Einfluß von anthropogenen Schadstoffen auf terrestrische Invertebraten: 2. Einfluß von BaP, Fla und Cd auf Lebenszyklusparameter von *Enchytraeus crypticus* in Labor-Testsystemen

Rudolf K. Achazi, Christian Düker, Michael Henneken, Bettina Rothe

Synopsis
Ecosystems in heavily industrialized urban areas are contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB), heavy metals and other anthropogenic wastes. Ecotoxicological data concerning PAHs in terrestrial ecosystems are scarce, while data are available for heavy metals. This investigation attempts to characterize the ecological danger of the representative PAH fluoranthene (Fla) and benzo(a)pyrene (BaP) in comparison to cadmium (Cd). A three step test system is used with *Enchytraeus crypticus* as test organism. The aquatic toxicity test gives information about the acute toxicity of these substances. The sublethal enchytraeid test system applies soil as well as agar as test substrate. The test parameter is the reproduction rate in the soil and the agar test system. Additional test parameters in the agar test system are cocoon production, hatching rate and delay of hatching.

Both PAHs are not acute toxic in the aquatic test system, while Cd displays a strong acute toxicity at above 0.1 mg/L. The threshold in the soil test system is about 100 mg BaP / kg, respectively 1200 mg Fla/kg after half a year of ageing and about 64 mg Cd/kg. The life cycle parameters used with the agar test system are more sensitive. The hatching rate is reduced after about 3 weeks of exposure of the parent animals in agar medium containing 10 mg Fla/L. The threshold for BaP is 1 mg/L agar medium already after 4 days of exposure. In feeding experiments Fla does not effect the hatching rate, while the threshold for BaP is at about 6.6 ng BaP/parent/day. The threshold for Cd is 5 mg/L agar medium.

terrestrische Ökotoxikologie, Benz(a)pyren, Fluoranthen, Cadmium, Enchytraeiden Testsystem, Enchytraeus crypticus (Annelida)

terrestrial ecotoxicology, benzo(a)pyrene, fluoranthene, cadmium, enchytraeid test system, Enchytraeus crypticus (Annelida)

1. Einleitung

Fluoranthen (Fla) und Benz(a)pyren werden aufgrund ihrer Nachweishäufigkeit, Reaktivität, Persistenz und Biokonzentrationstendenz den Leitsubstanzen der ökotoxikologisch relevanten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) zugerechnet. Im Unterschied zu Fla sind die Biotransformationsprodukte von BaP karzinogen und mutagen. Cadmium (Cd) ist eines der toxischsten Metalle (KOCH 1989). In den am höchsten belasteten Teilarealen der Berliner Rieselfelder bei Großbeeren liegen die Maximalkonzentrationen von BaP bei 0,9 und von Fla bei 1,4 mg/kg Boden (TS). Die anderen in der EPA-Liste aufgeführten PAK liegen z.T. in noch höheren Konzentrationen vor.

Die Populationsdichte von Enchytraeen in Rieselfeldböden mit gewachsener Kontamination liegen weit niedriger als an benachbarten Vergeichsstandorten und im Berliner Raum (HECK & RÖMBKE 1990, HECK & al. 1992). Laboruntersuchungen bestätigen die Enchytraeenfeindlichkeit dieser Böden (HECK & ACHAZI, dieser Band). Das Ziel dieser Arbeit war zu prüfen, (a) ob die im Boden neben Mineralöl-Kohlenwasserstoffen, polychlorierten Biphenylen und Schwermetallen vorhandenen PAK Benzo(a)pyrene und Fluoranthen für diese Enchytraeenfeindlichkeit verantwortlich sind und (b) ob diese PAK akut oder subakut wirken.

Die Untersuchungen wurden mit *Enchytraeus crypticus* (WESTHEIDE & GRAEFE 1992.) durchgeführt. Diese Art verfügt bei Temperaturen über 20°C über eine überraschend kurze Generationsdauer und pflanzt sich im Agar- und Boden-Testsystem gleich gut fort. Mit ihr können daher ökotoxikologische Untersuchungen in drei Testsystemen durchgeführt werden, die die unterschiedliche Bioverfügbarkeit von Schadstoffen in Wasser, Agar- und Boden repräsentieren.

