

Vergleich der Schwermetallbelastung von Haldentieren, Pflanzenproben und Bodengehalten alpiner Bergbaustandorte

Wolfgang PUNZ, Wolfgang RABITSCH & Susanne GINTENREITER

Verschiedene Arthropoden (vorwiegend Ameisen und Spinnen) von 26 ostalpinen Schwermetallstandorten wurden aufgesammelt, ihr Schwermetallgehalt (Cd, Pb, Cu, Zn) bestimmt und mit vorhandenen Boden- und Pflanzen-Schwermetallgehalten verglichen. Die gemessenen Konzentrationen (Maximalwerte bei 100 ppm für Cd und Cu, über 1.000 ppm für Pb und Zn) sind hoch, liegen jedoch in der Größenordnung vergleichbarer Untersuchungen in der Literatur. Die chronische Belastungssituation ostalpiner Bergbaustandorte bietet interessante Fragestellungen für weitere Untersuchungen zur Ökophysiologie von Schwermetallen bei Haldenpflanzen und -tieren.

PUNZ W., RABITSCH W. & GINTENREITER S., 2004: Heavy metal load of animals, plants and soils at alpine mining sites.

Animals (ants, spiders) from 26 heavy-metal-contaminated sites in the Eastern Alps were collected and their metal load (Cd, Pb, Cu, Zn) compared with available data of plants and soils. Metal concentrations (maximum 100 ppm for Cd and Cu, more than 1.000 ppm for Pb and Zn) are high but within the same order of magnitude of literature data. The chronic metal contamination at alpine mining sites offers unique opportunities to further investigate metal ecophysiology of resident plant and animal species.

Keywords: heavy metals, metallophytes, ants, spiders, Eastern Alps.

Einleitung

„Österreich ist reich an armen Lagerstätten.“ Diese mineralogische Binsenweisheit impliziert, dass im Ostalpenraum neben wenigen „mittelgroßen“ Abbauen eine Vielzahl kleiner und kleinster Schürfe existiert, welche in die Tausende gehen und im Rahmen der Tätigkeit der Geologischen Bundesanstalt in Form eines Haldenkatasters aufgenommen werden (SCHEDL, mündl. Mitt.). Dementsprechend sind auch die Pflanzenvorkommen auf derartigen Halden nur unzureichend erforscht; in den letzten Jahren wurden im Rahmen von Sammelexkursionen einige dieser Standorte beprobt.

Flächendeckende Angaben zu Schwermetallgehalten ausgewählter Tiergruppen sind im Ostalpenraum praktisch nicht vorhanden; allenfalls liegen episodische Angaben (meist im Bereich bedeutender anthropogener Emittenten) vor. Im Rahmen der vorgenannten Beprobungen wurde die Möglichkeit genutzt, auch zoologisches Material aufzusammeln, zu bestimmen und auf Schwermetalle zu analysieren. Insgesamt liegen nunmehr die Bestimmungs- und Messergebnisse von 26 Lokalitäten (338 Proben) vor.

Methodik

Die einzelnen Lokalitäten wurden auf Grund von Literaturhinweisen ausgewählt und im Rahmen von Sammelexkursionen zwischen 1987 und 1995 aufgesucht. Die Methodik zu Aufsammlung, Aufarbeitung und Analyse von Boden- und Pflanzenproben findet sich in der bei jedem Standort angegebenen Literatur und wird hier nicht wiederholt. Die vorliegenden zoologischen Proben, die Haldentiere, wurden nach der Aufsammlung in Essigäther abgetötet und bestimmt; anschließend erfolgte an den ungereinigten Pro-

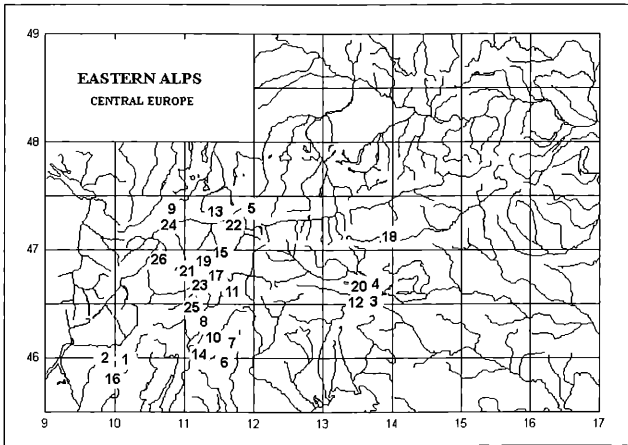


Abb. 1: Übersicht über die Lage der beprobten Schwermetallstandorte. Standortnamen (entsprechend den Nummern) und weitere Angaben im Text. – Sampled heavy metal contaminated sites in the Eastern Alps. Numbers correspond with data for each locality; for details see text.

ben der Aufschluss (konz. Salpetersäure p. a.) und die Schwermetallbestimmung mittels Graphitrohr-AAS (Varian Spectra AA30 mit GTA96).

