

Vielfalt und Leistung der Tiere im Waldboden*

ERWIN MEYER, WILHELM FOISSNER
UND ERNA AESCHT

Die Bodentiere erfüllen im Wald wichtige Funktionen als Konsumenten der Mikroflora und Pflanzen sowie als Räuber und Aufarbeiter von totem organischem Material. In einer funktionierenden Zersetzer-Nahrungskette wird der Bestandesabfall mineralisiert, und die entstehenden anorganischen Nährstoffe werden dem Boden zugeführt.

Gäbe es die Bodenorganismen nicht, entstünden in unseren Wäldern Berge von Laub- und Nadelstreu, die alles ersticken würden. Viele Bodentiere zerkleinern durch Beißen, Nagen und Durchlöchern die Bodenstreu, Wurzelreste und Holzstücke. Wühlende Lebensformen durchmischen organisches und anorganisches Material und verbessern durch Erhöhung des Porenvolumens und Bildung von Aggregaten die Bodenstruktur.

Welche Tiere kommen im Boden vor?

Vertreter einiger wichtiger Bodentiergruppen werden an Hand von Fototafeln (Bilder 2—14) und Tabelle 1 vorgestellt. Der begleitende Text gibt Auskunft über Größe, Lebensweise und Funktion der abgebildeten Tiere.

Menge und Leistungen der Bodenfauna

Die Bodentiere führen ein sehr verborgenes Leben, und fast nur dem Spezialisten ist bekannt, in welcher Vielfalt und ungeheurer Anzahl sie den Boden besiedeln. Unter einem Quadratmeter Waldboden können bis zu 1000 Tierarten vorkommen (SCHÄFER 1985). Ergebnisse von laufenden Waldforschungsprojekten in Oberösterreich und Vorarlberg zeigen, daß in einem Fingerhut voll Fichtennadelstreu 10.000—30.000 Schalenamöben, 500—2000 Wimpertierchen, 500—1000 Fadenwürmer und 200—400 Rädertiere leben; zusätzlich findet man pro m² 10.000—20.000 Enchyträen (kleine Borstenwürmer) und 3000—5000 Gliederfüßer (Arthropoden). Umgerechnet auf einen Hektar ergibt das 150 kg Einzeller und kleine Vielzeller sowie etwa 80 kg Borstenwürmer und Arthropoden (Lebendgewicht).

Im Laubwald können die Biomassenwerte bei den Makrosaprophagen sogar mehr als doppelt so hoch sein (Tabelle 1). Die reichere Besiedlung der Laubwaldböden erklärt sich aus der leichten

Zersetzbarkeit des Bestandesabfalls. Durch Fraßtätigkeit und Durchmischung, an der besonders die Regenwürmer und Arthropoden beteiligt sind (Bilder 7, 8), entsteht milder Mullhumus. Hingegen wird aus den sehr schwer zersetzbaren Fichtennadeln Rohhumus, dessen saure Reaktion die Besiedlung mit Regenwürmern weitgehend unterbindet (unter pH 4 kommen praktisch keine mehr vor). Bei Abwesenheit der Regenwürmer wird die organische Auflage mit dem Unterboden kaum durchmischt. Es entsteht eine ausgeprägte Horizontierung mit dicken Streuauflagen, die erst im Laufe von fünf bis zehn Jahren von anderen Bodentieren, besonders den mikroskopisch kleinen Einzellern und den Enchyträen, Milben und Springschwänzen, umgesetzt werden (Bilder 2—6, 9, 10).

Biomasse als Maßstab

Neben den vielen Bodentieren ist auf die noch viel größere Anzahl von Bakterien und Pilzen im Boden hinzuweisen. Tatsächlich leistet die Mikroflora etwa 90 % der Abbauarbeit (Atmung) im Zersettersystem (Bild 1). Dennoch sind die ver-