Im modifizierten aquatischen Testsystem nach RÖMBKE & KNACKER (1989), können Daten zur

akuten Toxizität (Meßparameter Überlebensrate) ermittelt werden. Die subakute Toxizität von Bioziden kann im Agar- und im Boden-Testsystem (WESTHEIDE & BETHKE-BEILFUß, 1991) bestimmt werden. Der Meßparameter im Boden-Testsystem ist die Reproduktionsrate, im Agar-Testsystem darüber hinaus die Kokonproduktion, die Kokonschlupfrate und die Kokonentwicklungsdauer.

Ergänzt werden diese Untersuchungen mit Fla und BaP durch Untersuchungen zur Toxizität des Schwermetalls Cadmium (als $CdCl_2$), dessen Wasserlöslichkeit über 10^9-mal höher ist als die der PAK. Diese ergänzende Untersuchung erlaubt Rückschlüsse auf die relative Bioverfügbarkeit von Umweltchemikalien in den drei Testsystemen. Sie bildet die Grundlage für eine mögliche Übertragbarkeit von Toxizitätsdaten aus dem aquatischen auf den terrestrischen Bereich.

2. Material und Methode

2.1. Zucht und Hälterung von Enchytraeus crypticus.

Die Zucht erfolgt in Petrischalen auf 1,5 % Agarmedium in artifiziellem Wasser (RÖMBKE & KNACKER, 1989) im abgedunkelten Raum bei 21–23 °C. Gefüttert wird nach Bedarf mit Haferflocken. Alle Versuche werden mit synchronisierten Tieren durchgeführt, die bei Versuchsbeginn 25–30 Tage alt sind. Für die Synchronzuchten werden im Abstand von drei oder vier Tagen Kokons aus den Zuchtschalen abgenommen und in neue Schalen überführt. Die Jungen schlüpfen nach etwa 7 Tagen und sind nach weiteren 7 Tagen geschlechtsreif.

2.2. Die Testsysteme

2.2.1 Das aquatische Testsystem

Als Testparameter im aquatischen Testsystem kann die äußere Schädigung der Tiere, z. B. aufgequollener oder eingeschnürter Körper, die Amputation von Segmenten am Hinterende, oder die Bewegungsunfähigkeit (Tod) benutzt werden. In den Untersuchungen werden je 5 Individuen in jeweils 30 ml sauerstoffgesättigtem, artifiziellem Wasser (RÖMBKE & KNACKER 1989) den verschiedenen Noxen ausgesetzt. Der pH-Wert und die Leitfähigkeit des Wassers werden registriert. Die Untersuchungen werden in drei bis sieben Parallelen pro Schadstoffkonzentration über einen Zeitraum von 96 Stunden durchgeführt. Die Überlebensrate wird alle 24 h bestimmt.

Aufgrund der niedrigen Wasserlöslichkeit der PAK wurden Untersuchungen im Löslichkeitsbereich und mit übersättigten Lösungen durchgeführt. Da die Löslichkeit von Fla bei 260 bis 265 µg/L liegt (Koch 1989) wurde bei 200 µg Fla/L H_2O und mit übersättigten Lösungen (400 bis 1200 µg/L) gearbeitet. Die Wasserlöslichkeit von BaP ist mit 3,8 bis 14 µg/L noch geringer (Koch 1989). Es wurde eine Testreihe im Löslichkeitsbereich (3,8, 5,6, 7,5, und 9,3 µg/L) und eine im Übersättigungsbereich (187 bis 1900 µg/L) durchgeführt. Die PAK wurden dem Testsystem in Aceton gelöst zugegeben. Das Lösungsmittel wurde durch Erhitzen vertrieben. Bei $CdCl_2$ stellt sich dieses Problem nicht da seine Wasserlöslichkeit 1,2 kg/L beträgt.