Standortsübersicht und Standortcharakteristik (inklusive Angaben zu Boden- und Pflanzenschwermetallgehalten)

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Lage der 26 beprobten Lokalitäten (vgl. PUNZ 1999). Nachfolgend ist eine Kurzcharakteristik dieser Sammelpunkte wiedergegeben, welche folgendem Schema folgt:

Nummer (entsprechend der Karte in Abb. 1)

Lokalität (geographische Koordinaten in Grad und Minuten lat N × long E; Seehöhe)
Charakteristik

Bodenschwermetallgehalte (BO): In der Regel lagen von den untersuchten Standorten keine systematischen Erhebungen der Bodenschwermetallgehalte vor. Um zumindest ansatzweise einen Vergleich zwischen den Lokalitäten hinsichtlich ihrer Belastung zu ermöglichen, wurde der jeweils maximale in den Bodenproben gemessene Wert für die Schwermetalle Cd, Pb, Cu und Zn (gerundet auf ganze ppm) angegeben. Bei den eigenen Messungen ist zusätzlich die Anzahl (n) der insgesamt vorhandenen Analysen angegeben.

Pflanzenschwermetallgehalte (PFL): Angegeben sind die am jeweiligen Standort gemessenen Maximalwerte oberirdischer Pflanzenteile (gerundet auf ganze ppm), wobei Angaben von Akkumulatorpflanzen (vgl. PUNZ 2001) gesondert angeführt und mit einem * versehen sind. Vgl. die Ausführungen zum Bodenschwermetallgehalt.

Literaturangaben

1. Alpe Grem (4553x0950; I 1.250 m, II 1.120 m) Bergbauhalden unterschiedlicher Höhenlage, kalkalpine Blei-Zinkvererzungen in den Bergamasker Alpen (Lombardei/I). BO keine Angaben PFL (n=1) Cd 1 Pb 6 Cu 9 Zn 264. (ERNST 1965, 1974, GINTENREITER 1990b)

- 2. Arera** (4555x0948; II 1750 m, III 1450 m, IV 1190 m) Bergbauhalden unterschiedlicher Höhenlage, kalkalpine Blei-Zinkvererzungen in den Bergamasker Alpen (Lombardei/I). BO Zn bis 16300 PFL (n=5) Cd 11 Pb 10 Cu 17 Zn 1076 (eigene Messungen). Angaben bei ERNST (1965): Zn1571–4490 (12400 bei Akkumulatorpflanzen). (ERNST 1965, 1974, PUNZ 1990, GINTENREITER 1990b)
- 3. Arnoldstein** (4633x1341; 550 m) Schwermetallhaltige Flussschotter der Gailitz/Schlizza aus den mesozoischen Blei-Zinkvererzungen von Raibl. BO keine Angaben PFL (n=4) Cd 4(*19) Pb 150(*350) Zn 2260(*7176). (ERNST 1965, 1974, PUNZ 1988, VOGEL 1988a)
- 4. Bleiberg** (4637x1340; 1.100 m) Bergbauhalden des Bleiberger Erzbergs/Südhang (triadische Blei-Zinklagerstätte). BO Pb 12000 Zn 70000 PFL Cd 12 Pb 814 Zn 5798. (ERNST 1965, 1974, PUNZ 1990, VOGEL 1988a)
- 5. Brixlegg-St. Gertraudi** (4725x1151; 570 m) Halde des Bergbaus auf Fahlerze im Schwazer Dolomit. Keine weiteren Angaben. (PUNZ & WIESHOFFER 1989)
- 6. Cinque valli** (4603x1121; 1.530 m) Bergbauhalde aus Blei-Zink-Erzgängen im Quarzphyllit (Trento/I). BO keine Angaben PFL (n=3) Cd 1 Pb 51 Cu 60 Zn 1432. (PUNZ & WIESHOFFER 1989)
- 7. Deutschnofen** (4624x1128; 1.300 m) Bergbauhalden silberhaltiger Blei-Zinkerze (Südtirol/I) BO (n=4) Cd 13 Pb 23079 Cu 382 Zn 7707 PFL (n=4) Cd 8 Pb 1100 Cu 26 Zn 1924. (PUNZ et al. 1994)
- 8. Faedo** (4611x1110; 850 m) Tagbaue auf Blei-Zink-Mineralisationen im Quarzporphyr (Trento/I) BO keine Angaben PFL (n=3) Cd 1 Pb 72 Zn 82. (PUNZ 1988, VOGEL 1988a, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 9. Gafleintal** (4719x1048; 1.150 m) Bergbauhalden von Blei-Zink-Mineralisationen im Wettersteinkalk der Inntaldecke BO keine Angaben PFL (n=4) Cd 3 Pb 360 Zn 293. (PUNZ 1988, VOGEL 1988a, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 10. Hermdelehof** (4607x1123; 1.700 m) Bergbauhalde (Silber/Kupfer-Erzgänge im Bozner Quarzporphyr; Trento/I) BO keine Angaben PFL (n=2) Cd 1 Pb 5 Cu 16 Zn 157. (PUNZ & WIESHOFFER 1989)
- 11. Klausen-Pfundererberg** (4639x1133; 1.020 m) Bergbauhalden (hydrothermale Erzgänge im Diorit). Klassischer Kupferflechtenstandort in Südtirol/I BO (n=3) Cd 2 Pb 8270 Cu 555 Zn 167 PFL (n=3) Cd 1 Pb 124 Cu 12 Zn 69. (PUNZ & WIESHOFFER 1989)
- 12. Kreuzen** (4641x1335; 1.200 m) Bergbauhalden (Blei-Zinkvererzungen der Gailtaler Alpen) BO keine Angaben PFL (n=1) Cd 1 Pb 31 Zn 887. (PUNZ et al. 1993)
- 13. Lafatsch/Kastenalm** (4722x1126; 1.250 m) Bergbauhalden (Silber-Blei-Zinkvererzungen im Wettersteinkalk des Karwendel) BO (n=9) Cd 101 Pb 22681 Cu 104 Zn 40264 PFL (n=10) Cd 5(*22) Pb 113(*815) Cu 160 Zn 452(*2647). (PUNZ et al. 1994, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 14. Nogare** (4606x1113; 700 m) Bergbauhalde (Lagerstätte in permischen Vulkaniten, Trento/I). Keine weiteren Angaben. (PUNZ & WIESHOFFER 1989)
- 15. Obernberg/Brenner** (4700x1123; 1.550 m) Bergbauhalde (hydrothermale Lagerstätte im Wettersteinkalk, Zink, Blei, Fluorit; Südtirol/I) BO keine Angaben PFL (n=4) Cd 3 Pb 45 Zn 297. (PUNZ 1988, VOGEL 1988a, GINTENREITER & VOGEL 1990)