bleibenden 10 % tierischer Abbauleistung nicht unbedeutend (PETERSEN und LUXTON 1982, FOISSNER 1987). Bei der Beurteilung der Leistungen der Bodentiere sind auch ihre Siedlungsdichten, Biomassen und Produktionen zu berücksichtigen. Die Individuenzahl sagt vergleichsweise wenig, weil die Bodentiere einen Größenbereich von wenigen tausendstel Millimetern (Einzeller) bis mehreren Zentimetern (Regenwürmer) abdecken. Wichtiger, weil besser vergleichbar, ist die Biomasse. Arthropoden, Würmer und Einzeller stellen in der Regel je ein Drittel der tierischen Biomasse im Boden (Bild 1 und MEYER et al. 1984). Die Stoffwechselaktivität (Atmung) der Bodentiere kennzeichnet ihre Leistung am besten. Dabei wird erkennbar, daß die Einzeller wegen ihres großen Oberflächen/Volumsverhältnisses viel mehr veratmen, als es ihrem Anteil an der Biomasse entspricht (Bild 1). Für den Jahresumsatz einer bestimmten Tiergruppe ist es entscheidend, wieviel neue Biomasse die aktuell vorhandene tierische Biomasse (standing crop) zu produzieren vermag. Zum Beispiel bilden

Tabelle 1: Mittlere Siedlungsdichten (Ind./m²) und Biomassen (kg Frischgewicht/ha) der Bodentiere in Laubwäldern mit Mullhumus und Nadelwäldern mit Rohhumus

Tiergruppen	Laubwald ¹		Nadelwald ²	
	Ind./m ²	kg/ha	Ind./m ²	kg/ha
Nacktamöben (Rhizopoda)	(3.500.000.000) ³	(57)	?	?
Schalenamöben (Testacea)	84.000.000	20	400.000.000	68
Geißeltierchen (Flagellata)	(2.700.000.000) ³	(7)	?	?
Wimpertierchen (Ciliophora)	?	?	1.600.000	1,6
Fadenwürmer (Nematoda)	11.100.000	53	1.300.000	6
Mikrofauna	etwa 1 Milliarde	90	etwa 1 Milliarde	80
Milben (Acari)	102.000	14	340.000	16
Springschwänze (Collembola)	53.000	7	96.000	4
Mesofauna	155.000	21	436.000	20
Enchyträen (Enchytraeidae)	7.000	7	15.000	21
Regenwürmer (Lumbricidae)	120	160	20	7
Spinnentiere (Arachnida)	140	0,6	90	0,3
Asseln (Isopoda)	440	1,5	0	0
Doppelfüßer (Diplopoda)	90	7,3	30	0,2
Hundertfüßer (Chilopoda)	300	10	110	3,7
Käfer (Coleoptera)	50	2,6	110	7,6
Larven (Käfer, Zweiflügler)	660	20	1.500	19
weitere Gliederfüßer	530	<1	1.100	<1
Makrofauna	9.330	210	17.960	60

¹ Mikrofauna nach Angaben von ELLENBERG et al. (1986) aus einem Buchenwald im Solling, BRD. Meso- und Makrofauna nach eigenen Untersuchungen aus Laubmischwäldern bei Nenzing (Vorarlberg).

² Nach eigenen Untersuchungen in Fichtenwaldböden im Mühlviertel (Oberösterreich) und einem subalpinen Fichtenwald im Montafon (Vorarlberg).

³ Die Werte für die Nacktamöben und Geißeltierchen des Laubwaldes sind unserer Meinung nach durch methodische Schwierigkeiten stark überschätzt. Für Nadelwälder liegen ebenfalls keine verlässlichen Daten vor.

* Der Erinnerung an den ausgezeichneten österreichischen Bodenzologen Prof. Dr. Wilhelm KÜHNELT (1905—1988) gewidmet.

1,7 g beschaltete Amöben (Einzeller) pro Jahr in einem Quadratmeter Buchenwald 73 g neue Amöben. Das entspricht einem Verhältnis Produktion/Biomasse von 43 : 1. Bei den größeren Tieren hingegen ist dieses Verhältnis nur 1 : 1 bis 5 : 1, weil sie eine sehr viel längere Generationszeit haben. 2,2 g Diplopoden pro Quadratmeter produzieren unter (Fortsetzung Seite 18)

Mikroskopisch kleine Tiere, die in großer Menge Waldböden besiedeln (vgl. Tabelle 1)

