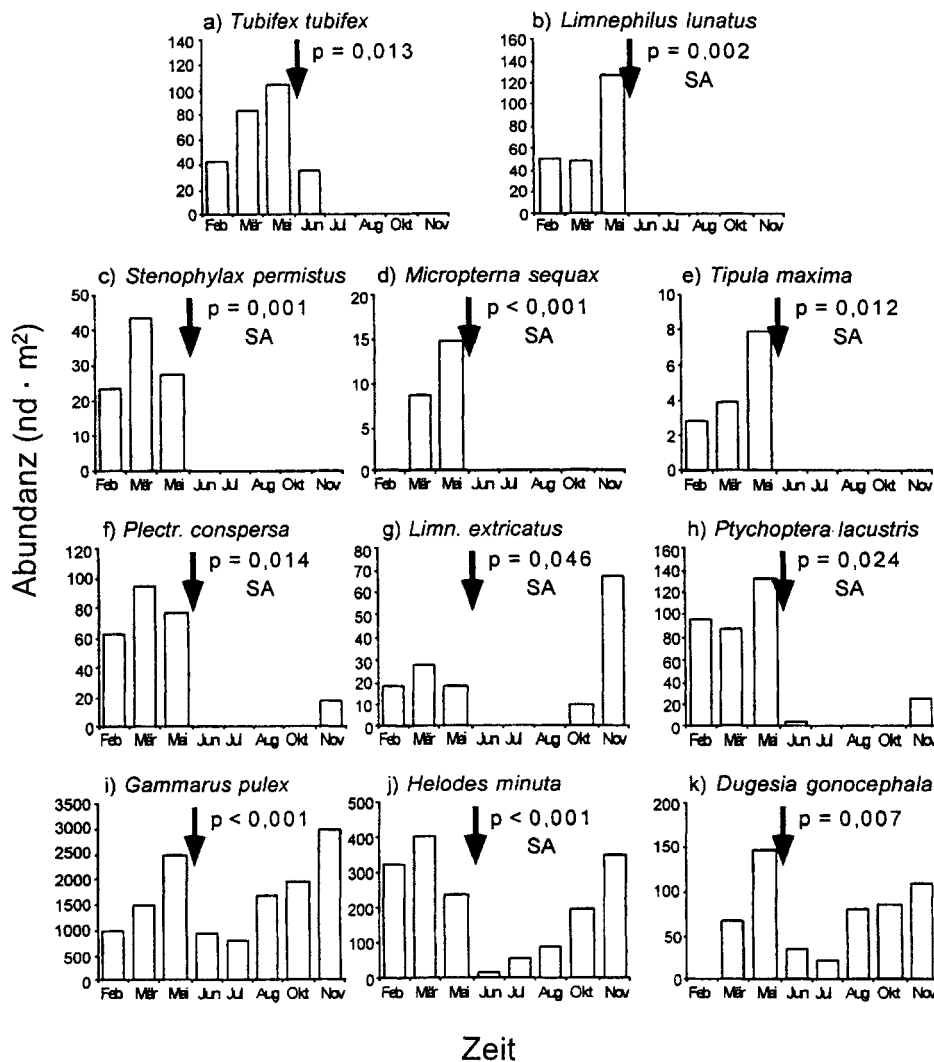


Abb. 2: Abundanzdynamik der Wirbellosen-Gemeinschaft im Untersuchungsgewässer (Mittelwert PS 1, 2 und 3) 1994. Die Pfeile deuten den Zeitraum von Insektizideinträgen an. SA = semiaquatische Arten mit terrestrischer Adultphase

solute Drift von *G. pulex* eine Zunahme im Längsgradienten, die parallel zu den ebenfalls im Längsgradienten zunehmenden Individuendichten dieser Art verläuft. Während der Insektizideinträge (Pfeile) steigt die Drift stark an. Die Reihenfolge der absoluten Driftwerte kehrt sich außerdem genau um und nimmt nun von PS 1 nach PS 3 hin ab. Bei *L. lunatus* sind kaum Änderungen der Driftrate festzustellen, an der eintragsnahen PS 1 ergeben sich im Zuge der Insektizidbelastungen jedoch Mortalitätsraten von etwa 95% in der Drift. Beide Arten zeigen also eine deutliche Reaktionsabnahme auf einer Fließstrecke von ca. 1150 m. Trotzdem verschwand *L. lunatus* auf der gesamten Bachstrecke quantitativ (→ Abb. 1). Bei *G. pulex* war trotz der massiven Driftreaktion im weiteren Jahresverlauf eine positive Abundanzentwicklung festzustellen (→ Abb. 1).

