



Abh. Ber. Naturkundemus. Görlitz	Band 74 Heft 1	S. 21 – 29	2002
--	-------------------	------------	------

ISSN 0373-7586

Vortrag zum 3. Milbenkundlichen Kolloquium vom 12. bis 13. Oktober 2001
an der Karl-Franzens-Universität Graz im Institut für Zoologie

Gamasina im Monitoring einer Phytoremediationsmaßnahme eines TNT-belasteten Bodens

HARTMUT KOEHLER

Universität Bremen, Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie (UFT)

Abstract

Gamasina as monitors of a phytoremediation measure of TNT-contaminated soil – In May 1998, a phytoremediation measure was performed on a TNT-contaminated experimental site on the abandoned military facility »Werk Tanne« (Harz mountains, Germany), representing five plots with three treatments. Within a soil biological monitoring, soil Gamasina were studied in five sample campaigns from May 1999 to October 2000 in 6 months intervals and one in October 2001.

An overall of 39 species was identified. There are no obvious differences between the treatments. On the experimental plots, a vivid succession can be observed towards the community of an adjacent untreated control. Clay soils and water-logging caused a low efficiency of the extraction procedure.

Einleitung

Auf dem Gelände des Werkes »Tanne« bei Clausthal-Zellerfeld (Harz) (BRAEDT et al. 1999) wurde im Zuge einer angestrebten Sanierung des 800 m x 1600 m großen Areals eine Experimentalfläche für die Entwicklung und Erprobung eines pflanzenbasierten in situ Dekontaminationsverfahrens angelegt. Ein wesentlicher Bestandteil dieses von BMBF und Land Bremen unterstützten Vorhabens ist eine Erfolgskontrolle, die chemische Analytik, ökotoxikologische Testbatterie und Freilandmonitoring umfasst. Die Gamasina sind in das auf HEAL & DIGHTON (1985) basierende Monitoring-Instumentarium als prädatatorische Angehörige des mesotrophischen Systems eingebunden.

Das Konzept des Phytoremediationsverfahrens sowie die wichtigsten Ergebnisse sind in drei Veröffentlichungen dargestellt (WARRELMANN et al. 2000, KOEHLER et al. 2001a, b, 2002). Bisher unveröffentlichte Details zu den Gamasina enthält der folgende Beitrag.

Probeflächen, Material und Methoden

Die Versuchsf lächen schließen westlich an das sogenannte Tonsilerdelager (Gebäude 110) an. Die hier zu Zeiten des Produktionsbetriebes gelagerte Tonsilerde wurde zur Rückgewinnung von TNT aus Fehlchargen, Produktionsverlusten, Leckagen etc. ver-

wendet (BRAEDT et al. 1999). Voruntersuchungen am Standort belegen eine deutliche Belastung mit TNT in Größenordnungen bis zu 1000 mg/kg TS. Die Standortgegebenheiten sowie die praxismäßige relativ großflächige Bearbeitung erlauben keine Replizierung des Versuchsansatzes.

Mit einer großtechnischen Bodenfräse wurde der Boden bearbeitet (Fräsbreite 3 m, Frästiefe 30 cm), wobei eine gewisse Homogenisierung der heterogenen Belastung erzielt wurde sowie eine Zerkleinerung aller größeren Fraktionen – wie Wurzelstöcke, Fundamente und Festgestein – auf eine Kantenlänge von ca. 60 bis 80 mm. Durch die Auflockerung des Oberbodens waren die Voraussetzungen für eine Aufforstung mit den ausgewählten Pflanzen gegeben.

Aus Abb. 1 gehen Lage und Größe der Versuchsvarianten U, B, P, M, sowie der Kontrolle K hervor. Die im Rahmen der Phytoremediationsmaßnahme eingebrachten Pflanzen und Pilze sind aufgeführt. Die Teilflächen B, P, M und K befinden sich in einem belasteten Bereich, während der Boden der Variante U keine Nitroaromatenbelastung aufweist. Die Variante K wurde nicht bearbeitet und dient als ungestörte belastete Vergleichsfläche.

