

Über die Bodenfauna in Wäldern Vorarlbergs (Österreich) Bestand und Auswirkungen von Gesteinsmehlapplikationen

Erwin Meyer und Karl-Heinz Steinberger

Synopsis

During a 5-year-study the soil fauna of 6 woodland habitats in western Austria has been analysed. The evaluation of the structure and abundance of the soil animals is based on a total of 35 samples from each site collected on 7 occasions between 1987 and 1991. A modified Kempson-Apparatus was employed for extraction of the Macrofauna (size of a sample unit: 30 cm diam.), a Macfadyen-Apparatus for the Mesofauna (4.8 cm) and an O'Connor-Apparatus for Enchytraeidae (6 cm).

At the mixed woods with Mull-Humus the total biomass of the Macrofauna is ten times higher than at the coniferous sites with Rawhumus. The Mesofauna is in inverse ratio to the Macrofauna. At the Mull-sites mean body size of the Macrofauna is about 7-times higher than at the Rawhumus-sites. There is a clear relationship between the soil (humus)-type and the biomass of the large saprotrophs (Lumbricidae, Diplopoda, Isopoda, Diptera-Larvae). Abundance (biomass) of Enchytraeidae is inversely related to the abundance (biomass) of earthworms. Only the large saprotrophs (Lumbricidae, Diplopoda) show higher diversity on the Mull-sites, within Aranei and Collembola the diversity is well balanced between the Mull- and Moder-sites. Mites are much more favoured by Rawhumus-profiles than Collembolans. In the Rawhumus-profiles more than 90% of the life in the soil is concentrated in the uppermost part of the organic-layer.

The treatments of site-specific mixed stone meals (pH KCl: 8.3-8.7) resulted in temporarily and group-specific very different reactions of soil fauna. In the Rawhumus-profiles Enchytraeid numbers decreased significantly in the first two years after treatment. Earthworms increased their numbers and biomass in nearly all sites, most evidently in the second year after treatment. Four years after treatment nearly all groups of soil animals reached balanced numbers between the control and treated site. In addition, the dominance structure of the identified groups was not influenced by the single treatment of the stone meals.

*Nadelwälder, Laubmischwälder, Bodenfauna, Abundanz, Biomasse, Gesteinsmehlapplikation.
Coniferous and deciduous forests, soil fauna, abundance, biomass, response to stone meal treatment.*

1. Einleitung

Das Wissen über Tiergesellschaften von Waldböden, ihre Struktur und ihre Funktion konnte besonders in den letzten Jahren stark verbessert werden. Hervorzuheben sind die Ergebnisse aus dem Sauerhumusbuchenwald des "Solling-Projektes" (WEIDEMANN & SCHAUERMANN 1986), aus einem Moderbuchenwald in Nord-schwarzwald (BECK 1989), aus einem Mullbuchenwald auf Kalk bei Göttingen (SCHAEFER 1989, 1991), die langjährigen Untersuchungen in Fichtenforsten bei Ulm (FUNKE 1986, 1991) sowie umfangreiche Arbeiten in südfinnischen Nadelwäldern durch HUHTA & al. (1986).

Wie andere Ökosysteme wurden auch Wälder seit jeher durch Eingriffe des Menschen gezielt (Holz- und Streunutzung, Düngung) verändert. Daneben unterliegen sie auch laufend Emissionen aus Industrie, Verkehr, Landwirtschaft und Haushalten. Der vermehrte Stoffeintrag aus der Atmosphäre führte nachweislich zu einer verstärkten Versauerung mitteleuropäischer und skandinavischer Waldgebiete (REHFUESS 1990:243). Im Brennpunkt des wissenschaftlichen Interesses steht daher die Suche nach Möglichkeiten der Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme (GLATZEL 1987). Nach DUNGER & FIEDLER (1989) haben sich besonders Bodentiere als Teil des "Langzeitgedächtnisses" des Bodens erwiesen. Ihre Eignung zur Diagnostik von natürlichen und durch Schadstoffeintrag, Kalkung oder Düngung veränderten Böden ist erprobt und genutzt worden (GHILAROV 1978, FUNKE 1986, 1991, DUNGER 1982). Dabei reagieren Bodentiere auf Fremd/Schadstoffe meist indirekt über die Änderung der Bestandesstruktur, des Bestandesabfalls, über die Änderung der mikrobiologischen Aktivität oder über die sich generell ändernden bodenbiologischen Wechselwirkungen. Nur bei Regenwürmern, Enchytraeiden und anderen weichhäutigen Bodentieren ist eine direkte Reaktion auf Veränderungen des pH-Wertes im Boden ableitbar.

Im Projekt "Waldökosystemforschung-Waldbodensanierung" wurden, in Weiterführung der im Jahre 1986 in Vorarlberg flächendeckend durchgeführten Bodenzustandserhebung, sechs Waldstandorte von der Forstbehörde

nach verschiedenen Kriterien (Lage, Geologie, Klima, Exposition, Seehöhe) ausgesucht und multidisziplinär mit folgenden Arbeitszielen untersucht:

- Einordnung der Standorte aus waldökologischer Sicht
 - Feststellung des Vitalitäts- und Ernährungszustandes der Bestände und des Zustands der Waldböden aus bodenchemischer, pflanzensoziologischer, bodenzoologischer und bodenmikrobiologischer Sicht.
- Die Ergebnisse der Erhebung des Ist-Zustands sind in der Reihe "Lebensraum Vorarlberg, Bd. 3 Waldforschung in Vorarlberg dokumentiert (AMT VLBG. LANDESREGIERUNG, 1989). Den Projektzielen entsprechend wurden in der Folge standortspezifisch zusammengemischte silikatische basenreiche Gesteinsmehle appliziert. Kontroll- und Applikationsflächen wurden während weiterer vier Jahre (bis Herbst 1991) beobachtet. Diesbezügliche Ergebnisse sind im bodenzoologischen Endbericht (MEYER 1992) ausführlich dokumentiert. Nachfolgend werden die wichtigsten Befunde zusammengefaßt wiedergegeben.

2. Standorte

Die ausgewählten Waldstandorte sind sehr verschieden, repräsentieren jedoch für Vorarlberg charakteristische und verbreitete Waldökosystemtypen.

Ramsach (RA) und Buchheimer Tobel (BT) liegen auf dem niederschlagsreichen Pfänderrücken am nördlichen Alpenrand auf 700 m bis 900 m Meereshöhe. Moränenüberlagerte Gesteine der Molassezone bilden das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Geringe Hangneigung und feindbodenreiches Material begünstigen in den Böden Wasserstau. In RA hat sich dadurch und aufgrund des basenarmen Ausgangsmaterials ein hydromorpher Auflagehumus angesammelt. Der Wald ist als Peitschenmoos-Tannen-Fichtenwald anzusprechen, im Unterwuchs üppige Moosmatten, mitunter der Bärlapp bodendeckend. In BT ist das Ausgangsmaterial wesentlich basenreicher und die Humusakkumulation dementsprechend geringer, der Wald entspricht einem Hainsimsen-Buchen-Tannenwald, mit Brombeere, Waldsegge und Sanikelkraut im Unterwuchs.

Die Standorte Rabenstein (RS, 590 m) und Trinahalda (TH, 870 m) sind Hangstandorte im Raum Nenzing. Kalksandsteine und heterogenes nacheiszeitliches Flußgeschiebe (RS) und Muschelkalke (TH) bilden das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Die gute Basenversorgung spiegelt sich im raschen Umsatz der Streu wider, typischer Mull im wärmebegünstigten RS, mullartiger Moder im höher gelegenen und kühleren TH. In RS entspricht der Wald einem Hainsimsen-Buchen-Tannenwald mit artenreichem und dichtem Unterwuchs (nach Auffassung der Waldweide um die Jahrhundertwende allerdings noch in Sukzession begriffen), in TH einem Fichten-Tannen-Buchenwald mit lückiger Bodenvegetation.

Die Standorte Kristberg West (KW) und Kristberg Ost (KO) liegen im Silbertal im Altkristallin der Silvretta auf 1550 m Seehöhe. Die Böden haben sich auf sehr basenarmem Ausgangsmaterial entwickelt. Dieses und das kühlfeuchte Klima führten zur Bildung mächtiger Rohhumusdecken. Der Waldbestand beider Flächen entspricht der typischen Ausbildung des subalpinen Brandlattich-Fichtenwaldes. Das Kleinrelief bedingt jedoch starke Unterschiede im Unterwuchs: im steilen SSW-Hang von KW fällt das massive Auftreten des Rippenfarns auf, KO ist durch vernäbte Mulden und Hangneigungen nach allen Richtungen geprägt, mit dichten Torfmoosmatten und Heidelbeere im Unterwuchs.

3. Methodik

3.1 Bodenproben

An jedem der 6 Waldstandorte wurden an insgesamt sieben Terminen zwischen Sommer 1987 und Herbst 1991 mittels Stechrahmen bzw. Stechzylinder (Splitcorer) jeweils 3 - 5 Bodenproben (\varnothing 30 cm, unterteilt in 0 - 7 und 8 - 15 cm Tiefe), 3 - 5 Bodenproben (\varnothing 4,8 cm, unterteilt in 0 - 5, 6 - 10 und 11 - 15 cm Tiefe) und 3 - 5 Bodenproben (\varnothing 6,5 cm, unterteilt in 0 - 5 und 6 - 10 cm Tiefe) entnommen. Aus den großen (\varnothing 30 cm) Proben wurde die Bodenmakrofauna mit Hilfe eines Kempson-Apparates extrahiert. Aus den Proben mittlerer Größe (\varnothing 6,5 cm) wurden die Enchytraeiden nach der O'Connor-Methode ausgetrieben. Zur Gewinnung der Mesofauna aus den kleinen Bodenproben (\varnothing 4,8 cm) diente eine Macfadyen-Apparatur.