- 16. Peroli Bassa** (4552x0950; 720 m) Haldenreste, kalkalpine Blei-Zinkvererzungen in den Bergamasker Alpen (Lombardei/I). BO keine Angaben PFL (n=1) Cd 1 Pb 7 Cu 11 Zn 163. (PUNZ 1990, GINTENREITER 1990b)
- 17. Pflerschtal** (4657x1124; 1.180 m) Bergbauhalde (Blei-Zinkerze des Ötztaler/Stubai-er Kristallin; Südtirol/I) BO (n=1) Cd 67 Pb 8148 Cu 510 Zn 16216 PFL (n=1) Cd 3 Pb 26 Cu 8 Zn 96. (PUNZ & WIESHOFFER 1989, PUNZ et al. 1994)
- 18. Ramingstein** (4704x1351; 1.150 m) großflächiges Haldensystem, Blei-Silberlagerstätte in quarzitischen Glimmerschiefern. BO (n=8) Cd 72 Pb 27350 Cu 947 Zn 7854 PFL (n=13) Cd 6(*188) Pb 179(*320) Cu 25 Zn 405(*10394). (PUNZ & ENGENHART 1990, PUNZ et al. 1993)
- 19. Ridnaun** (4656x1116; 1.450 m) Erzaufbereitung der Blei-Zink-Erze des Bergwerks Schneeberg (Südtirol/I) BO keine Angaben PFL (n=3) Cd 9 Pb 408 Zn 1311. (PUNZ 1998, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 20. Rubland-Koflergraben** (4640x1338; 880 m) Bergbauhalden (Blei-Zink-Antimon-erze im Mesozoikum der Gailtaler Alpen) BO keine Angaben PFL (n=6) Cd 4 Pb 50 Zn 1809. (PUNZ 1988, VOGEL 1988a)
- 21. Schneeberg-St. Martin** (4654x1111; 2.350 m) großflächiges Haldensystem, Blei-zinkerze des Schneebergzuges (Südtirol/I) BO (n=28) Cd 330 Pb 28778 Cu 2318 Zn 47805 PFL (n=28) Cd 28 Pb 845 Cu 47 Zn 2716. (PUNZ & WIESHOFFER 1989, PUNZ et al. 1990, 1995, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 22. Schwaz-Falkenstein, Kogelmoos** (4721x1145; 840 m) Alte Bergbauhalden (Fahlerze im Schwazer Dolomit) BO keine Angaben PFL (n=6) Cd 1 Pb 7 Cu 22 Zn 112. (PUNZ & WIESHOFFER 1989, GINTENREITER 1990b, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 23. Schneeberg-Seemoos**, (4654x1111; 2150 m) siehe Schneeberg
- 24. Tegestal** (4719x1044; I 1.550 m, II 1.820 m, III 1.870 m) Haldenareal und Aufbe-
reitung (I St. Veith II Bismarck III Oberste Baue) Blei-Zinkvererzung im Muschelkalk
der Inntaldecke. BO keine Angaben PFL (n=3) Cd 1(*8) Pb 3(*8) Cu 11 Zn 181(*7538).
(PUNZ 1990, GINTENREITER 1990b, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 25. Terlan** (4633x1116; 300 m) Bergbauhalde (hydrothermale Erzlagerstätten in Porphy-
ren; Südtirol/I) BO keine Angaben PFL (n=5) Cd 7 Pb 16 Zn 1925. (PUNZ 1988, PUNZ &
WIESHOFFER 1989, VOGEL 1988a, GINTENREITER & VOGEL 1990)
- 26. Tösens** (4658x1040; 2.500 m) hochalpine Bergbauhalden (Blei-Zink-Erzgänge in
Gneisen des Ötztaler Kristallin) BO keine Angaben PFL (n=3) Cd 11 Pb 255 Cu 8 Zn
1538. (PUNZ 1990, GINTENREITER 1990b, GINTENREITER & VOGEL 1990)