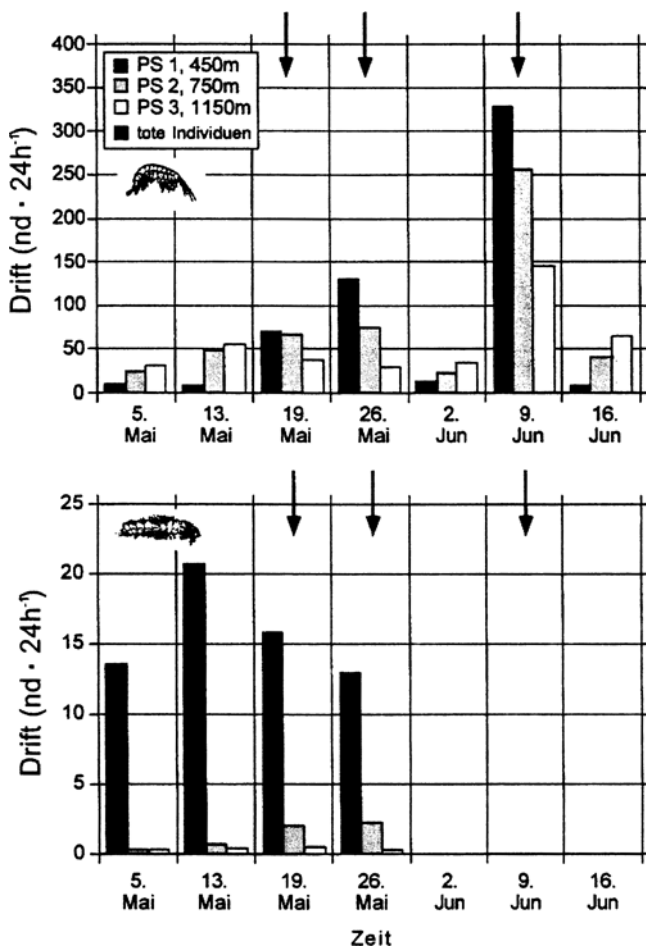


Abb. 3: Drift von *G. pulex* (oben) und *L. lunatus* (unten) im Freiland 1994. Die Pfeile deuten Zeitintervalle mit starken Insektizideinträgen an

1995 wurden an vier Probestellen (PS 1 und 3 im Ohebach, PS 4 im Krumbach und PS K im unbelasteten Nebengewässer) im Zeitraum 18.04. - 08.07.1995 je 4 Kästen (40 x 17 x 15 cm) mit Organismen (30 Larven, Stadium IV und V von *Limnephilus lunatus* Curtis (Trichoptera) und 30 *Gammarus pulex* L. (Amphipoda) > 6 mm) ausgebracht (wöchentliche

Kontrolle). Die Kästen schwammen mit dem obersten Drittel über der Wasseroberfläche, eine Netzgaze (1 mm) an den Enden ermöglichte eine Durchströmung. In jedem Kasten befanden sich 100 g Sand, zwei Steine (ca. 5 x 5 x 3 cm) und vier Berlepflanzen (*Berula erecta* Coville) als Köcherbau-, Verpuppungs-, Nahrungs- und Versteckmaterial.

Abbildung 4 zeigt die Abundanzabnahme der beiden Testarten im *in-situ*-Experiment während des Insektizideintrages zwischen dem 23. und 31.05.95 mit zunehmender Entfernung der Probestellen vom Eintragsort der Insektizide. Bei beiden Arten war die Abnahme an der oberen Stelle am größten und nahm mit zunehmender Entfernung ab. Im Falle von *L. lunatus* war die Mortalität an allen drei belasteten Stellen, im Falle von *G. pulex* an den oberen beiden Stellen signifikant höher (ANOVA, Fisher's PLSD; $p < 0,01$) als an der Kontrollstelle.

Als Gründe für die Verringerung der biologischen Effekte mit zunehmender Fließstrecke kommt die Sorption toxischer Insektizidwirkstoffe an Feststoffpartikel (HILL, 1989) bzw. die Verdünnung durch unbelastete Zuflüsse (WILLIAMS et al., 1995) in Frage.