Termine: RA und BT Tobel: 16. Sept. 1989, 15. Sept. 1990, 6. Juni und 6. Sept. 1991; RS und TH 17. Aug. 1989, 18. Aug. 1990, 23. Mai und 17. Aug. 1991; KW und KO 2. Okt. 1989, 1. Okt. 1990, 25. Juni und 19. Sept. 1991.

3.2 Bodenfallen

Zur Erfassung der epigäischen Arthropoden dienten wie bei der Erhebung des Istzustandes (6. August 1987 - 12. August 1988) Bodenfallen (Plastikbecher, \varnothing 7 cm, niveaugleich eingegraben, Fangflüssigkeit: Formalin

4 %). Für das abschließende Untersuchungs-jahr wurden wiederum am 17. August 1990 je 4 Fallen (Kontrollfläche) + 4 Fallen (Applikationsfläche) installiert.

Entleerungstermine: 1. 10., 12. 11. 1990, 16. 3., 1. 5., 6. 6., 11. 7., 30. 8., 15. 10. 1991. Am Kristberg war von 12. 11. - 1. 5. aufgrund der Schneelage keine Entleerung möglich.

3.3 Applikation der Gesteinsmehle

Auf den ausgewiesenen Applikationsflächen (80 m x 15 m) wurden die Gesteinsmehle (Tab. 1) unter Beachtung einer optimalen Verteilgenauigkeit (Ausbringung mit Streuwanne und Handkelle) im Oktober 1988 ausgebracht. Die Applikationsmenge betrug jeweils 0,5 kg/m². Bei den Nachfolgeuntersuchungen (ab 1989) wurden auf den Kontroll- und Applikationsflächen jeweils 3 Bodenproben aller oben genannten Größen entnommen.

Tab. 1: Chemische Eigenschaften der silikatischen Gesteinsmehle (nach HUSZ, 1988, unveröff. Ms.)

Tab. 1: Chemical composition of stone meals used for the experiment.

	Kristberg Ost	Kristberg West	Trinahalda Rabenstein	Ramsach Buchheimer Tobel
pH (KCL)	8,59	8,51	8,25	8,71
Makronährstoffe (g 100g⁻¹)				
Ca	13,48	12,87	7,96	16,87
Mg	4,19	4,15	2,33	2,72
K	3,99	3,00	4,77	6,82
Na	0,06	0,06	0,08	0,12
NH ₄	0,03	0,03	0,09	0,09
NO ₃	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02
PO ₄	2,86	2,82	4,69	5,93
SO ₄	6,42	4,32	6,01	6,06
Mikronährstoffe (mg kg⁻¹)				
Fe	277	234	507	120
Mn	172	176	337	108
Cu	139	21	59	16
Zn	108	113	107	84
Co	7	7	13	2
Mo	39	20	30	13
B	59	7	4	8
As	< 0,01	< 0,01	< 0,15	< 0,15
Ni	22	30	25	28
Cr	31	33	56	33
Pb	50	52	43	49
Cd	0,4	0,4	0,3	0,6

3.4 Tiermaterial und Determination

Aus den extrahierten Proben wurde das Tiermaterial zunächst nach Gruppen sortiert und ausgezählt. Der Auswertung der quantitativen Bodenproben liegt ein Tiermaterial von 148.524 Individuen zugrunde. In den Bodenfallen wurden 1990/91 insgesamt 20.306 Individuen der epigäischen Makrofauna (außer Ameisen) gefangen. Folgende Gruppen konnten bis jetzt einer weiteren Bearbeitung zugeführt werden:

Lumbricidae (Mag. Ulrike Plankensteiner, Innsbruck); Collembola (Dr. Hubert Kopeszki, Wien); Aranei, Opiliones (Mag. Dr. Karl-Heinz Steinberger, Innsbruck); Diplopoda (Mag. Andreas Singer, Innsbruck); Coleoptera, Carabidae (Mag. Susanne Haas, Timo Kopf, Innsbruck), Coleoptera, Curculionidae (Mag. Horst Hartmann, Innsbruck); Diptera-Larven (Mag. Karin Rauch, Innsbruck).

3.5 Ermittlung der Biomasse

Die Biomasse der Makrofauna-Gruppen wurde durch direktes Wiegen der Probeninhalte ermittelt. Für Acari, Collembola und Enchytraeidae wurden nach Literaturangaben mittlere Individualgewichte aus vergleichbaren Standorten errechnet und mit den entsprechenden Individuenzahlen multipliziert: Für den Standort Kristberg nach HUHTA & al. (1986), für die Standorte Nenzing und Möggers nach WEIDEMANN und SCHAUERMANN (1986).

4. Ergebnisse

Aus dem umfassenden Endbericht (MEYER 1992) über die bodenzoologischen Arbeiten im Rahmen dieses Projektes wird hier nur eine Auswahl von Tabellen und Abbildungen wiedergegeben: Tabelle 2 informiert zusammenfassend über Siedlungsdichten und Dominanzstrukturen der Bodenfauna auf den unbehandelten Flächen aller sechs Standorte. Tabelle 3 und 4 sowie Abbildung 1 bieten die Möglichkeit, die tierischen Biomassen auf den Kontroll- und Applikationsflächen zu vergleichen. Tabelle 5 faßt die Befunde aus den Bodenfallen zusammen und informiert über die Aktivitätsdichten der epigäischen Fauna auf den Kontroll- und Applikationsflächen. In Tabelle 6 ist die vertikale Verteilung der Bodenfauna auf den Vergleichsflächen dokumentiert. Tabelle 7 gibt einen Überblick über Artenzahlen der bearbeiteten Tiergruppen.

Tab. 2: Besiedlungsdichten (Ind./m²) der Bodenfauna auf den unbehandelten Flächen der 6 untersuchten Waldstandorte in Vorarlberg. Angegeben sind die aus 7 Entnahmetermen (1987-1991) errechneten Mittelwerte (N) und die Dominanzstruktur (%).

Tab. 2: Abundance (ind. per square meter) of the soil fauna on the untreated sites of 6 woodland habitats in Vorarlberg. Mean values (N) calculated from 7 sampling occasions between 1987 and 1991 and the dominance structure (%) are given.

Ind./m ²	Ramsach		Buchheimer Tobel		Rabenstein		Trinahalda		Kristberg West		Kristberg Ost	
	N	[%]	N	[%]	N	[%]	N	[%]	N	[%]	N	[%]
Nacktschnecken	3,6	0,1	10,7	0,3	7,7	0,2	7,9	0,3	0,0	0,0	1,4	0,0
Gehäuseschnecken	5,0	0,1	8,5	0,2	40,7	1,2	51,0	1,8	3,1	0,1	0,4	0,0
Lumbricidae	42,0	1,2	44,6	1,3	93,9	2,8	136,5	4,9	13,3	0,3	7,8	0,2
Pseudoskopiones	29,2	0,8	33,0	1,0	29,1	0,9	56,5	2,0	25,3	0,7	15,6	0,5
Aranei	191,3	5,6	212,8	6,3	82,5	2,5	132,7	4,8	53,8	1,4	108,1	3,2
Opiliones	3,2	0,1	5,3	0,2	7,1	0,2	2,3	0,1	0,4	0,0	0,6	0,0
Isopoda	17,0	0,5	316,3	9,3	612,6	18,4	305,7	11,2	0,0	0,0	0,8	0,0
Paupopoda	561,4	16,3	384,7	11,3	238,8	7,2	233,5	8,4	165,7	4,3	33,5	1,0
Symphyla	104,6	3,0	144,6	4,3	182,1	5,5	316,5	11,5	381,2	9,8	169,2	5,0
Diplopoda	12,8	0,4	36,1	1,1	84,2	2,5	108,5	3,9	17,9	0,5	30,6	0,9
Chilopoda	108,9	3,2	102,7	3,0	254,6	7,7	281,3	10,2	85,1	2,2	31,1	0,9
Diplura	0,4	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	23,0	0,8	2,7	0,1	0,0	0,0
Protura	143,2	4,2	640,5	18,7	98,1	3,0	291,3	10,5	482,0	12,4	546,7	16,2
Dermaptera	0,4	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0
Thysanoptera	15,4	0,4	18,3	0,5	53,3	1,6	21,8	0,8	0,8	0,0	3,9	0,1
Homoptera	474,4	13,8	266,0	7,8	819,8	24,8	80,0	2,9	863,3	22,1	1.098,9	32,5
Coleoptera Imag.	92,2	2,7	142,0	4,2	67,0	2,0	49,7	1,8	107,5	2,8	66,2	2,0
Coleoptera Larv.	465,4	13,5	301,8	8,9	170,6	5,1	177,8	6,4	811,8	20,8	286,7	8,5
Hymenoptera	43,2	1,3	25,6	0,8	80,0	2,4	11,2	0,4	18,0	0,5	38,4	1,1
Lepidoptera Larv.	19,5	0,6	2,8	0,1	6,8	0,2	2,0	0,1	1,7	0,0	1,5	0,0
Diptera Imag.	55,1	1,6	39,0	1,1	27,6	0,8	30,6	1,1	124,4	3,2	44,5	1,3
Diptera Larv.	1.055,3	30,6	664,9	19,6	364,9	11,0	444,7	16,1	731,7	18,8	901,7	26,6
Makrofauna Summe	3.444	100	3.400	100	3.324	100	2.766	100	3.890	100	3.388	100
Enchytraeidae	29.871		11.905		9.556		9.598		14.606		10.507	
Acari	209.070	70	96.345	59	98.644	70	95.657	66	313.740	77	196.310	78
Collembola	88.710	30	67.909	41	42.580	30	49.875	34	94.239	23	54.703	22
Mesofauna Summe	297.780	100	164.255	100	141.225	100	145.532	100	407.979	100	251.013	100

Tab. 3: Biomassen (mg Frischgewicht/m²) der Bodenfauna auf den Kontrollflächen der 6 untersuchten Waldstandorte in Vorarlberg. Angegeben ist jeweils das 3-jährige Mittel (1989-1991). Bezüglich der Werte auf den Applikationsflächen für den entsprechenden Untersuchungszeitraum vergleiche Tab. 4.