In einem zweiten Fräsgang wurde auf den Varianten U und B ein Weißfäulepilz-Schredder-Stroh-Substrat eingebracht. Die Pilze sind in der Lage, TNT abzubauen (SCHEIBNER et al. 1997). Die Pflanzung der Fichten, Pappeln und Holunder erfolgte im 0,5-Meter-Raster im Mengenverhältnis von 6 : 1 : 1. Mit dem Aufbringen einer etwa 5 – 10 cm mächtigen Auflage aus Kiefernridenmulch und der Einzäunung gegen Wildverbiß war die Flächeneinrichtung abgeschlossen.

Am Standort liegt eine Braunerde aus lößhaltiger Fließerde über Grauwacke vor. Die Flächen erwiesen sich als stark bis sehr stark steinig (Skelettgehalte zwischen 50 und 73 %), sehr stark humos in der Frässchicht und mittel humos im Untergrund sowie stark sauer mit pH-Werten zwischen 4 und 5.

Die Belastung des Bodens setzt sich aus harztypisch erhöhten Schwermetallgehalten (insbesondere Blei) und der Kontamination durch Nitroaromaten zusammen. Belegt durch negative Nachweise im Zuge einer umfangreichen Analytik beschränkt sich die Belastung auf 2, 4, 6-Trinitrotoluol und die beiden primären reduktiven Isomere (2-Amino-4, 6-dinitrotoluol, 4-Amino-2, 6-dinitrotoluol) (KOEHLER et al. 2001a). Die im Mai 1999 unmittelbar nach der Flächeneinrichtung an jeweils 24 Rasterpunkten ermittelte Bodenbelastung durch Nitroaromaten (TNT+ADNTs) geht aus Abb. 1 hervor. Das TNT liegt in Form kleiner Klumpen (Größenordnung cm), als feines Pulver oder Staub (Größenordnung < mm) oder an Tone im Zusammenhang mit dem Tonsilerde-Verfahren (s.o.) absorbiert vor. Die Kontamination wirkt seit über 50 Jahren auf die Lebensgemeinschaften des Bodens ein. Verfrachtungen mit der Bodenlösung sind für TNT relativ gering, für die ADNTs höher. Die Verteilung der Belastung in den Flächen ist hochgradig heterogen; sie geht innerhalb der ersten 6 Monate auf allen Varianten um ca. 90 % zurück (KOEHLER et al. 2001a, b).

Die Erfassung der Bodenmesofauna erfolgte mit Hilfe von Mischproben aus jeweils 8 Entnahmen und 2 Tiefen (0 – 5 cm und 5 – 10 cm) mit optimaler räumlicher und zeitlicher Abstimmung mit den anderen Komponenten der Erfolgskontrolle. Probenahmeterminen waren Mai 1999, Oktober 1999, Mai 2000, Oktober 2000, Oktober 2001. Jeder Mischprobe wurden für die Austreibung der Bodenkleinarthropoden 3 mal ca. 200 g (TM) entnommen.