2.2.2 Das Boden-Testsystem

Testparameter im Boden-Testsystem ist die Reproduktionsrate, die bei *Enchytraeus crypticus* im 15- und 30-Tage-Test ermittelt wird (vergl. HECK & ACHAZI, dieser Band). Zur Bestimmung der Reproduktionsrate werden 10 adulte Individuen in 25g Boden eingesetzt. Die Zuchtschalen sind konische Plastikgefäße (Bodendurchmesser 4 cm) mit durchlöchertem Deckel. Die Bodenfeuchtigkeit wird auf 60% der maximalen Wasserhaltekapazität eingestellt und konstant gehalten. Die Tiere werden mit autoclavierten Haferflocken (Kölln blütenzart) gefüttert. Die Hälterung erfolgt im Dauerdunkel bei 20–23 °C.

Die Untersuchungen wurden mit dem unbelasteten LUFA 2.2-Boden (Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt in Speyer) durchgeführt. Die Aufdotierung mit PAK wurde wie beschrieben vorgenommen (HECK & ACHAZI dieser Band). Während der Alterung von 4 bis 25 Wochen sank die extrahierbare PAK-Menge um 10 bis 20 % (Daten des BMFT-Projekts). Im Ergebnisteil ist immer die nominelle, d. h. bei der Zugabe angestrebte Konzentration angegeben. Cd wurde als $CdCl_2$-Lösung zugefügt. Die Cd-Bodenmischung wurde vor Versuchsbeginn eine Woche gealtert.

2.2.3. Das Agar-Testsystem

Das Agar-Testsystem ist nach WESTHEIDE & BETHKE-BEILFUß (1991) aufgebaut. Außer der Reproduktionsrate ermöglicht es die Bestimmung der Kokonproduktion und der Kokonschlupfrate. In begrenztem Umfange geben diese Untersuchungen auch Auskunft über Entwicklungsverzögerungen.

Die Untersuchungen mit dem Agar-Testsystem werden mit 10 adulten, 25 bis 30 Tage alten *Enchytraeus crypticus* auf 20 ml Agarmedium durchgeführt (Dauerdunkel, 20–23 °C, Fütterung mit Haferflocken). Zur Bestimmung der Kokonproduktion und der Schlupfrate werden die Kokons alle 3 oder 4 Tage quantitativ abgesammelt und in Zuchtschalen mit unbelasteten Agarmedium überführt. Die Kokonschlupfrate wurde durch Auszählen der leeren Ko-

kons im Abstand von 3 bis 4 Tagen in einem Zeitraum bis 30 Tage nach Kokonabnahme bestimmt.

Die Exposition der Enchytraeen mit PAK erfolgte entweder über das Agarmedium (Bioakkumulation) oder durch Füttern mit PAK-kontaminierten Haferflocken (Biomagnifikation). Das Aufdotieren des Agar mit PAK erfolgte mit einer Lösung von PAK in Aceton. Diese wurde einem Teil des erkaltenden Agarmediums unter Rühren zugegeben. Nach Vertreiben des Acetons durch Erhitzen auf 60–80° C wurde die restliche Menge des Agarmediums zugefügt. Die Aufdotierung mit $CdCl_2$ erfolgte ohne Lösungsmittelzusatz. Für die Exposition mit der Nahrung wurden Haferflocken (Hf) mit PAK kontaminiert. Je Haferflocke (Gewicht: 12 ± 2 mg) wurden 10 µl Aceton aufgebracht, in der die erwünschte PAK-Menge gelöst war. Die Fütterung mit den kontaminierten und getrockneten Haferflocken erfolgte nur, wenn die bei der vorherigen Fütterung angebotene Nahrung vollständig aufgezehrt war.

2.3 Erläuterung zu den Abbildungen und der Statistik

Der Vergleich zwischen den Daten erfolgt in Abbildung 1 und 3 mit dem Boxplot. Dieser erlaubt eine Gesamteinschätzung der Verteilungssymmetrie. Die Box gibt den Abstand zwischen dem ersten und dritten Quatrilwert wieder und wird vom Median unterteilt. Die Schwänze zeigen die 10 und 90 % Perzentilwerte an. Die Außenwerte sind als Kreise dargestellt. Die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Kontrollen und schadstoffbelasteten Parallelen wurden im ungepaarten, zweiseitigen t-Test berechnet.