Tab. 3: Biomass (mg fresh weight per square meter) of the soil fauna on the untreated sites of 6 woodland habitats. Mean values calculated from 4 sampling occasions between 1989 and 1991 are given. The corresponding values for the treated sites are given in Table 4.

	Ramsach		Buchheimer Tobel		Rabenstein		Trinahalda		Kristberg	West	Kristberg Ost	
	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]
Gastropoda	227,8	4,6	217,4	3,6	329,6	1,2	427,5	2,4	8,3	0,2	391,6	19,8
Lumbricidae	2494,9	50,1	4159,0	69,3	24119,9	90,2	15146,0	85,3	816,2	23,2	111,3	5,6
Pseudoskorpionen	9,6	0,2	8,5	0,1	8,1	0,0	10,5	0,1	11,8	0,3	14,6	0,7
Aranei	29,3	0,6	64,9	1,1	64,0	0,2	153,5	0,9	42,6	1,2	55,1	2,8
Opiliones	15,3	0,3	5,6	0,1	29,0	0,1	13,2	0,1	0,0	0,0	4,1	0,2
Isopoda	1,6	0,0	54,0	0,9	87,7	0,3	55,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Symphyla	51,9	1,0	8,3	0,1	8,0	0,0	15,2	0,1	130,2	3,7	76,1	3,8
Diplopoda	191,2	3,8	207,9	3,5	297,3	1,1	462,0	2,6	305,5	8,7	239,2	12,1
Chilopoda	694,7	14,0	300,2	5,0	764,6	3,0	743,2	4,2	452,2	12,8	173,7	8,8
Dermaptera	0,0	0,0	0,7	0,0	9,4	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Thysanoptera	0,4	0,0	0,8	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Homoptera	7,6	0,2	12,7	0,2	31,0	0,1	9,7	0,1	11,3	0,3	15,7	0,8
Coleoptera Imag.	168,2	3,4	229,9	3,8	120,9	0,5	217,6	1,2	353,6	10,0	212,2	10,7
Coleoptera Larv.	503,2	10,1	478,8	8,0	670,6	2,5	330,1	1,9	1170,6	33,3	524,3	26,4
Hymenoptera	11,0	0,2	9,9	0,2	44,0	0,2	8,9	0,0	3,4	0,1	29,0	1,5
Lepidoptera Larv.	244,9	4,9	11,8	0,2	8,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,3	0,1
Diptera Imag.	2,3	0,0	5,4	0,1	7,8	0,0	5,5	0,0	1,4	0,0	1,4	0,1
Diptera Larv.	327,6	6,6	226,5	3,8	163,9	0,6	151,2	0,9	217,6	6,2	132,7	6,7
Makrofauna Summe	4982	100	6002	100	26766	100	17755	100	3525	100	1982	100
Enchytraeidae	1945		1272		1210		1218		2666		845	
Acari	3651	77	1379	52	1302	69	1086	67	1405	78	1078	77
Collembola	1100	23	1296	48	580	31	528	33	396	22	323	23
Mesofauna Summe	4751	100	2676	100	1883	100	1613	100	1801	100	1400	100

Tab. 4: Biomassen (mg Frischgewicht/m²) der Bodenfauna auf den Applikationsflächen der 6 untersuchten Waldstandorte in Vorarlberg. Angegeben ist jeweils das 3-jährige Mittel (1989-1991). Bezüglich der Werte auf den Kontrollflächen für den entsprechenden Untersuchungszeitraum vergleiche Tab. 3.

Tab. 4: Biomass (mg fresh weight per square meter) of the soil fauna on the treated sites of 6 woodland habitats. Mean values calculated from 4 sampling occasions between 1989 and 1991 are given. The corresponding values for the untreated sites are given in Table 3.

	Ramsach		Buchheimer Tobel		Rabenstein		Trinahalda		Kristberg	West	Kristberg	Ost
	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]	[MFG]	[%]
Gastropoda	77,2	1,1	482,2	4,8	87,7	0,3	612,6	3,8	802,9	14,4	557,9	24,9
Lumbricidae	5010,4	70,6	8229,1	81,5	27788,9	90,0	12659,3	78,9	2156,0	38,5	190,8	8,5
Pseudoskopiesen	10,3	0,1	5,0	0,0	4,2	0,0	8,6	0,1	8,8	0,2	13,6	0,6
Aranei	31,9	0,5	67,7	0,7	21,0	0,1	174,3	1,1	47,7	0,9	49,6	2,2
Opiliones	5,7	0,1	7,3	0,1	16,7	0,1	13,3	0,1	11,1	0,2	3,3	0,1
Isopoda	0,2	0,0	73,0	0,7	48,8	0,2	56,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Symphyla	55,5	0,8	9,3	0,1	8,6	0,0	16,5	0,1	144,9	2,6	91,5	4,1
Diplopoda	112,7	1,6	139,3	1,4	381,4	1,2	537,6	3,4	103,6	1,9	252,5	11,3
Chilopoda	606,4	8,6	148,3	1,5	686,1	2,2	824,8	5,1	488,7	8,8	146,4	6,5
Dermaptera	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	11,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Thysanoptera	0,1	0,0	0,8	0,0	1,6	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Homoptera	5,6	0,1	17,2	0,2	29,2	0,1	5,8	0,0	10,1	0,2	6,3	0,3
Coleoptera Imag.	275,3	3,9	158,6	1,5	116,9	0,4	300,6	1,9	431,3	7,7	191,9	8,9
Coleoptera Larv.	575,9	8,1	403,4	4,0	1053,3	3,4	614,1	3,8	1021,4	18,3	554,3	24,7
Hymenoptera	2,6	0,0	2,6	0,0	70,4	0,2	5,5	0,0	2,2	0,0	5,1	0,2
Lepidoptera Larv.	97,3	1,4	19,7	0,2	7,4	0,0	0,0	0,0	3,5	0,1	0,0	0,0
Diptera Imag.	1,7	0,0	6,0	0,1	6,1	0,0	9,2	0,1	1,7	0,0	1,5	0,1
Diptera Larv.	216,8	3,1	324,8	3,2	559,6	1,8	180,5	1,1	345,4	6,2	175,7	7,8
Makrofauna Summe	7.086	100	10.096	100	30.888	100	16.031	100	5.579	100	2.240	100
Enchytraeidae	1.056		1.478		1.125		1.381		2.567		555	
Acari	3.316	79	1.230	48	1.324	63	1.150	65	1.449	77	1.329	76
Collembola	895	21	1.331	52	794	38	621	35	440	23	433	25
Mesofauna Summe	4.211	100	2.560	100	2.118	100	1.771	100	1.889	100	1.762	100

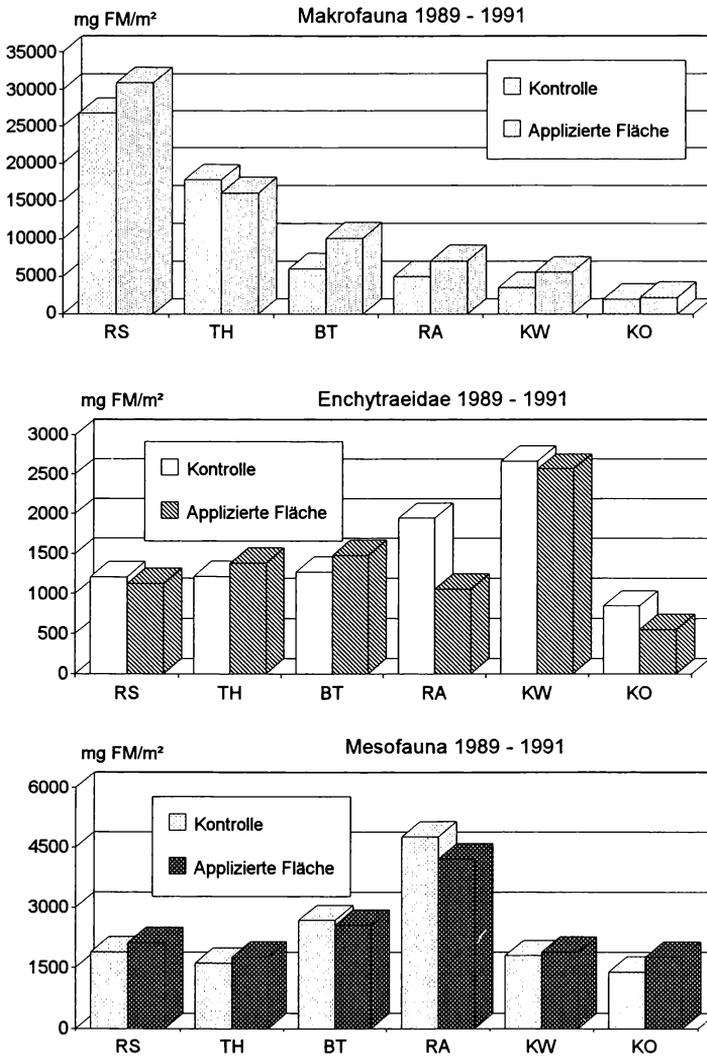


Abb. 1: Biomassen (mg Frischmasse/m²) der Bodenfauna auf den Kontroll- und Applikationsflächen der 6 untersuchten Waldstandorte in Vorarlberg. Aufgetragen sind die aus 4 Entnahmeterrinen (1989-1991) errechneten Mittelwerte. Vergleiche auch Tab. 3 und 4.

Fig. 1: Biomass (mg fresh weight per square meter) of the soil fauna on the untreated and treated sites of deciduous and coniferous woodlands in Vorarlberg. See also Tab. 3 and 4.

Tab. 5: Primärmaterial der Makrofauna aus Barberfallen während der Periode 1990/91. - Verteilung auf die Kontroll (0)- und Applikationsflächen (A). Absolute Fangzahlen (N) und Dominanzprozentage (%).