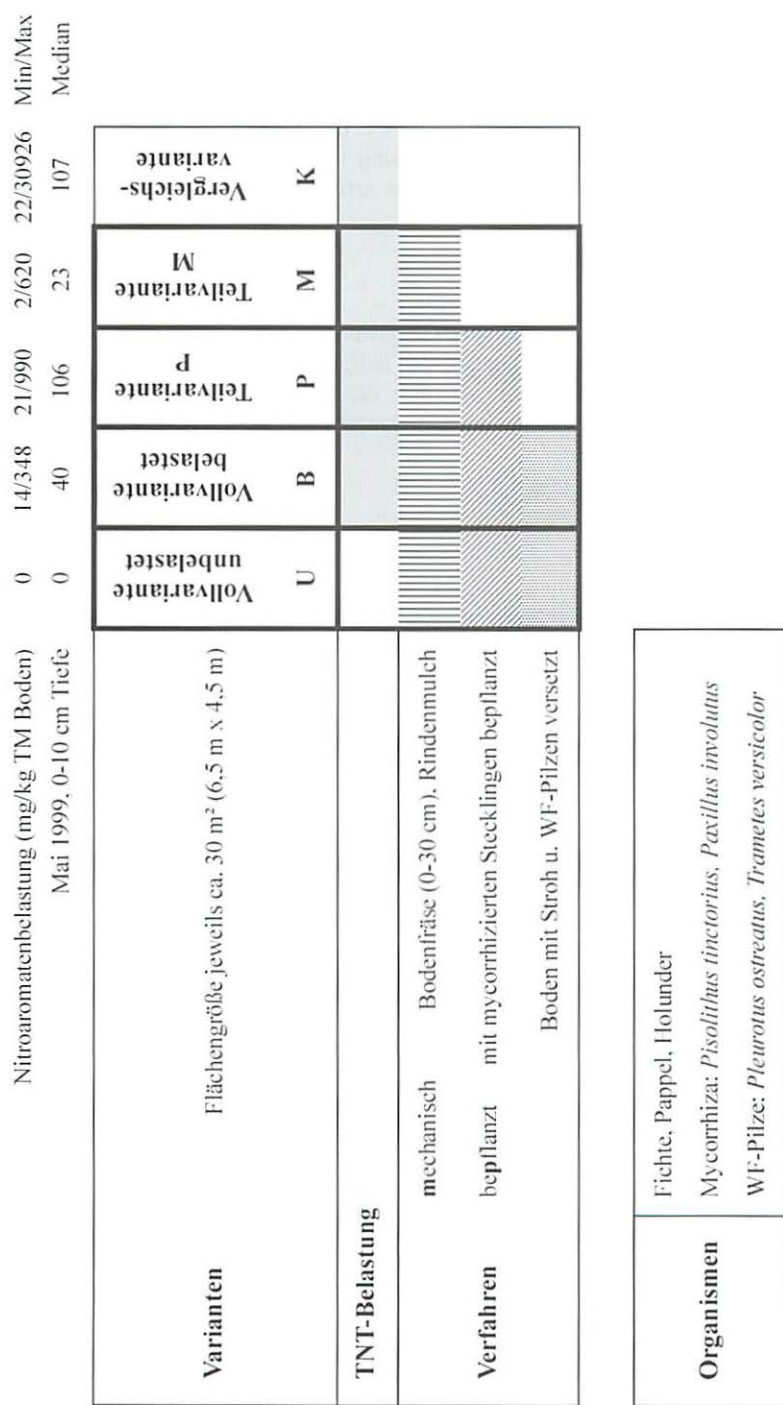


Abb. 1 Die Experimentalflächen des Phytoremediationsverfahrens nahe Gebäude 110, Werk »Tanne« (Harz)

Die Proben wurden aufgebrochen, wobei ein Verschmieren möglichst vermieden wurde.

Die Mikroarthropoden wurden innerhalb von 10 Tagen mit einer modifizierten Tullgren-Apparatur ausgetrieben, die für relativ große Proben eingerichtet ist (tägliche Temperaturerhöhung 5 K, Endtemperatur Probenoberfläche ca. 60 °C). Die Tiere wurden in PVA dauerhaft präpariert und mit einer DIK-Einrichtung mikroskopiert. Die Determination erfolgte im wesentlichen nach KARG (1993), falls erforderlich unter Zuhilfenahme von Spezialliteratur.

3. Ergebnisse

Die nachgewiesenen Siedlungsdichten der Gamasina sind sehr gering, wobei an allen Beprobungsterminen die wenigsten Tiere auf der lediglich gefrästen Fläche M gefunden wurden. Im Vergleich von U und B fällt auf, dass die Siedlungsdichten der unbelasteten Variante zwar niedrig ausfallen, aber über den Untersuchungszeitraum relativ gleich bleiben.