3. Ergebnisse

3.1. Einfluß der PAK auf die Überlebensrate von E. crypticus im aquatischen Testsystem

In schadstofffreiem, artifiziellem Wasser überlebt *E. crypticus* bei 20 bis 23 °C sechs bis acht Tage ohne äußere Zeichen von Schädigung. Der Zusatz von Fla und BaP zu diesem Hälterungsmedium beeinflußte die Überlebensrate nicht.

3.2 Der Einfluß von PAK auf die Reproduktionsrate von E. crypticus im Boden-Testsystem.

In unbelastetem LUFA 2.2 Boden liegt die Reproduktionsrate von E. crypticus nach 30 Tagen zwischen 105 und 130 Nachkommen pro Elterntier zu Versuchsbeginn. Zwischen den verschiedenen Versuchsreihen treten jedoch immer Unterschiede auf, so daß auf die Angabe eines Mittelwerts verzichtet wird. Innerhalb der Versuchsreihen bleiben die Werte jedoch relativ konstant.

In Parallelversuchen wurde der Einfluß von Fla und BaP auf die Reproduktionsrate von E. crypticus nach einer Alterung der PAK-Bodenmischungen von 5 und 6 Monaten untersucht (Abb. 1). Bei einer Zugabe von 10, 50, 100 und 500 mg Fla / kg Boden (TS) zeigt sich zwar eine tendenzielle Abnahme der Reproduktionsrate, eine signifikante Abnahme um 23 % läßt sich jedoch erst bei 1200 mg Fla/kg Boden (TS) nachweisen. BaP wirkt schon signifikant ab 100 mg/kg Boden. Diese Wirkschwelle läßt sich auch durch eine Herabsetzung der Alterungsdauer auf 4 Wochen nicht verkürzen. Die Reproduktionsrate war zwar auch bei 10 mg BaP/kg Boden (TS) um 24 % verringert, eine signifikante Reduktion von 117,9 ± 16,5 auf 84,2 ± 14,2 Nachkommen pro Adulten zu Versuchsbeginn (n = 7) ließ sich jedoch erst bei 100 mg BaP/kg Boden nachweisen.

3.3 Der Einfluß von PAK auf die Reproduktionsrate von E. crypticus im Agar-Testsystem.

In ihrem Lebensraum nehmen Enchytraeen Schadstoffe aus dem Wasserfilm über die Epidermis und bei der Nahrungsaufnahme über den Magendarmtrakt auf. Durch Hälterung der eingesetzten Elterntiere im

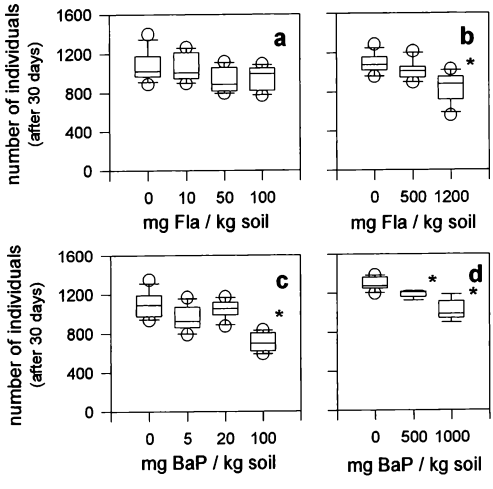

Abb. 1:
Einfluß von Fluoranthen (a,b) und Benzo(a)pyren (c,d) auf die Reproduktionsrate von Enchytraeus crypticus im Boden-Testsystem nach Alterung der PAK-Bodenmischung von 5 Monaten (a,c) bzw. 6 Monaten (b,d). n = 6 - 7; (*): signifikant verschieden von Kontrolle (t-Test, p < 0,02))