Tab. 5: Numbers (N) and dominance (%) of animals caught in pitfall traps (4 traps on each site) from the untreated (0) and treated (A) sites of 6 woodland habitats. Sampling period: Aug. 1990 - Oct. 1991.

	Ramsach		Buchheimer Tobel		Rabenstein		Trinahald		Krisberg West		Krisberg Ost		Summe																	
	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A																
Gastropoda	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%																
Lumbricidae	7	0,5	26	2,0	22	1,4	27	0,9	34	2,1	38	1,9	19	1,4	18	1,5	13	0,8	22	1,1	2	0,1	2	0,1	1	0,1	29	0,3	58	0,5
Araanei	318	20,7	338	26,4	350	21,6	289	9,6	274	16,9	347	17,0	304	22,0	336	27,3	347	21,5	359	18,5	400	27,8	430	27,0	1993	21,6	2099	18,9		
Opiliones	121	7,9	96	7,5	55	3,4	112	3,7	99	6,1	79	3,9	56	4,1	31	2,5	148	9,2	163	8,4	160	11,1	162	10,2	639	6,9	643	5,8		
Pseudoscorp.	7	0,5	5	0,4	10	0,6	8	0,3	10	0,6	8	0,4	28	2,0	19	1,5	7	0,4	8	0,4	1	0,1	4	0,3	63	0,7	52	0,5		
Isopoda	5	0,3	16	1,3	37	2,3	311	10,3	71	4,4	98	4,8	18	1,3	8	0,7	-	-	1	0,1	-	-	-	-	131	1,4	434	3,9		
Chilopoda	11	0,7	12	0,9	12	0,7	23	0,8	57	3,5	32	1,6	25	1,8	21	1,7	19	1,2	31	1,6	11	0,8	5	0,3	135	1,5	124	1,1		
Diplopoda	11	0,7	41	3,2	28	1,7	78	2,6	50	3,1	64	3,1	57	4,1	63	5,1	24	1,5	65	3,3	24	1,7	23	1,4	194	2,1	334	3,0		
Coleoptera L.	35	2,3	27	2,1	31	1,9	40	1,3	10	0,6	14	0,7	4	0,3	7	0,6	15	0,9	24	1,2	37	2,6	31	1,9	132	1,4	143	1,3		
Coleoptera I.	260	17,0	186	14,5	562	34,6	383	12,7	591	36,5	548	26,9	624	45,2	470	38,2	740	45,8	863	44,4	433	30,1	497	31,2	3210	34,8	2947	26,6		
Lepidoptera L.	18	1,2	10	0,8	15	0,9	18	0,6	14	0,9	8	0,4	10	0,7	11	0,9	8	0,5	11	0,6	2	0,1	2	0,1	67	0,7	60	0,5		
Lepidoptera I.	-	-	-	-	2	-	-	-	2	0,1	1	0,1	1	0,1	-	-	-	-	1	0,1	-	-	1	0,1	3	0,05	4	0,05		
Hymenoptera I.	106	6,9	48	3,8	21	1,3	37	1,2	31	1,9	98	4,8	31	2,2	52	4,2	51	3,2	104	5,4	37	2,6	49	3,1	277	3,0	388	3,5		
Diptera L.	18	1,2	22	1,7	21	1,3	58	1,9	27	1,7	16	0,8	7	0,5	14	1,1	8	0,5	12	0,6	6	0,4	4	0,3	87	0,9	126	1,1		
Brachycera I.	285	18,6	189	14,8	284	17,5	1218	40,5	171	10,5	330	16,2	62	4,5	76	6,2	99	6,1	148	7,6	161	11,2	192	12,0	1062	11,5	2153	19,4		
Nematocera I.	239	15,6	180	14,1	71	4,4	157	5,2	118	7,3	262	12,8	85	6,2	41	3,3	117	7,2	95	4,9	92	6,4	135	8,5	722	7,8	870	7,8		
Mecoptera I.	2	0,1	-	-	1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,1	3	0,05	1	0,05		
Holomet. L.	5	0,3	-	-	5	0,3	2	0,1	2	0,1	-	-	1	0,1	1	0,1	1	0,1	-	-	-	-	-	-	14	0,2	3	0,05		
Saltatoria	-	-	-	-	2	0,1	-	-	-	-	-	-	1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0,05	1	0,05		
Blattodea	1	0,1	1	0,1	-	-	1	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,1	-	-	-	-	-	-	2	0,05	2	0,05		
Dermaptera	1	0,1	-	-	5	0,3	4	0,1	5	0,3	3	0,1	3	0,2	5	0,4	1	0,1	1	0,1	1	0,1	2	0,1	5	0,3	17	0,2	18	0,2
Homoptera	72	4,7	72	5,6	68	4,2	206	6,8	46	2,8	80	3,9	39	2,8	34	2,8	14	0,9	27	1,4	52	3,6	45	2,8	291	3,2	464	4,2		
Heteroptera	4	0,3	4	0,3	1	0,1	4	0,1	-	-	-	-	-	-	1	0,1	-	0,1	1	0,1	1	0,1	2	-	6	0,1	12	0,1		
Psocoptera	7	0,5	1	0,1	9	0,6	10	0,3	1	0,1	2	0,1	1	0,1	2	0,2	1	0,1	6	0,3	14	1,0	4	0,3	33	0,4	25	0,2		
Thysanoptera	-	-	1	0,1	-	-	-	-	-	-	2	0,1	1	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0,05	2	0,05		
Siphonaptera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,1	-	-	1	0,05		
Summe	1533	100	1279	100	1624	100	3009	100	1621	100	2040	100	1381	100	1230	100	1615	100	1943	100	1437	100	1594	100	9211	100	11095	100		

Tab. 6: Vertikalverteilung der Bodentiere auf den Kontroll (0)- und Applikationsflächen (A) der 6 untersuchten Waldstandorte. Angegeben ist die mittlere (4 Termine, 1989-1991) Verteilung der Individuen (%) auf die Bodentiefen 0 - 7 cm und 8 - 15 cm (Makrofauna und Enchytraeidae) bzw. 0 - 5 cm, 6 - 10 cm und 11 - 15 cm (Milben und Collembolen).

Tab. 6: Vertical distribution of soil animals on the untreated (0) and treated (A) sites in 6 woodland habitats. The mean proportion (%) of animal abundance in 0 - 7 cm and 8 - 15 cm (Macrofauna und Enchytraeidae) or 0 - 5 cm, 6 - 10 cm and 11 - 15 cm (mites und collembolans) litter/soil depth is given. Absolute numbers are given in Tab. 2.

Vertikalverteilung	Ind. (%)	Buchheimer								Kristberg			
		Ramsach		Tobel		Rabenstein		Trinahalda		West		Ost	
		O	A	O	A	O	A	O	A	O	A	O	A
Makrofauna	0-7 cm	90	91	80	80	81	82	73	70	91	86	97	92
	8-15 cm	10	9	20	20	19	18	27	30	9	14	3	8
Mesofauna	0-5 cm	90	92	79	74	58	64	66	69	91	78	94	77
	6-10 cm	6	6	17	20	29	27	22	22	5	18	4	21
	11-15 cm	4	2	4	6	13	9	12	9	4	4	2	2
		Enchytraeidae	64	57	76	68	69	74	62	73	91	68	93
Enchytraeidae	0-7 cm	64	57	76	68	69	74	62	73	91	68	93	57
	8-15 cm	36	43	24	32	31	26	38	27	9	32	7	43

Tab. 7: Artenzahlen determinierter Tiergruppen auf den Kontroll (0)- und Applikationsflächen (A) der 6 untersuchten Waldstandorte nach Ergebnissen aus Barberfallen (1990/91, Aranei, Opiliones, Diplopoda, Carabidae, Curculionidae) und aus Bodenproben (2 Termine 1991, Lumbricidae und Collembola). Die dritte Spalte informiert jeweils über die gesamte Artenzahl nach den Ergebnissen aus allen 5 Untersuchungsjahren.

Tab. 7: Species numbers of the identified groups collected by pitfall traps and soil samples on the untreated (0) and treated (A) sites of 6 woodland habitats in the third year (1991) after the treatment of the stone meal. The third column (S) indicates the total species number at each forest (untreated and treated sites together) resulting from the whole investigation period (1987-1991).

	Ramsach			Buchheimer Tobel			Rabenstein			Trinahalda			Kristberg West			Kristberg Ost		
	O	A	S	O	A	S	O	A	S	O	A	S	O	A	S	O	A	S
Aranei	29	26	50	30	37	55	26	21	49	20	21	40	23	23	41	22	37	54
Opiliones	5	4	5	4	5	7	6	5	7	3	4	7	4	4	5	4	4	7
Diplopoda	8	10	13	9	10	14	12	13	17	11	10	17	4	6	9	6	7	7
Carabidae	16	16	21	17	16	25	10	10	13	8	10	15	13	13	17	12	10	14
Curculionidae	4	2	7	5	5	10	10	6	16	10	6	17	9	9	18	4	4	7
Lumbricidae	3	4	4	4	5	5	7	5	7	8	5	8	1	1	1	2	2	2
Collembola	29	28	39	39	25	52	39	28	46	42	32	49	28	28	43	33	27	40
Summe	94	90	139	108	103	168	110	88	155	102	88	153	82	84	134	83	91	131

4.1 Ramsach

4.1.1 Allgemeine Charakteristik

Bodenfauna: Abundanz: Makrofauna 3.400 Ind./m² (Diptera-L. 31%, Pauropoda 16%, Coleoptera 16%, Homoptera 14%), Enchytraeidae 29.900, Acari 209.100, Collembola 88.700 Ind./m². Biomasse: Makrofauna 4,9 g/m² (Lumbricidae 50%, Chilopoda 14%, Coleoptera 14%), Enchytraeidae 1,9 g/m², Mesofauna 4,8 g/m². Die tierische Gesamtbiomasse (11,7 gFM/m²) ist in diesem von üppigen Moosmatten geprägten Nadelwaldboden relativ gering. Die Mesofauna (Milben, Collembolen) erreicht hier ihre absolut höchsten Massenwerte (41% Anteil an der tierischen Biomasse) und kennzeichnet diesen Waldboden als Mesofauna-Saprophagensystem. Das Tierleben beschränkt sich zu 90% auf die obersten 0 - 7 cm. Nur die an feucht-saure Bedingungen angepaßten Enchytraeidae beleben die Tiefe von 8 - 15 cm. Unter den wenigen Regenwurmart dominieren die säuretolerante *Dendrobaena octaedra*. Die Collembolengemeinschaft (29 spp.) wird dominiert von *Isotomiella minor* (50%) und *Mesaphorura tenuisensillata* (19%). Die vorherrschenden Diptera-Larven sind Sciaridae

(32%) und Cecidomyiidae (30%) Diese Sauerhumus-Bewohner erlangen sonst nur noch am Kristberg eine annähernd so hohe Bedeutung.