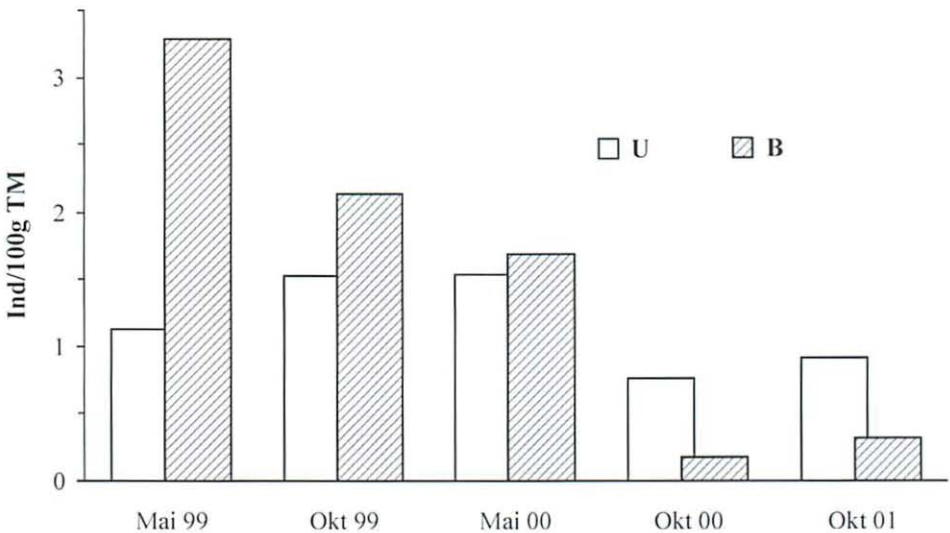


Abb. 2 Abundanzentwicklung der Gamasina (0-10 cm Bodentiefe) auf den Vollvarianten U (unbelastet) und B (belastet)

Tab. 1 Die Gamasina-Arten vom Werk »Tanne« in alphabetischer Auflistung. Die Funde unter »Gelände« stammen von K sowie aus Voruntersuchungen (KOEHLER 2000), die unter »110« wurden im Rahmen des Monitorings auf den Experimentalflächen nahe Gebäude 110 nachgewiesen.

Fettdruck: Arten aus der Weißfäulepilz-Stroh-Kultur

			Gelände einschl. K	U, B, P, M	gemeinsam
<i>Ameroseius</i>	spec.			#	
<i>Arctoseius</i>	<i>magnanalis</i>	Evans, 1958	#		
<i>Arctoseius</i>	<i>semiscissus</i>	(Berlese, 1892)	#		
<i>Asca</i>	<i>bicornis</i>	(Can. et Fanz., 1887)	#		
<i>Ascidae</i>	spec.		#		
<i>Dendrolaelaps</i>	<i>arvicolus</i>	(Leitner, 1949)		#	
<i>Dendrolaelaps</i>	<i>sellnicki</i>	Hirschmann, 1960		#	
<i>Dendrolaelaps</i>	<i>stammeri</i>	Hirschmann, 1960		#	
<i>Dendrolaelaps</i>	spec.			#	
<i>Digamasellus</i>	<i>punctum</i>	(Berlese, 1904)		#	
<i>Epicriopsis</i>	<i>horridus</i>	Kramer, 1876	#		
<i>Eviplis</i>	<i>ostrinus</i>	(Koch, 1836)	#		
<i>Gamasellus</i>	<i>montanus</i>	(Willmann, 1936)	#	#	#
<i>Geholaspis</i>	<i>alpinus</i>	(Berlese, 1887)	#		
<i>Geholaspis</i>	<i>longispinosus</i>	(Kramer, 1876)	#	#	#
<i>Geholaspis</i>	<i>mandibularis</i>	(Berlese, 1904)		#	
<i>Geholaspis</i>	<i>americana</i>	(Berlese, 1888)		#	
<i>Holoparasitus</i>	<i>coronarius</i>	Karg, 1971	#		
<i>Holoparasitus</i>	<i>stramenti</i>	Karg, 1971	#		
<i>Hypoaspis</i>	<i>aculeifer</i>	(Canestrini, 1883)	#	#	#
<i>Hypoaspis</i>	<i>miles</i>	(Berlese, 1892)	#		
<i>Hypoaspis</i>	<i>vacua</i>	(Michael, 1891)	#		
<i>Hypoaspis</i>	<i>angusta</i>	Karg, 1962		#	
<i>LeiOSEIUS</i>	<i>bicolor</i>	(Berlese, 1918)	#		
<i>Leptogamasus</i>	<i>alstoni</i>	(Bhattacharyya, 1963)		#	
<i>Leptogamasus</i>	<i>siccicus</i>	(Tragardh, 1936)		#	
<i>Lysigamasus</i>	<i>rimcatellus</i>	(Berlese, 1903)	#	#	#
<i>Lysigamasus</i>	<i>conus</i>	Karg, 1971	#	#	#
<i>Lysigamasus</i>	<i>digitulus</i>	Karg, 1963	#		
<i>Lysigamasus</i>	<i>vagabundus</i>	Karg, 1968	#		
<i>Lysigamasus</i>	<i>lapponicus</i>	Tragardh, 1910		#	
<i>Macrocheles</i>	<i>dentatus</i>	Evans & Browning, 1956	#		
<i>Macrocheles</i>	<i>montanus</i>	(Willmann, 1951)	#		
<i>Macrocheles</i>	<i>opacus aciculatus</i>	Berlese, 1918	#		
<i>Macrocheles</i>	<i>merdarius</i>	(Berlese, 1889)		#	
<i>Pachylaelaps</i>	<i>jurassicus</i>	Schweizer, 1961	#		
<i>Pachylaelaps</i>	<i>laeuchli</i>	Schweizer, 1922	#		
<i>Pachylaelaps</i>	<i>longisetis</i>	Halbert, 1915	#		
<i>Pachylaelaps</i>	<i>veitlifer</i>	Willmann, 1956	#		
<i>Pachylaelaps</i>	<i>fuscimliger</i>	Berlese, 1921		#	
<i>Paragamasus</i>	<i>alpestris</i>	(Berlese, 1904)	#		
<i>Parasitus</i>	<i>kraepelini</i>	(Berlese, 1903)	#	#	#
<i>Parasitus</i>	<i>consanguineus</i>	Oudemans et Voigts, 1904		#	
<i>Parasitus</i>	<i>eta</i>	Oudemans et Voigts, 1904		#	
<i>Parholaspulus</i>	<i>alstoni</i>	Evans, 1956		#	
<i>Pergamasus</i>	<i>crassipes</i>	(Linne, 1758)	#		
<i>Pergamasus</i>	<i>quisquiliarum</i>	(Can., 1882)	#	#	#
<i>Proprioseiopsis</i>	<i>jugortus</i>	(Athias-Henriot, 1966)	#		
<i>Prozercon</i>	<i>kochi</i>	Sellnick, 1943	#	#	#
<i>Pseudoparasitus</i> (<i>Ololaelaps</i>)	<i>placentulus</i>	(Berlese, 1887)	#		
<i>Rhodacarellus</i>	<i>kreuzi</i>	Karg, 1965	#		
<i>Rhodacarellus</i>	<i>silesticus</i>	Willmann, 1935		#	
<i>Rhodacarus</i>	<i>clavulatus</i>	Athias-Henriot, 1961	#		
<i>Rhodacarus</i>	<i>haarlovi</i>	Scherbak, 1977	#		
<i>Rhodacarus</i>	<i>aequalis</i>	Karg, 1971	#		
<i>Veigata</i>	<i>cerva</i>	(Kramer, 1876)	#		
<i>Veigata</i>	<i>kochi</i>	(Tragardh, 1901)	#	#	#
<i>Veigata</i>	<i>nemorensis</i>	(C. L. Koch, 1839)	#	#	#
<i>Veigata</i>	<i>planicola</i> (cf.)	(Berlese, 1892)	#	#	#
<i>Veigata</i>	<i>transisalae</i>	(Oudemans, 1902)	#	#	#
<i>Zercon</i>	<i>gurenstis</i>	Mihelcic, 1962	#		
Artenzahlen			43	30	12