Fig. 1:
Effect of fluoranthene (a,b) and benzo(a)pyrene (c,d) upon the reproduction rate of Enchytraeus crypticus in the soil test system. The PAH spiked soil was aged for 5 months (a,c) respectively 6 months (b,d). n = 6 to 7; (*): significant different to control (t-test, p < 0.02))

PAK-aufdotierten Agarmedium sollte die Anwesenheit von PAK im Wasserfilm simuliert werden, während durch die Fütterung der Adulten mit kontaminierten Haferflocken die Wirkung der Schadstoffaufnahme über den Magendarmtrakt geprüft werden sollte. Aus eigenen Untersuchungen mit ^{14}C-BaP ist bekannt, daß sich bei Aufnahme von BaP aus dem Agarmedium nach 2 bis 3 Wochen ein Gleichgewichtszustand zwischen BaP im Agar und Tier einstellt. Bei Fütterung mit BaP kontaminierten Haferflocken, steigt dagegen die Konzentration im Tier mindesten sechs Wochen lang an. In diesen Untersuchungsreihen wurden die Meßparameter Kokonproduktion und Kokonschlupfrate bestimmt.

3.3.1 Einfluß von Fla und BaP im Agar-Medium

Die Elterntiere waren den PAK im Agar bis zu 27 (Fla) bzw. 29 (BaP) Tagen ausgesetzt. In dieser Zeit wurden die Tiere einmal auf neue Schalen umgesetzt. Diese lange Exposition mit PAK reduzierte die Kokonproduktion der Elterntiere im Vergleich zur unbelasteten Kontrolle nicht. Beide PAK reduzierten dagegen die Kokonschlupfrate beträchtlich (Abb. 2). Die Wirkung von Fla läßt sich erstmals nach einer Expositiondauer von 14 Tagen bei 10 mg Fla/L Agar-Medium nachweisen. Nach 24-tägiger Einwirkungsdauer sind bei dieser Konzentration zum normalen Schlupfzeitpunkt über 70% der Kokons noch nicht geschlüpft. 1 mg BaP/L Agarmedium senkt dagegen die Schlupfrate schon nach viertägiger Exposition um 61%. Bei längerer Exposition der Elterntiere sinkt die Schlupfrate um 80 bis 90%.

3.2 Einfluß von Fla und BaP im Futter auf die Reproduktion von E. crypticus.

Eigene Versuche mit ^{14}C-BaP-markierten Haferflocken (50 mg BaP / kg Hf) zeigen, daß BaP über einen Versuchszeitraum von 6 Wochen nahezu linear akkumuliert wird. Es spricht nichts dagegen, daß dies zumindest auch bei den niedrigeren Konzentrationen der folgenden Versuchsreihen der Fall war. Für Fla liegen solche Untersuchungen nicht vor.