Epigäische Fauna: commune Spinnenzönose, dominiert von weitverbreiteten Waldformen. Artenzahl relativ hoch, bedingt durch einige Funde von Elementen der offenen Kulturlandschaft und anderer Straten. Dominanzstruktur (v. a. 87/88) einförmig durch überhohe Präsenz einer Art, *Diplocephalus latifrons*, typisch für feuchte Nadelmischwälder. Carabidae bei geringer Gesamtaktivität ebenfalls artenreich, neben trivialen silvicolen Arten treten auch eurytope Elemente von Feldgehölzen und Auwäldern hinzu. Weberknechte artenarm, die dominanten Arten jedoch in hoher Aktivitätsdichte, Rüsselkäfer nur gering vertreten. Diplopoden weisen bei geringer Artenzahl und Abundanz dennoch eine typische Artengarnitur auf. Die Entwicklung der Gesamt-Fangzahlen zwischen den Untersuchungsjahren ist rückläufig, bei Spinnen besonders durch geringes Frühjahrs-Maximum der Aktivität.

4.1.2 Auswirkung der Gesteinsmehlabplikation

Bodenfauna: Auf die Ausbringung des stark alkalischen (pH = 8,7) Gesteinsmehles reagierten Enchytraeidae negativ. Bei der 1. Kontrolle ein Jahr nach der Applikation betrug die Besiedlungsdichte auf der behandelten Fläche nur mehr ein Drittel. Nach 2 Jahren war der Unterschied nicht mehr so stark, jedoch noch signifikant. Im abschließenden Untersuchungsjahr (1991) ließ der Effekt der Gesteinsmehlabplikation nach, und die Besiedlungsdichten der Enchytraeidae auf den beiden Vergleichsflächen waren wieder ausgeglichen. Eine ähnliche Reaktion zeigten auch Collembola. Allerdings war hier die negative Wirkung des Gesteinsmehles erst im 2. Jahr nach der Applikation am größten. Die Artanalyse zeigt jedoch, daß sich die Gesamtartenzahl und die Dominanzstruktur der vorherrschenden Arten unter der Einwirkung des Gesteinsmehles nicht veränderte. Außerordentlich positiv reagierten Lumbricidae auf die veränderten Bedingungen. Schon 1 Jahr nach der Ausbringung des Gesteinsmehles war die Biomasse der Regenwürmer auf der A-Fläche um ein Vielfaches größer, dieser Trend hielt bis zum Ende der Untersuchungen im Jahr 1991.

Reaktion der Tiergruppen aus Bodenproben auf die Applikation des Gesteinsmehles. - (--) signifikanter (hochsignifikanter) Rückgang bzw. + (++) signifikante (hochsignifikante) Zunahme der Besiedlungsdichte in den Jahren 89 und 90 (Herbst), sowie Frühjahr und Herbst 91.

	H89	H90	F91	H91
Enchytraeidae	--	-	o	o
Coleopt.Larv.	--	o	o	o
Collembola	-	--	o	o
Hymenoptera	o	-	o	o
Dipt. Larv.	o	-	--	o
Aranei	o	o	--	o
Pseudoscorpiones	o	o	-	o
Pauropoda	o	o	--	-
Lumbricidae	+	++	+	o
Acari	o	o	+	o
Homoptera	-	-	+	o
Symphyla	o	o	o	+
Chilopoda	o	o	o	+

Epigäische Makrofauna: Gesamtfangzahl auf der applizierten Fläche geringer (v. a. Coleoptera, Diptera), dort treten allerdings Diplopoda gegenüber der 0-Fläche hervor. Aranei: höchste Übereinstimmung in den Fangzahlen zwischen 0- und A-Fläche unter allen Standorten (N = 231 bzw. 220, S = 29 bzw. 26, H' = je 3,5), keine auffälligen Unterschiede in der Verteilung der Arten. Opiliones: keine erwähnenswerten Unterschiede. Diplopoda: mittlere Besiedlungsdichten ident (11,8 Ind/m²), Aktivitätsdichte auf der applizierten Fläche deutlich höher (49 vs. 15 Ind.), bedingt v. a. durch *Glomeris connexa*. Carabidae: deutlich geringere Aktivitätsdichten auf der applizierten Fläche (107 vs. 164). Bei gleicher Artenzahl (16) betrifft dies v. a. *Pterostichus burmeisteri*, *Leistus nitidus*, *Pt. unctulatus*, während *Abax parallelepipedus* gegenüber der 0-Fläche stärker vertreten ist. Bisherige Befunde über die Auswirkungen von Düngungsmaßnahmen auf die Aktivitätsdichte von Carabiden (u. a. TIMANS 1990) konnten keine direkt darauf zurückzuführende Effekte nachweisen. Curculionidae: Fangzahlen für Interpretationen zu gering.

4.2 Buchheimer Tobel

4.2.1 Allgemeine Charakteristik

Bodenfauna: Abundanz: Makrofauna 3.400 Ind./m² (Diptera-L. 20%, Protura 19%, Coleoptera 13%, Paupoda 11%, Isopoda 9%), Enchytraeidae 11.900, Acari 96.300, Collembola 67.900 Ind./m². Biomasse: Makrofauna 6,0 g/m² (Lumbricidae 69%, Coleoptera 12%, Chilopoda 5%), Enchytraeidae 1,3 g/m², Mesofauna 2,7 g/m². Mit insgesamt 9,9 g FM/m² tierischer Biomasse liegt dieser Laubmischwald in der Nähe der "ärmeren" Nadelwaldböden von Ramsach und vom Kristberg. Innerhalb der Makrofauna dominieren Lumbricidae, der Massenanteil der Mesofauna ist allerdings für einen Laubmischwald sehr hoch (40%). Diese Relationen verleihen dieser Bodentiergemeinschaft eine Mittelstellung zwischen einem für saure Nadelwaldböden typischen Mesofauna-Saprophagensystem und einem für schwachsaure Mischwaldböden typischen Makrofauna-Saprophagensystem. Die Makrofauna (hauptsächlich die Regenwürmer *Allolobophora c. caliginosa* und *Octolasion lacteum*) dringt auch in tiefere Bodenschichten vor. Die Artenzahl (39) der Collembola ist gegenüber Ramsach deutlich erhöht (eudominant: *Isotomiella minor* 31%, *Mesaphorura tenuisensillata* 21%, *M. macrochaeta* 13%). Chironomidae (25%) und Cecidomyiidae (23%) sind die dominierenden Diptera-Larven.

Epigäische Fauna: Spinnen artenreich, neben den trivialen Waldarten (*Coelotes* spp., *Lepthyphantes tenebricola*) finden sich auch Formen mit verschiedener Habitatpräferenz, darunter sehr feuchtigkeitsliebende (z. B. *Walckenaera nudipalpis*, *Robertus neglectus*) Elemente, wie auch Formen der offenen Kulturlandschaft. *Theridion boesenbergi* ist eine außergewöhnlich seltene Art.

Bemerkenswert unter den Opiliones ist *Ischyropsalis hellwigi*, ausgeprägt hygrophil, forstlich intensiv genutzte Wälder meidend. Carabidae wiederum sehr vielfältig, neben den kommunen Waldtieren (*Abax* spp., *Pt. burmeisteri*) treten hier auch *Carabus* spp. und *Molops piceus* in höherem Ausmaß auf. Curculionidae sind nur gering repräsentiert, Diplopoda ebenfalls nur in geringer Aktivitätsdichte, *Glomeris verhoeffi*, ein Streubewohner in Fichten- und Mischwäldern, erreicht allerdings beträchtliche Aktivitätsdichte.

4.2.2 Auswirkungen der Gesteinsmehlapplikation

Bodenfauna: Die Ausbringung des Gesteinsmehles vermochte die Regenwurmbesiedlung zu steigern, wobei die Abundanzunterschiede mit Fortdauer der Einwirkung immer größer wurden: 19 Monate nach der Applikation hat sich die Lumbriciden-Besiedlung auf der behandelten Fläche verdoppelt, nach 24 Monaten mehr als verdreifacht und nach 33 Monaten sogar versechsfacht. Außer bei Regenwürmern waren bei keiner weiteren Tiergruppe Auswirkungen auf die veränderten (Steigerung des pH-Wertes von 3,0 auf 4,4) Bodenbedingungen zu erkennen. Auch Collembola veränderten ihre Artenzusammensetzung nicht.