Auf der belasteten Variante B hingegen ist ein starker Abfall des anfänglich vergleichsweise hohen Gamasinen-Besatzes über die 1,5 Untersuchungsjahre zu beobachten (Abb. 2).

Im Boden der Experimentalflächen (U, B, P, M) wurden 30 Arten nachgewiesen (Tab. 1). Unter Berücksichtigung vorausgegangener Erhebungen (KOEHLER 2000) ergibt sich damit eine Gamasina-Artenzahl von 62 für das Gelände des Werkes »Tanne«. Die Artenidentität der Experimentalflächen (ohne K) mit dem Umfeld ist mit 33 % gering (Sörensen-Index). Auf U und B wurden vier Arten mit dem Pilzschredder-Gemisch eingeschleppt, die sich aber nicht halten konnten (Tab. 2). Vom Mulch geht ebenfalls keine Besiedlung der Flächen aus. Von den 14 auf K gefundenen Arten sind 11 aus dem Umfeld bekannt. Maximal 3 dieser »Umfeldarten« traten auf den jeweiligen Experimentalflächen auf, bevorzugt *L. vagabundus* und *V. nemorensis*, beides häufige Arten der Streu und oberen Bodenschicht in Wäldern. Die ersten »K-Arten« wurden im Oktober 1999 auf den Vollvarianten (U, B) gefunden. Im Laufe der 1,5 Untersuchungsjahre deutet sich eine Angleichung der Gamasinen-Zönosen der Experimentalflächen an die der anliegenden Fläche K an.