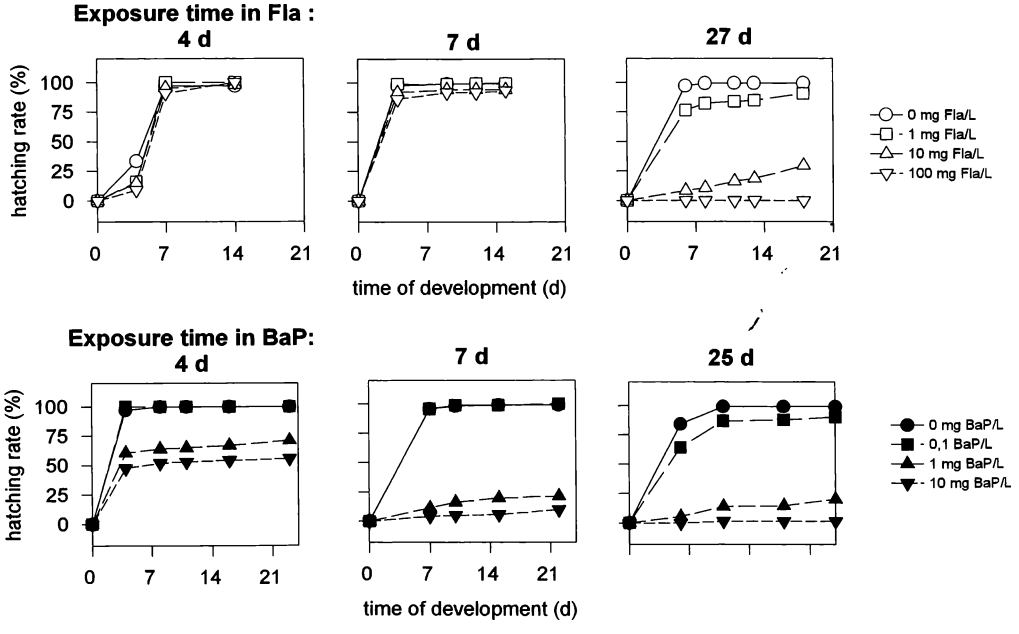

Abb. 2:
Einfluß von Fluoranthen und Benz(a)pyren auf die Schlupfrate von Kokons von Enchytraeus crypticus nach 4-, 7- und 25- (27-) tägiger Exposition der Elterntiere mit unterschiedlichen Fla- und BaP-Konzentrationen im Agar-Testsystem. (MW aus 7 Parallelansätzen; (*): signifikante Abweichung zur Kontrolle (t-Test, p < 0,02))

Fig. 2:
Effect of fluoranthene and benzo(a)pyrene upon hatching rate of cocoons of Enchytraeus crypticus. The parents were exposed for 4, 7 and 25 (27) days to different PAH concentrations in the agar test system. (mean of 7 replicates; (*) = significant differences to controls (t-test, p < 0.02)).

Bei der Fütterung mit BaP sinkt die Kokonproduktion und ist nach schon zweimaliger Fütterung mit 830 mg BaP/kg Hf stark reduziert. Sie sinkt signifikant von 1,06 ± 0,21 auf 0,57 ± 0,37 Kokons/Enchytraee * Tag nach zweimaliger Fütterung und von 1,23 ± 0,21 auf 0,56 ± 0,41 nach fünfmaliger Fütterung. Die Reduktion der Schlupfraten ließ sich dagegen schon nach zweimaliger Fütterung mit 83 mg BaP/kg Hf nachweisen. Nach einer Entwicklungszeit von 12 Tagen sind die Schlupfraten im Vergleich zur Kontrolle auf 35,8 ± 33,9% bei 83 mg BaP/kg Hf. auf 14,6 ± 12,84 bei 830 mg / kg Hf und 12,0 ± 3,4 bei 1660 mg / kg Hf abgesunken. Daraus errechnet sich eine Wirkschwelle von 6,6 ng BaP / Elterntier * Tag. Fla beeinflußt dagegen keinen dieser Parameter.

3.4. Der Einfluß von Cadmium ($CdCl_2$) auf E. crypticus im Wasser-, Agar- und Boden-Testsystem.

Im aquatischen Testsystem liegt die Wirkschwelle nach 24 h bei 0,1 mg Cd/L Expositionsmedium (Abb. 3). Vergleichbare NaCl-Konzentrationen beeinflussen die Überlebensrate nicht. In Agar- und im Boden-Testsystem wurde die Wirkschwelle für den Parameter Reproduktionsrate bestimmt. Sie liegen bei 5 mg Cd/L Agarmedium bzw. 64 mg Cd/kg Boden.

4. Diskussion

In der Literatur gibt es keine Daten zur Wirkung von PAK auf Enchytraeen. Dagegen wurde der Effekt von Cadmium von mehreren Arbeitsgruppen untersucht. Für *Enchytraeus albidus* liegt der LC_{50}-Wert im aquatischen Testsystem bei 6,4 mg/L und im Boden-Testsystem bei 3680 mg/kg. (RÖMBKE & KNACKER, 1989, RÖMBKE, 1989). Elzer, der mit *E. buchholzi* den Einfluß von Cd auf die Reproduktionsrate untersuchte, kam mit 55 mg/kg Boden dagegen auf eine sehr ähnliche Wirkschwelle wie die vorliegende Untersuchung (ELZER, 1993). Damit scheinen *E. crypticus* und *E. buchholzi* zum Einschätzen ökologischer Gefährdungen durch Cd geeigneter als *E. albidus*.