Reaktionen der Tiergruppen (Erläuterungen s. 4.1.2):

	H89	H90	F91	H91
Aranei	o	o	o	-
Lumbricidae	o	+	++	o
Dipt. Larv.	o	o	+	o

Epigäische Makrofauna: deutlich höhere Fangzahlen von Isopoda (311 Ind. vs. 37 auf der 0-Fläche), Brachycera (1218 vs. 284), Diplopoda (106 vs. 26) wie auch der phytophagen Homoptera (v. a. Aphidina; 206 vs. 68) auf der A-Fläche. Gerade hier hat der Deckungsgrad der Krautschicht (Brombeere) auf der behandelten Fläche (wie in geringerem Ausmaß auch auf der 0-Fläche) stark zugenommen. Feuchteres Mikroklima fördert die Laufaktivität der gegen Austrocknung empfindlichen Bodentiere. Aranei: Fangzahlen sehr ähnlich (195 auf der A-Fläche vs. 214); auf der A-Fläche auf Grund höherer Artenzahl (37 vs. 30) höherer Wert der Diversität (H': 3,9 vs. 3,2). Die Verteilung der Arten ist verschieden. Auf der 0-Fläche dominieren *Lepthyphantes* spp., auf der A-Fläche *Coelotes inermis*. Opiliones: die dominierenden Arten, *Oligolophus tridens* und v. a. *Lophopilio palpinalis*, beide hygrophile Waldtiere, sind auf der A-Fläche in höherer Aktivitätsdichte vorhanden. Dies könnte mit dem höheren Deckungsgrad der Krautschicht korrelieren. Diplopoda: Sowohl Besiedlungsdichte (v. a. *Polydesmus denticulatus*) als auch Aktivitätsdichte (v. a. *Glomeris verhoeffi*) auf der A-Fläche höher. Carabidae: Fangzahlen der applizierten Fläche um fast 50% geringer (248 vs. 473). Auffallend stark betroffen sind dominierende Arten (*Abax ovalis*, *Pterostichus burmeisteri*, *Carabus nemoralis*) sowie der in hohem Maße spezialisierte Schneckenräuber *Cychnus attenuatus*. Curculionidae: Fangzahlen für Interpretationen zu gering. Bei gleicher Artenzahl (5 spp.) weist die 0-Fläche jedoch eine höhere Fangzahl auf (29 vs. 6), ausschließlich bedingt durch *Oiorhynchus scaber*.

4.3 Rabenstein

4.3.1 Allgemeine Charakteristik

Bodenfauna: Abundanz: Makrofauna 3.300 Ind./m² (Homoptera 25%, Isopoda 18%, Diptera-L. 11%, Chilopoda 8%, Coleoptera 7%), Enchytraeidae 9.600, Acari 98.600, Collembola 42.600 Ind./m². Biomasse: Makrofauna 26,8 g/m² (Lumbricidae 90%, Coleoptera 3%, Chilopoda 3%) Enchytraeidae 1,2 g/m², Mesofauna 1,9 g/m². Günstige Temperaturbedingungen und eine geeignete Streuzusammensetzung erlauben hohe Individuenzahlen der Makrosaprophagen (Regenwürmer, Asseln, Doppelfüßer, Haarmückenlarven). Dies ergibt für diesen Laubmischwald auf Kalk den bei weitem höchsten Biomassenwert für die Bodenfauna (29,9 gFM/m²). Die Massenanteile der Bodentiergruppen (Makrofauna 90%, Mesofauna 6%, Enchytraeidae 4%) kennzeichnen diesen Waldboden als typisches Makrosaprophagensystem. Bis zu 20% der Makrofauna lebt in einer Tiefe von 8-15 cm. Das Familienspektrum der Diptera-Larven wird gänzlich von den phytosaprophagen Schnaken- und Haarmückenlarven (zusammen 75% der Diptera-L.-Biomasse) beherrscht. Collembola erreichen mit 39 spp. eine sehr hohe Artenzahl verglichen mit den anderen Wäldern. Einzige eudominante Art ist *Isotomiella minor* (33%).

Epigäische Fauna: commune Wald-Spinnenzönose mit bemerkenswertem thermophilem Einschlag (u. a. *Jacksonella falconeri*, *Apostenus fuscus*, *Centromerus leruthi*), Fangzahlen 90/91 gegenüber 87/88 deutlich geringer. Der wärmebegünstigte Charakter des Standortes zeigt sich auch bei anderen Tiergruppen. Typisch unter den Opiliones sind *Trogulus* spp.. Curculionidae sind erwartungsgemäß (Buchen-Tannenwald mit hoher Laubbaumbeimischung) vielfältig. Carabidae artenarm, jedoch mit einigen stenotopen Elementen (*Molops piceus*, *Abax parallelus*). Diplopoda bei hoher Aktivitätsdichte relativ artenreich, häufigste Art *Tachypodoiulus niger*, eine euryöke Waldart.

4.3.2 Auswirkungen der Gesteinsmehlapplikation

Bodenfauna: Auf die Applikation reagierten zunächst nur die Regenwürmer mit einer Erhöhung ihrer Besiedlungsdichte und Biomasse, in den Folgejahren ließ dieser Effekt aber rasch nach. Im letzten Untersuchungsjahr fällt aber auf, daß Symphyla, Pauropoda und Protura (drei Kleinstlücken bewohnende Tiergruppen) ihre Besiedlungsdichten auf den A-Flächen signifikant steigerten. Möglicherweise steht die Abundanzsteigerung dieser mikrotrophen Gruppen mit der Zunahme an mikrobieller Biomasse (SCHINNER & al. 1992) in Zusammenhang. Auch die auf der A-Fläche von Jahr zu Jahr zunehmende Besiedlungsdichte der ebenfalls mikrotrophen Collembola weist auf einen Zusammenhang mit der gesteigerten mikrobiellen Aktivität hin. Die Artenzusammensetzung scheint davon nicht betroffen zu sein.

Reaktion der Tiergruppen (Erläuterungen s. 4.1.2):

	H89	H90	F91	H91
Pseudoscorpiones	o	-	o	o
Chilopoda	o	-	o	o
Diplopoda	o	o	-	o
Lumbricidae	-	++	o	o
Symphyla	o	+	++	+
Pauropoda	o	o	++	++
Protura	o	o	+	o
Homoptera	o	o	+	o
Hymenoptera	o	o	++	+

Epigäische Makrofauna: ähnlich wie im Buchheimer Tobel, wenn auch geringer ausgeprägte Tendenz zu Zunahme von Isopoda, Brachycera, Homoptera auf der A-Fläche. Aranei: Auf der A-Fläche höhere Fangzahl (234 vs. 189), geringere Artenzahl (21 vs. 26), Wert der Diversität fast gleich. Unterschiede in der Verteilung der Arten betreffen *Coelotes* spp., *inermis* tritt überwiegend in der A-Fläche, *terrestris* in der 0-Fläche auf. Ähnliche Verhältnisse finden sich auch bei *Lepthyphantes* spp.: *L. tenebricola* überwiegend in 0, 102 *L. cristatus* in A. *Centromerus sylvaticus* tritt nur auf der A-Fläche auf, diese Form ist auch in Möggers jeweils im behandelten Bereich stärker präsent. Diplopoda: mittlere Besiedlungsdichte auf der 0-Fläche höher. Kein Unterschied in den Aktivitätsdichten. Opiliones: Sowohl die mesöken *Trogulus* spp. als auch die hygrophile Waldform 11 *Lophopilio palpinalis* wurden überwiegend auf der 0-Fläche gefangen. Unterschiede in der Gesamtfangzahl dementsprechend deutlich (70 vs. 33). Carabidae: Fangzahlen nur wenig unterschiedlich (499 vs. 468), Artenzahl gleich (10). Interessant ist jedoch die Verteilung der beiden kleineren *Abax* -Arten. *A. ovalis* weist auf der 0-Fläche, *A. parallelus* auf der A-Fläche hohe Aktivitätsdichte auf. Aufgrund ihrer ähnlichen Lebensweise und Körpergröße könnten die beiden Formen in einem besonderen Konkurrenzverhältnis stehen (MÜLLER 1985, 1986).

Curculionidae: auf beiden Flächen dominieren *Barynotus moerens* und *Otiorynchus scaber*. Beide Arten sind auf der O-Fläche in höherer Aktivitätsdichte vorhanden. Eine größere Artenzahl verstärkt noch den Unterschied zur A-Fläche. Trotz der scheinbar großen Verschiedenheit ergab eine t-Test-Überprüfung der Diversitätsindices keine Signifikanz.

4.4 Trinahalda

4.4.1 Allgemeine Charakteristik

Bodenfauna: Abundanz: Makrofauna 2.800 Ind./m² (Diptera-L. 16%, Symphyla 12%, Isopoda 11%, Protura 11%, Chilopoda 10%, Coleoptera 8%), Enchytraeidae 9.600, Acari 95.700, Collembola 49.900 Ind./m². Biomasse: Makrofauna 17,8 g/m² (Lumbricidae 85%, Chilopoda 4%, Coleoptera 3%, Diplopoda 3%), Enchytraeidae 1,2 g/m², Mesofauna 1,6 g/m². Die tierische Gesamtbiomasse (20,6 g/m²) ist aufgrund der geringeren Regenwurmmasse kleiner als in Rabenstein. Dagegen ist die Biomasse von Isopoda, Diplopoda und innerhalb der Diptera-Larven von Bibionidae besonders hoch. Die Biomassen-Relationen zwischen Makro- und Mesofauna sowie Enchytraeidae liegen bei 86%, 8% und 6%. Diese Tatsache kennzeichnet diesen Standort als Lumbriciden-Arthropoden-Mull. Ein hoher Anteil (27%) der Fauna lebt in 8-15 cm Bodentiefe. Die Artenreichtum ist bei Collembola besonders groß (42 spp., eudominante Arten: *Isotomiella minor* (35%) und *Isotoma notabilis* (12%).

Epigäische Fauna: Bedingt durch die lückige Bodenvegetation ist die Spinnenzönose artenarm jedoch mit komplexer Familienzusammensetzung, typisch ist das Auftreten von charakteristischen Elementen von Buchenmischwäldern (u. a. *Saloca diceros*, Kleinspinnen sonst allerdings nur gering repräsentiert, *Histopona torpida*); 90/91 gegenüber 87/88 gleichläufige Abnahme aller dominanter Arten. Carabidae ebenfalls einförmig, hier die niederste Diversität aller Standorte. Curculionidae trotz geringer Aktivitätsdichte sehr vielfältig, bemerkenswert das Auftreten von *Otiorynchus rugifrons*, heliophil, selten. Für Diplopoda zeigt sich hier die höchste Aktivitätsdichte aller Standorte, Artengemeinschaft typisch für Buchenmischwälder.