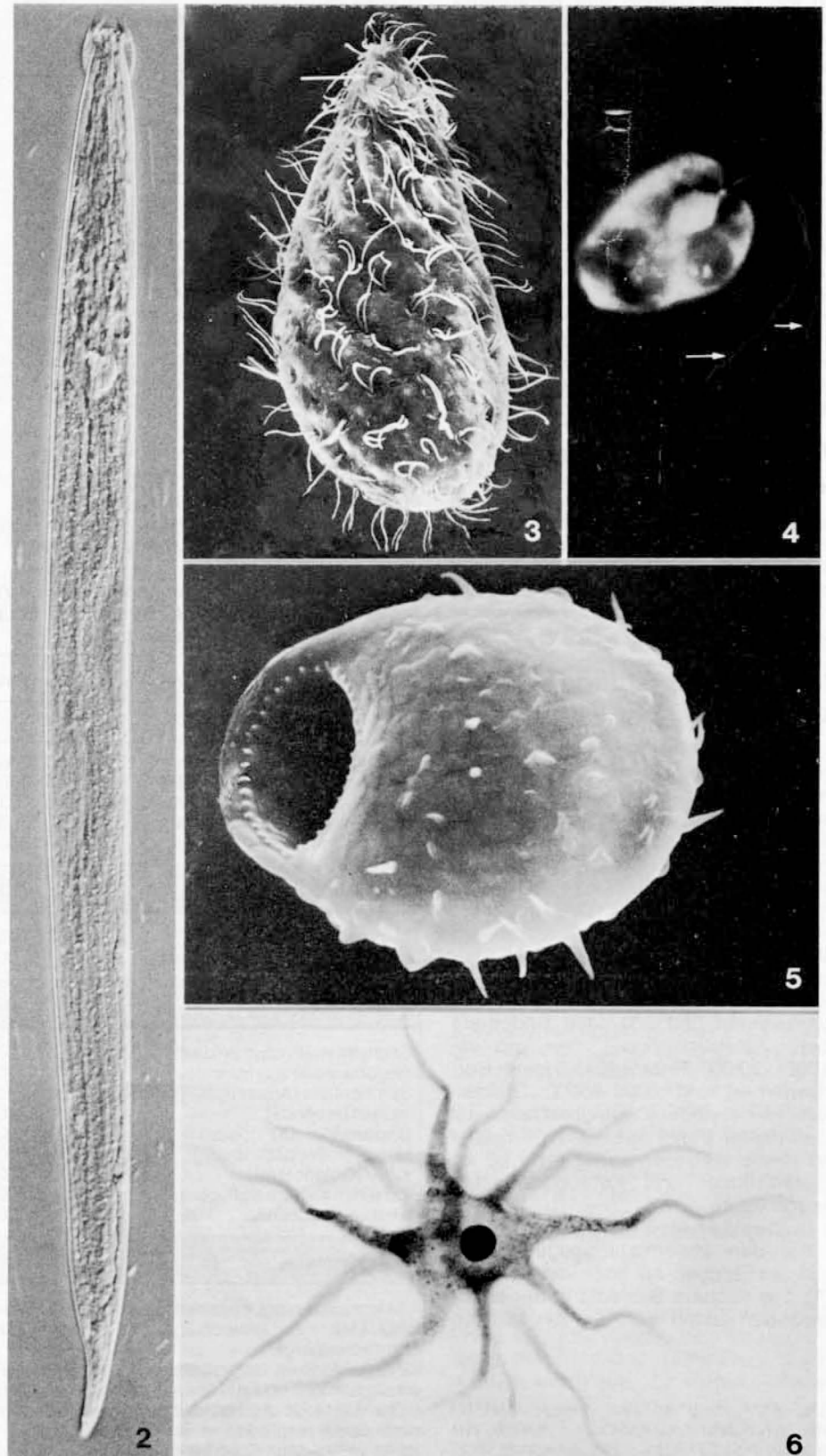
Bild 2: Ein etwa 0,4 mm langer Fadenwurm (Nematode). Fadenwürmer haben ein breites ökologisches Spektrum und sind Detritusfresser, Räuber und Sauger an Pflanzenwurzeln

Bild 3: Wimpertierchen besiedeln fast nur die frische Streu. Diese etwa 0,05 mm große Art, hier in einer elektronenmikroskopischen Aufnahme dargestellt, ernährt sich ausschließlich vom Bodenpilzen, die sie mit Hilfe einer winzigen, rohrartigen Struktur (Pfeil) „anbohrt“ und aussaugt

Bild 4: Die ebenfalls hauptsächlich in der Streuschicht lebenden, sehr kleinen (0,02 mm) Geißeltierchen (Flagellaten) haben nur wenige lange Wimpern (Geißeln; Pfeile) und können sich von gelösten Stoffen ernähren