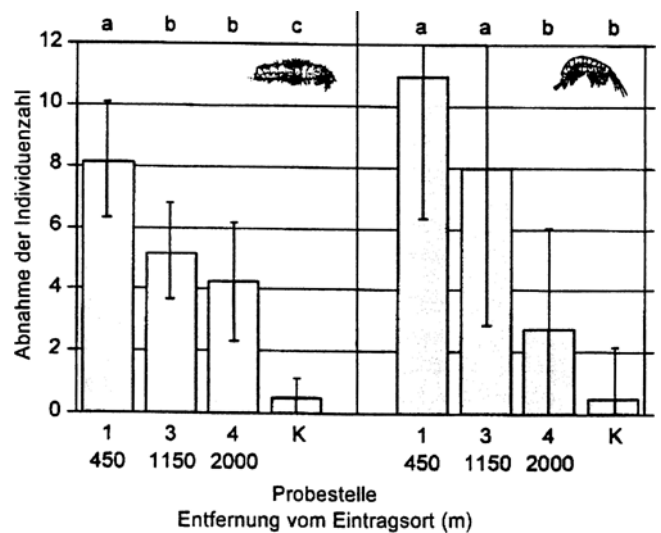


Abb. 4: *In-situ*-Experiment: Abnahme der Individuenzahl ($\pm 95\%$ Konfidenzintervall) von *L. lunatus* (links) und *G. pulex* (rechts) im Längsgradienten des Untersuchungsgewässers im Zeitintervall 23. - 31.05.95 während eines Insektizideintrages. Unterschiedliche Buchstaben über den Balken deuten signifikante Unterschiede (ANOVA, Fisher's PLSD; $p < 0,05$) in der Abnahme an den verschiedenen Probestellen an

Es läßt sich nach den vorliegende Ergebnissen nicht abschließend beurteilen, inwieweit gewässerabwärts ein Pestizideintrag noch Auswirkungen zeigt. Die deutlichen Reaktionen an PS 4 lassen jedoch vermuten, daß bei Insektizideinträgen in kleineren Fließgewässern durchaus wenige Kilometer vom Eintragsort entfernt noch negative Effekte auf die aquatische Gemeinschaft auftreten können.

6 Übertragbarkeit Freilandexperiment-Freiland

Die im *in-situ*-Experiment beobachteten Mortalitätsreaktionen von *L. lunatus* infolge von Insektizideinträgen stimmen gut mit den Ergebnissen überein, die im Freiland festzustellen sind.

Bei *G. pulex* ergeben sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen *in-situ*-Experiment und Freiland. Die Art zeigt im *in-situ*-Experiment deutliche Mortalitätsreaktionen auf die Insektizideinträge. Derartige Reaktionen wurden z.B. auch von CRANE et al. (1995) und MATTHIESEN et al. (1995) in Zusammenhang mit Insektizideinträgen vermutet bzw. gemessen. Im Freiland besitzt *G. pulex* jedoch trotz hoher Insektizidbelastungen sowohl 1994 wie auch 1995 eine positive Abundanzentwicklung, die kaum durch die Belastungen beeinflusst zu sein scheint. Als Grund für diese Situation kann das arttypische Driftverhalten während Insektizideinträgen angeführt werden, welches sowohl im Freiland (LIESS, 1993; LIESS et al., 1993; SCHULZ, 1994) als auch im Labor (LIESS, 1993; MUIRHEAD-THOMSON, 1978) festgestellt wurde. Da die Art dieses Driftverhalten im *in-situ*-Experiment nicht durchführen kann, kommt es ggf. zu einer Toxizitätsüberschätzung. Aus diesem Grunde ist bei der Interpretation von Daten aus Expositionssystemen eine Berücksichtigung der Dynamik im Freiland notwendig.