Diskussion

Der Boden am Standort weist hohe Ton- und Wassergehalte auf. Daher ist die Effizienz der Gewinnung der Bodenkleinarthropoden mit modifizierter Tullgren-Extraktion auch bei schonender Behandlung der Mischproben als relativ niedrig einzuschätzen. Dies würde die generell niedrigen Siedlungsdichten erklären.

Auf Grund der relativ wenigen gefangenen Individuen können lediglich grobe Aussagen über die Entwicklung der Lebensgemeinschaft der Gamasina gemacht werden. Trotz des hohen Besiedlungspotentials des Umfeldes (KOEHLER 2000) bildet sich mit deutlich unter 50 % eine nur geringe Artenidentität der Experimentalflächen mit dem Umfeld aus. Allerdings ist der Artenwechsel auf den Versuchsflächen rasch und scheint sich der unbehandelten K-Variante anzunähern.

Überwiegend werden Bewohner der Streu bzw. der oberen Bodenschichten gefunden. Dies kann zum einen mit den erwähnten Problemen der Extraktion zusammenhängen, wodurch die größeren Formen überrepräsentiert sind. Zum anderen wären die TNT-Belastung unmittelbar unter der Streuschicht, sowie der dichte Boden und die hohen Wassergehalte anzuführen.

Die bodenbiologischen Freilanderhebungen liefern eine komplexe und umfangreiche Datenbasis (KOEHLER 2001a, LORENZEN 2000, ined.). Direkte Bezüge der Gamasina-Taxozönose zur Kontamination wurden nicht gefunden. Dies mag in der speziellen Art der punktuellen, z. T. partikulären Kontamination begründet sein. Wenn die Bioverfügbarkeit eingeschränkt ist, kann selbst bei erheblichen TNT-Konzentrationen kein Effekt auf die Bodenbiozönose erwartet werden (GUNDERSON et al. 1997, KOEHLER 2000, PARMELEE et al. 1993).

Der Einfluss der Flächeneinrichtung (Bodenfräse, Pflanzung) auf die Bodenfauna ist sehr stark und setzt eine sekundäre Sukzession in Gang, die in Richtung der belasteten Fläche K zu führen scheint. Mit Weißfäule-Pilz-Schredder und Mulch eingebrachte allochthone Arten können sich nicht nachhaltig ansiedeln. Dieser Befund steht im Einklang mit dem erwarteten und über die Bodenatmung belegten (KOEHLER et al. 2001a) Rückgang der Weißfäule-Pilze.

Die Gamasina sind lediglich ein Messfühler im eingesetzten Monitoring der Phytoremediationsmaßnahme. Die Ergebnisse belegen den starken Einfluss des mechanischen Eingriffs und eine relativ rasche Erholung der Lebensgemeinschaft. Die im Vergleich zu U stark rückläufigen Siedlungsdichten auf B könnten auf ein gestörtes Wirkungsgefüge hinweisen, was als Spätwirkung der Anfangsbelastung aufzufassen wäre.

Dem Arbeitsschutz wurde höchste Bedeutung beigemessen: Im Feld durch Einhaltung der geltenden Arbeitsschutzvorschriften für Arbeiten in kontaminierten Bereichen einschließlich ärztlicher Überwachung der besonders exponierten Mitarbeiter. Im Labor erfolgten besondere Schutzvorkehrungen, um z. B. Staubentwicklungen und den Anfall belasteter Abwässer zu verhindern, bzw. zu reduzieren. Die üblichen Routinearbeiten, wie Probenaufbereitung, Extraktion, Reinigung und Probenentsorgung erfordern spezielle Vorkehrungen und führen zu einer deutlichen Erhöhung des Arbeitsaufwandes und zu erheblichen Kosten.

Danksagung

Die Arbeiten wurden vom Bremer Senator für Bildung, Wissenschaft, Kunst und Sport und von der Fa. Umweltschutz Nord (Ganderkesee) im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Maßstabgerechte Erprobung von biologischen Verfahren mit Erfolgskontrolle am Standort Werk »Tanne« bei Clausthal-Zellerfeld“ gefördert (vgl. DAHN et al. 1999). Besonderer Dank gilt Frau Uebers für die Präparation der Raubmilben, Herrn Behrend für die chemische Analytik, sowie dem gesamten »Tanne Team« des Zentrums für Umweltforschung und Umwelttechnologie (UFT, Universität Bremen) für kooperative und diskussionsfreudige interdisziplinäre Zusammenarbeit.