Bild 5: Die kleinen (0,02–0,1 mm) Schalenamöben (Testaceen) besiedeln in ungeheurer Menge und bis in große Tiefen die Waldböden (Tabelle 1) und sind daher für die Humusbildung sehr wichtig. Sie schützen ihren empfindlichen, formveränderlichen Körper durch zierliche Gehäuse, die im Elektronenmikroskop einen reizvollen Anblick bieten. Durch die von kleinen Zähnen begrenzte Schalenöffnung treten die Scheinfüßchen (Pseudopodien) aus, mit denen Bakterien, Pilze und Humusteilchen aufgenommen werden

Bild 6: Die etwa 0,05 mm großen Nacktamöben haben keine Schalen, weshalb ihre formveränderlichen Scheinfüßchen gut erkennbar sind. Der runde, dunkle Körper in der Mitte des Tieres ist der Zellkern. Sie ernähren sich hauptsächlich von Bakterien



Dank

Für finanzielle Unterstützung danken wir dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und dem Amt der Vorarlberger Landesregierung. Für fototechnische Assistenz danken wir Frau Karin BER-NATZKI.

Eine Auswahl von Bodentieren

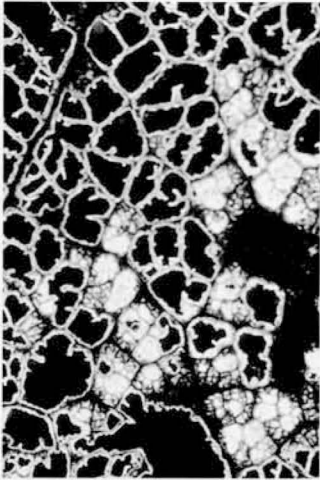


Bild 7: Von Bodentieren skelettiertes Blatt. In Wechselwirkung mit Pilzen und Bakterien zerkleinert die saprophage Bodenfauna einen Großteil des jährlichen Bestandesabfalls



Bild 8: Fraßspuren und etwa 1 mm große Losung von Doppelfüßern (Diplopoden). Die verarbeiteten Pflanzenreste werden nach der Darmpassage bevorzugt von Mikroben besiedelt oder auch von anderen Tieren aufgenommen. Die Freisetzung von Nährstoffen wird dadurch gefördert

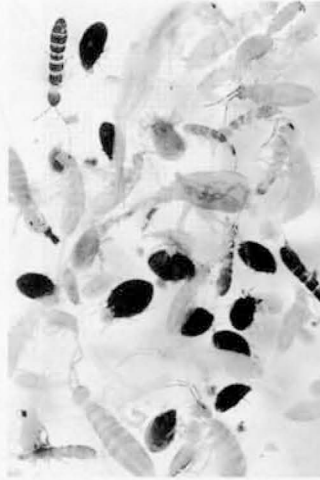


Bild 9: Die bis zu 2 mm große Mesofauna (Milben und Springschwänze) belebt den Boden bis in tiefere Schichten mit vielen Lebens- und Ernährungsformen. In Rohhumusböden sind ihre Siedlungsdichten besonders hoch



Bild 10: Die 1—10 mm langen weißen Borstenwürmer (Enchytraeidae) fressen Streu und Pilze. Sie sind Charaktertiere in hydromorphen Böden und in Moder/Rohhumusprofilen (Foto D. L. DINDAL)



Bild 11: Regenwürmer (Lumbricidae) sorgen durch ihre Ernährungs- und Lebensweise für den Abbau und eine intensive Vermischung der Streu mit dem mineralischen Unterboden (Foto D. L. DINDAL)



Bild 12: Die Zwergasseln (2—4 mm) erreichen in Laubwaldböden oft ziemlich hohe Siedlungsdichten. Sie fressen vorwiegend noch wenig zersetzte Streu



Bild 13: Die ausschließlich saprophagen, etwa 1—3 cm langen Doppelfüßer (Diplopoda) bewohnen die obersten Streulagen und haben ein breites Nahrungsspektrum



Bild 14: Bevorzugte Aufenthaltsorte der etwa 1 cm langen Haarwürmer (Bibionidae) sind feuchte Laubwaldböden. Mit ihren hohen Individuenzahlen tragen sie wesentlich zum Umsatz der Streu bei