Für *E. albidus* und *Daphnia magna* ermittelten RÖMBKE & KNACKER (1989) eine ähnliche Empfindlichkeit im aquatischen Testsystem gegen eine Reihe von Bioziden, gegen Chloracetamid, $CdCl_2$ sowie $K_2Cr_2O_7$. Es soll daher hier auch für PAK ein Vergleich der Empfindlichkeit für *E. crypticus* und *Daphnia magna* durchgeführt werden. Für *D. magna* liegt der LC_{50}-Wert bei 1,5 mg BaP / L Wasser und 320 mg Fla / L Wasser (OESA, 1993). Im Bereich dieser Konzentrationen zeigt *E. crypticus* keine akuten Reaktionen, obwohl er durchaus ^{14}C-BaP akkumuliert.

WESTHEIDE & BETHKE-BEILFUß (1991), die Testrichtlinien für das Agar- und das Boden-Testsystem für *E. crypticus* entwickelten, beschäftigten sich ausschließlich mit der Wirkung von Bioziden. Diese sind aufgrund ihres Wirkmechanismus weder mit Schwermetallen noch mit PAK zu vergleichen. RÖMBKE, der die Wirkung von Naphthalin auf *E. albidus* untersuchte, gibt die Wirkgrenze mit über 1000 mg/kg Boden an. Im gleichen Bereich liegt der Wert von *E. crypticus* für gealterte Fla-Bodenmischungen.

Als Vergleichsorganismus kann mit Einschränkung auch *Eisenia f. fetida* herangezogen werden, da RÖMBKE & KNACKER (1989) für *E. albidus* und diesen Testorganismus vergleichbare Wirkschwellen gegenüber einigen Bioziden, Chloroacetamid und $CdCl_2$ nachweisen. Im Filterpapiertest mit dem Kom-

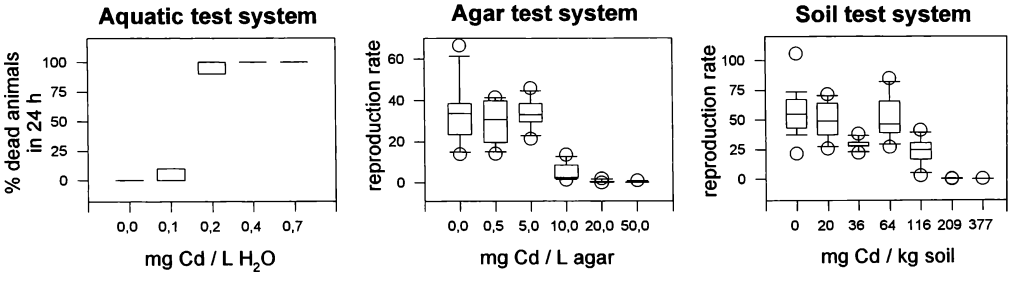

Abb. 3:
Wirkung von Cadmium ($CdCl_2$) auf die Überlebensrate von Enchytraeus crypticus im aquatischen Testsystem und auf die Reproduktionsraten im Agar- und Boden-Testsystem. (aquatisches Testsystem: n=4, Agar- und Boden-Testsystem: n= 6)

Fig. 3:
Effect of cadmium ($CdCl_2$) upon survival rate of Enchytraeus crypticus in the aquatic test system and the reproduction rate in the agar and soil test system. (aquatic test system: n=4; agar and soil test system: n=6)

postwurm liegt der LC_{50}-Wert für Fla bei 2,16 mg/cm^2 und für BaP bei 1,0 mg/cm^2. Hochgerechnet auf 1 kg Papier (1m^2 = 80 g) würden sich Werte von 270 g Fla/kg bzw. 125 g BaP/kg ergeben. Im Bodentest dagegen liegt LC_{50} bei 1000 mg Fla/kg (OESA, 1993, STREIT, 1992) d.h. im Bereich der hier ermittelten Wirkschwelle.