Literatur

- BRAEDT, W., H. HORSELJAU, F. JACOBS & F. KNOLLE (1999): Die Sprengstofffabrik »Tanne« in Clausthal-Zellerfeld; Geschichte und Perspektive einer Harzer Rüstungsaltnast. Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld, 166 S.
- DAHN, A., A. ESCHENBACH, S. FLEISCHMANN & J. MICHELS (1999): BMBF-Forschungsverbund »Biologische Verfahren zur Bodensanierung«. In: Heiden, S., Erb, R., Warrelmann, J., und Dierstein, R. (Hrsg.), Biotechnologie im Umweltschutz: Bioremediation – Entwicklungsstand, Anwendungen, Perspektiven, Erich Schmidt Verlag, Berlin: 43 – 51
- GUNDERSON, C. A., J. M. KOSTUK, M. H. GIBBS, G. E. NAPOLITANO, L. F. WICKER, J. E. RICHMOND & A. J. STEWART (1997): Multispecies toxicity assessment of compost produced in bioremediation of an explosives-contaminated sediment. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 2259 – 2537
- HEAL, O. W. & J. DIGHTON (1985): Resource quality and trophic structure in the soil system. In: A. H. Fitter (Hrsg.), *Ecological interactions in soil*. Blackwell, Oxford: 339 – 354
- KARG, W. (1993): Acari (Acarina), Milben, Parasitiformes (Anactinochaeta), Cohors Gamasina Leach, Raubmilben. – *Die Tierwelt Dtschld.*, 59: Gustav-Fischer, Jena, Stuttgart, New York, 2. Aufl., 523 S.
- KOEHLER, H. (2000): Gamasina von TNT-belasteten Standorten (Werk »Tanne«, Harz). *Abh. Ber. Naturkundemuseum Görlitz*, 72, 115 – 120
- , T. FRISCHE, I. DOBNER, P. BEHREND, M. SCHAEFER, H. TAUBNER, B. JASTORFF, J. WARRELMANN & U. WALTER (2001a): Erprobung und Erfolgskontrolle eines Phytoremediationsverfahrens zur Sanierung Sprengstoff-kontaminierter Böden: II. Ergebnisse eines Freilandexperimentes. *UWSF – Z. Umwelchem. Ökotox.*, 13, 351 – 357

- , J. WARRELMANN, P. BEHREND, I. DOBNER, T. FRISCHE, W. HEYSER, B. JASTORFF & U. WALTER (2001b): Erprobung und Erfolgskontrolle eines Phytoremediationsverfahrens zur Sanierung Sprengstoff-kontaminierter Böden: III. Beurteilung des Verfahrens. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. **13**: 359 – 368
- , J. WARRELMANN, T. FRISCHE, P. BEHREND & U. WALTER (2002): In-situ phytoremediation of TNT-contaminated soil. *Acta Biotechnologica*, **22**: 67 – 80
- PARMELEE, R. W., R. S. WENTSEL, C. T. PHILLIPS, W. SIMINI & R. T. CHECKAI (1993): Soil microcosm for testing the effects of chemical pollutants on soil fauna communities and trophic structure. *Environmental Toxicology and Chemistry* **12**: 1477 – 1486
- SCHEIBNER, K., M. HOFRICHTER & W. FRISCHE (1997): Mineralization of 2-amino-4,6,-dinitrotoluene by manganese peroxidase of the white-rot-fungus *Nematoloma frowardii*. *Biotechnology Letters*, **19**: 835 – 839
- WARRELMANN, J., H. KOEHLER, T. FRISCHE, I. DOBNER, U. WALTER & W. HEYSER (2000): Erprobung und Erfolgskontrolle eines Phytoremediationsverfahrens zur Sanierung Sprengstoff-kontaminierter Böden: I. Konzeption und Einrichtung eines Freilandexperimentes. UWSF – Z. Umweltchem. Ökotox. **12**: 351 – 357

Manuskriptannahme: 23. April 2002

Anschrift des Verfassers:

PD Dr. Hartmut Koehler
Univ. Bremen, Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie und Institut
für Ökologie und Evolutionsbiologie
POF 33 04 40
D-28334 Bremen