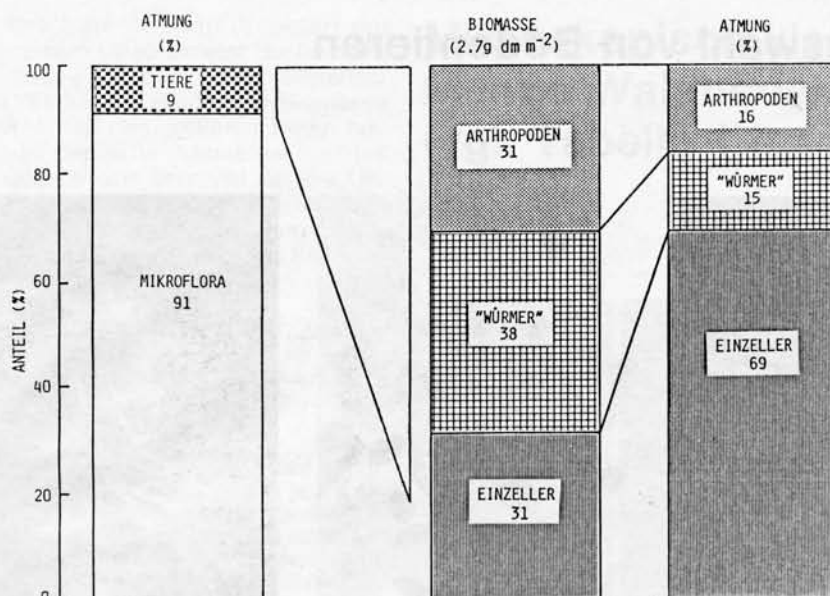


Bild 1: Biomasse und Atmung der Bodenorganismen. Die Graphik zeigt die Mittelwerte von 14 Ökosystemstudien von verschiedenen Standorten der Welt (nähere Erklärung im Text). Arthropoden (Gliederfüßer): Käfer, Zweiflügler usw.; „Würmer“: Fadenwürmer, Rädertiere, Enchyträiden, Regenwürmer; Einzeller: Nacktamoeben, Schalenamoeben, Geißeltierchen, Wimpertierchen. dm = Trockenmasse. Aus FOISSNER (1987)

einem Grünlerbestand jährlich nur 2,0 g neue Diplopoden (MEYER 1985). Kein Zweifel besteht bezüglich der Bedeutung der Bodenfauna als mechanischer Zerkleinerer des Substrats (Bild 7). In den meisten Böden konsumiert die Bodenfauna 20–30 % der jährlich anfallenden Streu. Diese Zerkleinerung ist Voraussetzung für die weitere Mineralisation durch Bakterien und Pilze und die Verfügbarmachung der Nährstoffe für die Pflanzen. Eine funktionierende Bodentiergemeinschaft greift somit regelnd in den Nährstoffkreislauf des Bodens ein (FITTER 1985).

Bodentiere als Zeigerorganismen

Der Boden reagiert auf menschliche Einflüsse im Vergleich zu limnischen Ökosystemen (z. B. Fließgewässer) zunächst träge, ist aber nach nachhaltiger Schädigung schwerer oder überhaupt nicht in seinen ursprünglichen Zustand zurückzuführen. Hinsichtlich der Bodentiere liegen in Waldökosystemen dazu erst wenige detaillierte Untersuchungen vor. Die Ursachen der neuartigen Waldschäden bewirken auch komplexe Änderungen in der Bodentiergemeinschaft, die aber auf dem Artniveau betrachtet werden müssen.

Ein Versuch in einem norwegischen Fichtenwald zeigte, daß Säureeintrag bei Springschwänzen sowohl zu einer Zunahme (*Mesaphorura yosii*) als auch zu einer Abnahme (*Isotoma notabilis*) der Siedlungsdichte führte (HAGVAR 1984). Bioindikative Zusammenhänge zeichnen sich zwischen dem Schädigungsgrad der Bäume, der Vitalität der Mykorrhiza und den sich von ihr ernährenden Bein-

lastern (Proturen) ab (FUNKE 1987). Untersuchungen über die Auswirkungen einiger Pestizide zeigen, daß das leider immer noch verwendete Lindan (chlorierter Kohlenwasserstoff; Stammschutzmittel Gamma) einen geradezu verheerenden Einfluß auf die Bodenfauna besitzt (Bild 15; FUNKE 1987, PETZ und FOISSNER 1989). Auch in Österreich beschäftigen sich mehrere Arbeitsgruppen mit der viel diskutierten Frage der Waldbodenmelioration (Kalkung, Dünger, Gesteinsmehl). Eine leichte Erhöhung des pH-Wertes durch Kalkung verändert nach den bis-