4.4.2 Auswirkungen der Gesteinsmehlapplikation

Bodenfauna: Trinahalda ist der einzige Standort, an dem die Ausbringung des Gesteinsmehles insgesamt einen Rückgang der Gesamtzoomasse bewirkte. Betroffen sind in erster Linie Regenwürmer und auch Diptera-Larven. Andere Gruppen wie Symphyla, Paupoda, Chilopoda, Coleoptera-Larven zeigten in den einzelnen Jahren fallweise auch positive Reaktionen auf die Gesteinsmehlapplikation. Auffallend sind die übereinstimmenden Dominanzstrukturen der Collembola auf den Vergleichsflächen, Gesamtartenzahl und Diversität sind nahezu ident.

Reaktion der Tiergruppen (Erläuterungen s. 4.1.2):

	H89	H90	F91	H91
Diptera Larv.	-	o	--	o
Homoptera	o	-	o	o
Acari	o	++	o	-
Paupoda	++	o	o	o
Coleoptera Imag.	+	+	o	o
Chilopoda	++	o	++	o
Coleoptera l.	+	o	++	o
Coleoptera L.	o	o	+	o
Isopoda	o	o	+	o
Pseudoscorpiones	o	o	+	o
Symphyla	o	o	+	o

Epigäische Makrofauna: Höhere Aktivität auf der O-Fläche, bedingt v. a. durch Coleoptera. Aranei: Hohe Übereinstimmung zwischen O- und A-Fläche bezüglich Artenspektrum, Diversität. Die Fangzahlen sind auf der A-Fläche höher (249 cs. 196). Die Verteilung der *Coelotes* spp. zeigt jedoch eine, auch an den anderen Standorten auftretende Besonderheit. Die beiden syntopischen und synchronen Arten sind zwischen den Substandorten gegenläufig verteilt. In Trinahalda ist *terrestris* auf der A-Fläche stärker präsent, *inermis* auf der O-Fläche. Möglicherweise also ein Fall biologischer Isolation und damit nicht auf Eingriffe in das Habitat zurückzuführen. Opiliones: Fangzahlen für Vergleiche zu gering. Diplopoda: Besiedlungsdichte nur wenig unterschiedlich (auf der O-Fläche höhere Abundanzen juveniler Glomerida), epigäische Aktivität (v. a. *Glomeris* spp.) auf der A-Fläche stärker. Carabidae: Fangzahlen wie an allen Standorten in Möggers und Nenzing auf der unbehandelten Flä-

che höher (571 vs. 458), Artenzahl wenig verschieden. Die beiden überdominanten Arten des Standortes *Abax parallelepipedus* (überwiegend an der O-Fläche, wie auch *Carabus* spp.) und *Pterostichus burmeisteri* (v. a. in A) verhalten sich entgegengesetzt. Curculionidae: Fangzahlen für Interpretationen zu gering.

4.5 Kristberg West

4.5.1 Allgemeine Charakteristik

Bodenfauna: Abundanz: Makrofauna 3.900 Ind./m² (Coleoptera 24%, Homoptera 22%, Diptera-L. 19%, Proctura 12%), Enchytraeidae 14.600, Acari 313.700, Collembola 94.200 Ind./m². Biomasse: Makrofauna 3,5 g/m² (Coleoptera 43%, Lumbricidae 23%, Chilopoda 13%, Diplopoda 9%), Enchytraeidae 2,7 g/m², Mesofauna 1,8 g/m². In diesem subalpinen Fichtenwald sind die bodenzologischen Verhältnisse erwartungsgemäß gänzlich verschieden von den Wäldern der Tallagen. Die Besiedlungsdichten der Kleinformen unter den Bodentieren (Milben und Collembolen) erreichen hier den höchsten Wert (408.000 Ind./m²). Ihr Anteil an der Gesamtbiomasse der Bodenfauna ist ebenfalls sehr hoch (18%). Noch höher ist der Anteil der Enchytraeidae (26%). Die Bodenfauna ist zu 92% (Makrofauna) bzw. 94% (Mesofauna) in den obersten 0 - 7 cm der Rohhumusauflage konzentriert. Unter den 28 Collembolen-spp. dominieren Nadelwald-Ubiquisten (*Folsomia quadrioculata* 22%, *Isotomiella minor* 15% und *Pseudanurophorus binoculatus* 11%). Vorherrschende Diptera-L. sind Cecidomyiidae (42%) und Sciaridae (31%).

Epigäische Fauna: commune Waldspinnen-Zönose, subalpine und alpine Elemente gegenüber Kristberg Ost geringer vertreten. Es dominieren weitverbreitete, bis zur Waldgrenze präsente Elemente (v. a. *Lepthyphantes tenebricola*). Kein Unterschied in den Gesamtfangzahlen der Spinnen zwischen den Jahren. Unter den Opiliones tritt die Charakterart der subalpinen Stufe *Mitopus morio* hervor (90/91 nur sehr gering vorhanden). Unter den Diplopoda (Gesamtabundanz gering) finden sich v. a. Julida (*Leptoilulus simplex*, typisch für diese Höhenstufe). *Polydesmus complanatus* scheint neu für Vorarlberg zu sein. Unter den Carabidae dominieren schon Elemente der oberen Waldregion und der Latschenzone (*Pterostichus multipunctatus*, *Pt. jurinei*), bemerkenswert das gemeinsame Auftreten von 3 *Cychnus*-Arten (spezialisierte Schneckenfresser). Curculionidae weisen hier die höchste Arten- und Aktivitätsdichte der gesamten Untersuchung auf, eudominant ist wie auch an den meisten anderen Standorten *Otiorhynchus scaber*, ansonsten eine typisch subalpine Nadelwald-Zönose.

4.5.2 Auswirkungen der Gesteinsmehlapplikation

Bodenfauna: Milben, Collembolen, Käfer und Diptera-Larven sind die zahlenmäßig vorherrschenden Tiergruppen im sauren Rohhumusprofil dieses subalpinen Fichtenwaldes. Keine dieser kennzeichnenden Gruppen zeigte eine signifikante gleichlaufende Reaktion auf die Ausbringung des Gesteinsmehles. Nur die einzig vertretene Regenwurmart *Dendrobaena octaedra* profitierte offensichtlich von der Ausbringung des Gesteinsmehles und vervielfachte ihre Besiedlungsdichte.

Reaktion der Tiergruppen (Erläuterungen s. 4.1.2):

	H89	H90	F91	H91
Homoptera	--	o	-	o
Coleoptera Imag.	-	o	o	++
Lumbricidae	o	++	o	++
Acari	o	++	o	o
Collembola	o	+	o	o
Chilopoda	o	o	+	o
Diptera Larv.	o	o	o	+
Symphyla	o	o	o	+

Epigäische Makrofauna: Auf der A-Fläche finden sich verstärkt Diplopoda und Coleoptera, dadurch auch eine höhere Gesamtfangzahl. Aranei: 0- und A-Fläche sehr übereinstimmend in Artenzahl (je 23), Fangzahl (246 in 0, 260 in A), Diversität (H' je 3,3). Die Verteilung der Arten ist nur wenig verschieden. *Lepthyphantes tenebricola* und *Cryphoeca silvicola* überwiegen auf der A-Fläche, *Centromerus pabulator*, *Cybaeus tetricus* im nichtapplizierten Bereich. *Coelotes terrestris* verhält sich indifferent. Opiliones: keine Unterschiede zwischen 0- und A-Fläche. Diplopoda: Besiedlungsdichte allgemein gering, Aktivitätsdichten auf der A-Fläche deutlich höher (*Glomeris transalpina*, *Leptoilulus simplex*). Carabidae: Hohe Übereinstimmung zwischen den Teilflächen. Bei gleicher Artenzahl (13) und ähnlichen Dominanzverhältnissen fällt allerdings die höhere Präsenz von *Pterostichus multipunctatus* auf der A-Fläche, eine höherer Gesamtfangzahl hervorruhend, auf. Curculionidae: Gleiche Arten- und ähnliche Individuenzahl, jedoch markant differente Dominanzverhältnisse. Auf der A-Fläche dominiert *Otiorhynchus scaber* mit 83%, während auf der Vergleichsfläche neben *O. scaber* (67%) weitere 4

Arten dominant auftreten (*O. varius*, *O. pauxillus*, *O. squamosus* und *O. subdentatus*). Die beiden letztgenannten sind fast ausschließlich auf dieser Fläche aktiv. Einzelfänge bewirken geringfügige Unterschiede im Artenspektrum.

4.6 Kristberg Ost

4.6.1 Allgemeine Charakteristik

Bodenfauna: Abundanz: Makrofauna 3.400 Ind./m² (Homoptera 33%, Diptera-L. 27%, Protura 16%, Coleoptera 11%), Enchytraeidae 10.500, Acari 196.300, Collembola 54.700 Ind./m². Biomasse: Makrofauna 1,9 g/m² (Coleoptera 37%, Gastropoda 20%, Diplopoda 12%, Chilopoda 9%), Enchytraeidae 0,8 g/m², Mesofauna 1,4 g/m². Die durchschnittliche Gesamtbio­masse (4,2 gFM/m²) zeigt den geringsten Wert unter allen untersuchten Waldstandorten. In diesem von hydromorphen Verhältnissen gekennzeichneten Fichtenwald sind die Massenanteile von Enchytraeiden (19%) und der Mesofauna (33%) hoch. Das Bodentierleben konzentriert sich in extremer Form (97% der Makrofauna, 94% der Mesofauna) auf die oberen 0-7cm des Rohhumushorizontes. Die Artenzahl der Collembola (33 spp.) ist größer als auf der nahegelegenen Fläche Kristberg West. Eudominante Arten sind *Folsomia quadrioculata* 34% und *Isotomiella minor* 11%. Mehr als die Hälfte (57%) der Diptera-Larven in diesem staunassen und anmoorigen Boden sind Chironomidae.