Auch bei Fütterungsuntersuchungen muß ein artübergreifender Vergleich durchgeführt werden. Untersuchungen mit der Assel *Porcellio scaber* zeigen daß BaP im Futter die Wachstumsrate ab 125 mg/kg reduziert (VAN STRAALEN & VERWEIJ, 1991). Dieser Wert ist durchaus mit dem vergleichbar, der zu einer Reduktion der Kokonschlupfrate bei *E. crypticus* führt.

Trotz der unzureichenden Datenlage kann festgestellt werden, daß alle bisher untersuchten Arten des Ökosystems Boden auf Schwermetalle wesentlich sensitiver als auf PAK reagieren. Dies hängt sicher nur zum Teil mit der unterschiedlichen Wasserlöslichkeit und der hohen Affinität der Organika zu den mineralischen und organischen Bodenbestandteilen zusammen. Eine wesentliche Schutzfunktion dürfte auch den Stoffwechselmechanismen der terrestrischen Organismen zukommen, die sie in die Lage versetzen, PAK zu verstoffwechseln und mit Hilfe des Biotransformationssystems zu eliminieren.

Literatur

ELZER U., 1993: Der Einfluß von Kupfer, Blei und Cadmium auf Mortalität, Wachstum und Reproduktionserfolg von Enchytraeus buchholzi Vejdovsky, 1879 (Oligochaeta, Annelida) unter Laborbedingungen, Diplomarbeit, Freie Universität Berlin, 83 S.

HECK, M. & J. RÖMBKE, 1990: Enchytraeiden-Gemeinschaften Berliner Forststandorte. Zool. Beitr. N.F. 33: 433–458.

HECK, M., W. KRATZ, D. NÜSS, U. RINK & G. WEIGMANN, 1992: Untersuchungen zur Bioindikatoreignung von Bodentieren und bodenökologischen Prozessen für die Bewertung des Zustandes urbaner Waldökosysteme in Berlin. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (Hrsg.): Abschlußbericht FE-Vorhaben »Ballungsraumnahe Waldökosysteme«: 172 S.

KOCH, R., 1989: Umweltchemikalien, VHC Verlagsgesellschaft, Weinheim, 423 S.

OESA, Ökologische Schnellauskunft, Datenbank, UBA Berlin, 1993

RÖMBKE, J., 1989: Enchytraeus albidus (Enchytraeidae, Oligochaeta) as a test organism in terrestrial laboratory systems. Arch. Toxicol. Suppl. 13: 402–405

RÖMBKE, J. & Th. KNACKER, 1989: Aquatic toxicity test for enchytraeids. Hydrobiologia 180: 235–248

Streit, B., 1992, Lexikon der Ökotoxikologie, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 731 S.

VAN STRAALEN, N., M. & R. A. Verweij, 1991: Effects of Benzo(a)pyrene on food assimilation and growth efficiency in Porcellio scaber (Isopoda), Bull. Environ. Contam. Toxicol., 46: 134–140

WESTHEIDE, W. & D. BETHKE-BEILFUSS, 1991: The sublethal enchytraeid test system: guidelines and some results. Modern Ecology: Basic and applied aspects. eds. G. Esser & D. Overdiek, Elsevier, Amsterdam, 497–508

WESTHEIDE, W. & U. GRAEFE, 1992: Two new terrestrial Enchytraeus species (Oligochaeta, Annelida), J. Natur. Hist. 26: 479–488

Supported by the BMFT (FKZ: 070TX08D)

Adresse

Prof. Dr. Rudolf K. Achazi
Freie Universität Berlin, Institut für Tierphysiologie-AG Ökotoxikologie-
Grunewaldstraße 34, 12165 Berlin
Tel.: +49 30 8383926, Fax: +49 30 8384640

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 24_1995

Autor(en)/Author(s): Achazi Rudolf K., Düker Christian, Rothe Bettina, Henneken Michael

Artikel/Article: Einfluß von anthropogenen Schadstoffen auf terrestrische Invertebraten: 2. Einfluß von BaP, Fla und Cd auf Lebenszyklusparameter von Enchytraeus crypticus in Labor-Testsystemen 535-540