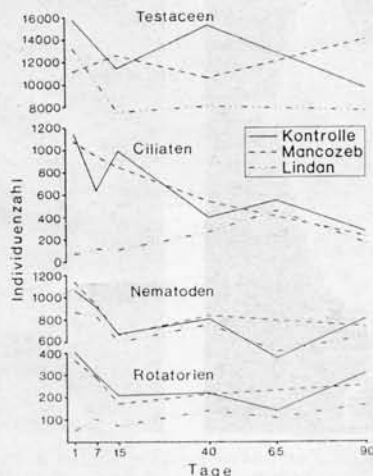


Bild 15: Auswirkungen praxisüblicher Aufwandmengen des Fungizids „Mancozeb“ und des Insektizids „Lindan“ auf Bodenorganismen. Das Fungizid beeinträchtigt die Bodentiere nur wenig. Das Insektizid vernichtet dagegen die Testaceen (Schalenamoeben), die Ciliaten (Wimpertierchen) und die Rotatorien (Rädertiere) fast vollständig. Erst nach etwa 90 Tagen haben sich diese Bodentiere wieder etwas erholt. Aus PETZ und FOISSNER (1989)

her vorliegenden Erkenntnissen die Dominanzverhältnisse der Tiere und scheint zu einer Verbesserung des Bodenlebens zu führen (SCHAEFER 1985, FUNKE 1987). Grundsätzlich muß aus bodenökologischer Sicht die Forderung erhoben werden, daß solche Bodenverbesserungsmittel zu keiner schockartigen Beeinträchtigung der Tiergemeinschaft führen dürfen. Wenn es die Situation erfordert, sollte die zur Zeit an den niedrigen pH-Wert angepaßte Lebensgemeinschaft im Verlauf mehrerer Jahre kontinuierlich an den ursprünglichen Zustand angenähert werden. Wie immer man zu dieser Frage stehen mag: gehandelt muß werden, weil selbst unter günstigsten ökonomischen und politischen Voraussetzungen der Eintrag von Schadstoffen innerhalb der nächsten 10 bis 20 Jahre nicht wesentlich abnehmen wird. Begleituntersuchungen bei Meliorationsmaßnahmen sollten sich nicht nur auf die Beobachtung der physikalisch-chemischen Veränderungen im Boden beschränken. Eine erhöhte Aufmerksamkeit ist vielmehr den Reaktionen der Bodenorganismen zu schenken, deren Leistungen die Bodeneigenschaften sehr wesentlich mitbestimmen.

Literatur

- ELLENBERG, H., MAYER, R. und SCHAUERMANN, J. (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojektes 1966–1986. Verlag E. Ulmer. FITTER, A. H. (1985): Ecological interactions in soil. Blackwell Scientific Publications, Oxford. FOISSNER, W. (1987): Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to the literature. Progress in Protistology 2, 69–212. FUNKE, W. (1987): Wirbellose Tiere als Bioindikatoren in Wäldern. VDI Berichte 609, 133–176. HAGVAR, S. (1984): Effects of liming and artificial acid rain on Collembola and Protura in coniferous forest. Pedobiologia 27, 341–354. MEYER, E., SCHWARZENBERGER, I., STARK, G. und WECHSELBERGER, G. (1984): Bestand und jahreszeitliche Dynamik der Bodenmakrofauna in einem inneralpinen Eichenmischwald (Tirol, Österreich). Pedobiologia 27, 115–132. MEYER, E. (1985): Distribution, activity, life-history and standing crop of Julidae (Diplopoda, Myriapoda) in the Central High Alps (Tyrol, Austria). Holarctic Ecology 8, 141–150. PETERSEN, H. und LUXTON, M. (1982): A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. In: PETERSEN, H. (Hrsg.) Quantitative ecology of microfungi and animals in soil and litter. Oikos 39, 287–288. PETZ, W. und FOISSNER, W. (1989): The effects of mancozeb and lindane on the soil microfauna of a spruce forest: a field study using a complete randomized block design. Soil Biology & Fertility (im Druck). SCHAEFER, M. (1985): Waldschäden und die Tierwelt des Bodens. Allgemeine Forst-Zeitschrift 27.

ODK.: 114.67

Anschrift der Verfasser: Univ.-Doz. Dr. Erwin MEYER, Universität Innsbruck, Institut für Zoologie, Technikerstraße 25, A-6020 Innsbruck; Univ.-Prof. Dr. Wilhelm FOISSNER und Dr. Erna AESCHT, Universität Salzburg, Institut für Zoologie, Hellbrunner Straße 34, A-5020 Salzburg.