7 Literatur

- COOPER, C.M. (1993): Biological effects of agriculturally derived surface-water pollutants on aquatic systems – a review. *J. Envir. Qual.* 22, 402-408
- CRANE, M.; DELANEY, P.; MAINSTONE, C.; CLARKE, S. (1995): Measurement by *in situ* bioassay of water quality in an agricultural catchment. *Wat. Res.* 29, 2441-2448
- CRANE, M.; MALTBY, L. (1991): The lethal and sublethal responses of *Gammarus pulex* to stress: Sensitivity and sources of variation in an *in situ* bioassay. *Envir. Toxicol. Chem.* 10, 1331-1339
- CUFFNEY, T.F.; WALLACE, J.B.; WEBSTER, J.R. (1984): Pesticide manipulation of a headwater stream: invertebrate responses and their significance for ecosystem processes. *Freshwater Invertebrate Biology* 3, 153-171
- HILL, R. (1989): Aquatic Organisms and Pyrethroids. *Pest. Sci.* 27, 429-465
- HOPKIN, S.P. (1993): In situ biological monitoring of pollution in terrestrial and aquatic ecosystems. In: Calow, P. (Hrsg.): *Handbook of Ecotoxicology*. Blackwell, Oxford, 397-427
- HYNES, H.B.N.; WALLACE, R.R. (1975): The Catastrophic Drift of Stream Insects After Treatment with Methoxychlor (1,1,1-Trichloro-2,2-Bis(p-Methoxyphenyl) Ethane). *Envir. Pollut.* 8, 255-269
- KREUTZWEISER, D.P.; SIBLEY, P.K. (1991): Invertebrate drift in a headwater stream treated with permethrin. *Arch. Envir. Contam. Toxicol.* 20, 330-336
- KREUTZWEISER, D.P.; WOOD, G.A. (1991): Permethrin treatments in canadian forests. 3. Environmental fate and distribution in streams. *Pest. Sci.* 33, 35-47
- LIESS, M. (1993): Zur Ökotoxikologie der Einträge von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Fließgewässer. Cuvillier, Göttingen, 133 S.
- LIESS, M. (1994): Insektizidbelastung des Oberflächen-Runoff: Quantifizierung und Wirkung auf aquatische Makroinvertebraten. *Erweiterte Zusammenfassung, Tagung der Deutschen Gesellschaft für Limnologie* 2, 866-870
- LIESS, M. (1998): Insektizide in Fließgewässern. *UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox.* 10, 31-36
- LIESS, M.; SCHULZ, R.; WERNER, U. (1993): Macroinvertebrate Dynamics in Ditches as Indicator for Surface Water Runoff – An Ecological Aspect for Assessment of Agricultural Impact on Running Water Ecosystems. *Modelling of Geo-Biosphere Processes* 2, 279-292
- MATTHIESEN, P.; SHEAHAN, D.; HARRISON, R.; KIRBY, M.; RYCROFT, R.; TURNBULL, A.; VOLKNER, C.; WILLIAMS, R. (1995): Use of a *Gammarus pulex* bioassay to measure the effects of transient carbofuran runoff from farmland. *Ecotox. Envir. Safety* 30, 111-119
- MUIRHEAD-THOMSON, R.C. (1978): Lethal and behavioral impact of permethrin (NRDC 143) on selected stream macroinvertebrates. *Mosquito News* 38, 185-190
- SCHULZ, R. (1994): Freilandeffekte von insektizidkontaminiertem Oberflächen-Runoff auf aquatische Makroinvertebraten. *Erweiterte Zusammenfassungen, Deutsche Gesellschaft für Limnologie Bd. 2*, 893-897
- SCHULZ, R. (1998): Macroinvertebrate dynamics in a stream receiving insecticide-contaminated runoff. *Proc. Intern. Assoc. Theor. Appl. Limnol.* 26, 1271-1276
- SIBLEY, P.K.; KAUSHIK, K.N.; KREUTZWEISER, D.P. (1991): Impact of a Pulse Application of Permethrin on the Macroinvertebrate Community of a Headwater Stream. *Envir. Pollut.* 70, 35-55
- SUNDARAM, K.M.S. (1991): Fate and Short-Term Persistence of Permethrin insecticide injected in a northern Ontario (Canada) Headwater Stream. *Pest. Sci.* 31, 281-295
- WAUCHOPE, R.D. (1978): The pesticide content of surface water draining from agricultural fields – a review. *J. Envir. Qual.* 7, 459-472
- WILLIAMS, R.J.; BROOKE, D.; MATTHIESEN, P.; MILLS, M.; TURNBULL, A.; HARRISON, R.M. (1995): Pesticide transport to surface waters within an agricultural catchment. *J. Inst. Wat. envir. Man.* 9, 72-81
- WILLIS, G.H.; McDOWELL, L.L. (1982): Pesticides in agricultural runoff and their effects on downstream water quality. *Envir. Toxicol. Chem.* 1, 267-279
- ZWICK, P. (1992): Fließgewässergefährdung durch Insektizide. *Naturwissenschaften* 79, 437-442