Epigäische Fauna: artenreiche, subalpine Spinnenzönose, mit einem gegenüber Kristberg West alpinem Charakter. Hohe Aktivitätsdichten weisen v. a. subalpine Elemente der Linyphiinae auf (*Centromerus pabulator*, *Lepthyphantes jacksonoides*). In geringen Fangzahlen sind einige interessante Arten auch aus anderen Familien vorhanden (u. a. Gnaphosidae: *Gnaphosa badia*, Charakterart der hochalpinen Grasheide; Salticidae: *Sitticus saxicola*, eine Form sonniger Waldränder in höheren Lagen; Lycosidae: *Arctosa renidens*, in den Zentralalpen nur lokal). Gesamtfangzahl 90/91 deutlich geringer (langandauernde Schneelage). Unter den Opiliones fällt neben hohen Abundanz der subalpinen Leitform *Mitopus morio* (v. a. 87/88) noch der Fund von *Ischyropsalis carli*, einem Endemiten der westlichen Zentralalpen, der bevorzugt an sehr feuchten Stellen lebt, auf. Die gegenläufige Abundanz von Julida und Chordeumida unter den Diplopoda dokumentiert den gegenüber Kristberg West feuchteren Charakter des Standortes. Während in KW *Leptoilulus simplex* deutlich höhere Besiedlungs- und Aktivitätsdichte aufweist, liegen seine Abundanz hier unter jenen von *Haasea flavescens* und *Ochogona caroli*. Carabidae (wie auch Curculionidae) artenarm, jedoch mit typischen (sub)alpinen Elementen (u. a. *Nebria castanea*, *Leistus nitidus*).

4.6.2 Auswirkung der Gesteinsmehlabplikation

Bodenfauna: In Kristberg Ost erlauben die Umstände (stark saurer pH, anmoorige Bedingungen) eine nur eingeschränkte zoologische Aktivität. Enchytraeidae, Diptera-Larven sowie Milben und Collembolen sind die wichtigsten Akteure. Daneben fällt die enorm hohe Zahl von Pflanzensaugern auf. Eben diese waren von der Applikation des Gesteinsmehles am meisten betroffen: In den drei Jahren nach der Ausbringung war die Besiedlungsdichte auf der A-Fläche jeweils erheblich kleiner als auf der 0-Fläche. Unter den Bodentieren reagierten wie schon in Ramsach die Enchytraeidae ebenfalls negativ auf das Gesteinsmehl. Milben und Collembolen dagegen wurden durch die veränderten Bedingungen (Zunahme des Bestandesabfalls durch abgestorbene Sphagnen und Heidelbeeren) auf der A-Fläche begünstigt. Die Artenzusammensetzung bei Collembola blieb allerdings unverändert.

Reaktion der Tiergruppen (Erläuterungen s. 4.1.2):

	H89	H90	F91	H91
Hymenoptera	--	o	o	o
Aranei	-	--	o	o
Homoptera	--	--	o	--
Protura	o	o	o	--
Enchytraeidae	-	o	+	-
Chilopoda	o	o	++	o
Collembola	o	o	+	+

Epigäische Makrofauna allgemein: höhere Aktivitätsdichte von Diptera, Coleoptera bewirken eine leicht höhere Gesamtfangzahl auf der A-Fläche. Aranei: Relativ größter Unterschied von allen untersuchten Standorten. Auf der A-Fläche wurden 37 Arten nachgewiesen (nur 22 auf der 0-Fläche). *Alopecosa taeniata* und *Hahnia difficilis* sind hier deutlich stärker vertreten, von der A-Fläche stammen auch die meisten Neufunde (*Sitticus saxicola*, *Alopecosa pulverulenta*, *Arctosa renidens*, *Hahnia difficilis*). Die veränderten Bewuchsverhält-

nisse (Abnahme der Vaccinien) dürften die Lebensbedingungen an der Bodenoberfläche beeinflussen. Durch die nun vielfältigeren kleinklimatischen Verhältnisse können auch Arten mit verschiedener Habitatpräferenz den Standort besiedeln. Die Formen der geschlossenen Bestände (*Coelotes terrestris*, *Robertus truncorum*) finden sich überwiegend in der 0-Fläche. Opiliones: Gesamtfangzahl fast gleich, es fällt jedoch auf, daß eine Art, 14 *Platybunus pinetorum* nur im applizierten Bereich (N = 7) präsent ist. Diplopoda: große Übereinstimmung in Besiedlungs- und Aktivitätsdichte zwischen den Teilflächen. Carabidae: Hohe Übereinstimmung zwischen den Teilflächen. *Pterostichus jurinei* und *Pt. multipunctatus* erreichen jedoch auf der applizierten Fläche etwas höhere Aktivitätsdichten, was sich auch in einer höheren Gesamtfangzahl auswirkt. *Calathus micropterus*, wie *Pt. jurinei* 90/91 gegenüber 87/88 deutlich geringer vertreten, ist gleich verteilt. Curculionidae: Fangzahl für Interpretationen zu gering.

Literatur

- AMT DER VLBG. LANDESREGIERUNG, (Hrsg.), 1989: Lebensraum Vorarlberg, Bd. 3 Waldforschung in Vorarlberg. - Bregenz: 151-182.
- BECK, L., 1989: Lebensraum Buchenwaldboden. - 1. Bodenfauna und Streuabbau - eine Übersicht. - Verh. Ges. Ökol. 17: 47-54.
- DUNGER, W., 1982: Die Tiere des Bodens als Leitformen für anthropogene Umweltveränderungen. - Decheniana (Beihefte) 26: 151-157.
- DUNGER, W. & H.J. FIEDLER (Hrsg.) 1989: Methoden der Bodenbiologie. - Fischer, Jena: 432 S.
- FUNKE, W., 1986: Tiergesellschaften im Ökosystem "Fichtenforst" (Protozoa, Metazoa -Invertebrata) - Indikatoren von Veränderungen in Waldökosystemen. - Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK), Projekt Europäisches Forschungszentrum zur Maßnahmen der Luftreinhaltung (PEF) 9: 150 S.
- FUNKE, W., 1991: Tiergesellschaften in Wäldern - Ihre Eignung als Indikatoren für den Zustand von Ökosystemen. - KfK-PEF 84: 202 S.
- GHILAROV, M. S., 1978: Bodenwirbellose als Indikatoren des Bodenhaushaltes und von bodenbildenden Prozessen. - Pedobiologia 18: 300-309.
- GLATZEL, G., (Hrsg.), 1987: Möglichkeiten und Grenzen der Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme. - Österr. Ges. Waldökosystemforschung und Experimentelle Baumforschung, Wien: 179 S.
- HUHTA, V., HYVÖNEN, R., KAASALAINEN, P., KOSKENNIEMI, A., MAUNA, J., MÄKELÄ, I., SULANDER, M. & P. VILKAMAA, 1986: Soil fauna of Finnish coniferous forests. - Ann. Zool. Fennici 23: 345-360.
- MEYER, E., 1992: Projekt "Waldökosystemforschung - Waldbodensanierung", Endbericht, Teilbereich: Bodenzologie. 129 Seiten. - Inst. f. Zoologie, Univ. Innsbruck.
- MÜLLER, J.K., 1985: Konkurrenzvermeidung und Einnischung bei Carabiden (Coleoptera). - Z. zool. Syst. Evolut.-forsch. 23: 299-314.
- MÜLLER, J.K., 1986: Anpassungen zur intraspezifischen Konkurrenzvermeidung bei Carabiden (Coleoptera). - Zool. Jb. Syst. 113: 343-352.
- REHFUESS, K.E., 1990: Waldböden - Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. - Pareys Studentexte, 29: 294 S.
- SCHAEFER, M., 1989: Die Bodentiere eines Kalkbuchenwaldes: ein Ökosystemforschungsprojekt. - Verh. Ges. Ökol. 17: 203-212.
- SCHAEFER, M., 1991: 14. Fauna of the European temperate deciduous forests. - In: RÖHRIG, E. & B. ULRICH, (eds.): Ecosystems of the World 7, Temperate deciduous forests: 503-525. - Elsevier, Amsterdam ... Tokyo.
- SCHINNER, F., MERSI, W. von & R. KUHNERT-FINKERNAGL, 1992: Bodenmikro-biologische Untersuchungen im Rahmen des Projektes "Waldökosystemforschung-Waldbodensanierung". - Endbericht 1987 bis 1991. - Bd. 1 Bodenmikrobiologie, Bodenenzymatik. 44 S. + Anhang Tabellen. - Inst. f. Mikrobiologie, Innsbruck.
- TIMANS, U., 1990: Zur Wirkung von zwei Düngern auf die Bodenfauna eines Fichtenwaldes. - J. Appl. Ent. 109: 347-357.
- WEIDEMANN, G. & J. SCHAUERMANN, 1986: Die Tierwelt, ihre Nahrungsbeziehungen und ihre Rolle. - In: ELLENBERG, H., MAYER, R. & J. SCHAUERMANN, (Hrsg.): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Solling-Projektes. - Ulmer, Stuttgart: 179-266.

Dank

Für technische Assistenz bei der Bearbeitung der Bodenproben im Labor, bei der Sortierarbeit und bei der Erstellung der Tabellen und Abbildungen danken wir Frau Regina Medgyesy. Für die EDV-mäßige und statistische Verarbeitung des umfangreichen Datenmaterials danken wir Dr. Arnulf Lochs (EDV-Zentrum, Universität Innsbruck), für die Durchsicht des Manuskriptes Frau Dr. Sieglinde Meyer.

Adresse

Univ. Doz. Dr. Erwin Meyer, Dr. K. H. Steinberger, Institut für Zoologie, Technikerstr. 25, A - 6020 Innsbruck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [23_1994](#)

Autor(en)/Author(s): Meyer Erwin, Steinberger Karl-Heinz

Artikel/Article: [Über die Bodenfauna in Wäldern Vorarlbergs \(Österreich\)
Bestand und Auswirkungen von Gesteinsmehlapplikationen 149-164](#)