Ergebnisse und Diskussion

Eine Beziehung zwischen Boden- und Pflanzenschwermetallgehalten ist in geringem Ausmaß, zwischen Boden- und Tierschwermetallgehalten kaum gegeben. Verdeutlicht sei diese Aussage am Beispiel von Zink: Vergleicht man die maximalen Gehalte von Böden der einzelnen Standorte mit den maximalen Werten der dort vorkommenden Pflanzen (unter Ausschluss der Hyperakkumulatoren), so ergibt sich eine schwache, aber deutlich positive Korrelation (Abb. 2); ähnliche Ergebnisse werden auch von PUNZ & SIEGHARDT (1993) berichtet; Akkumulatorpflanzen bzw. Excluderpflanzen (sensu BA-

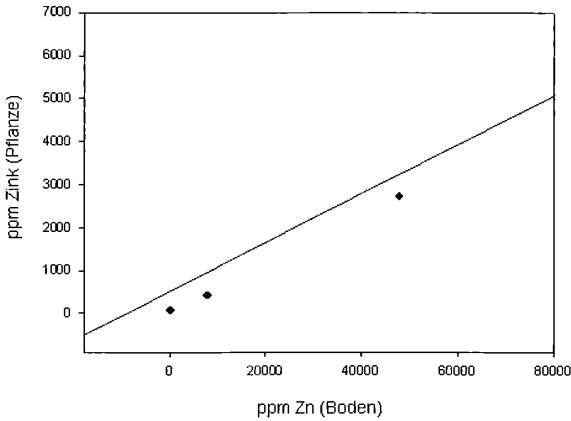


Abb. 2: Korrelation zwischen maximalen Bodenzinkgehalten und maximalen Pflanzenzinkgehalten (ohne Hyperakkumulatoren) ausgewählter Standorte. – Correlation of maximum soil zinc concentration and maximum plant zinc concentration (shoots). Hyperaccumulating plants were not taken into consideration.

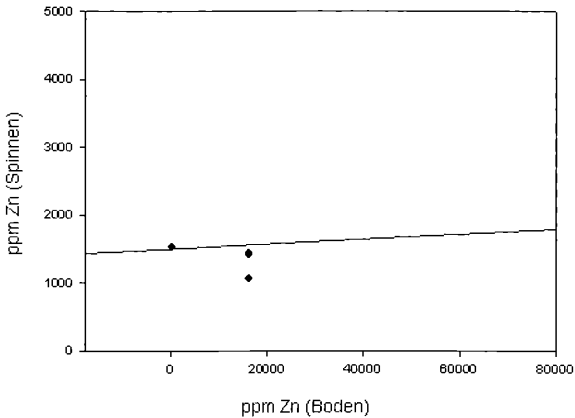


Abb. 3: Korrelation zwischen maximalen Bodenzinkgehalten und maximalen Zinkgehalten von Spinnen ausgewählter Standorte. – Correlation of maximum soil zinc concentration and maximum zinc concentration of spiders.

über liegen (max. 456 ppm *Pardosa* sp. in Brixlegg). Die Bleikonzentrationen der untersuchten Proben sind sehr unterschiedlich, Spitzenwerte über 2.000 ppm wurden für verschiedene Spinnen und Ameisen festgestellt (max. 2.768 ppm *Pardosa* sp. in Kreuzen). Bei Cadmium liegen fünf Proben (davon drei Gnaphosidae) über 100 ppm (max. 143 ppm *Drassodes* sp. am Schneeberg).

Wie bereits von RABITSCH (1995b) festgestellt, liegen die Cadmiumkonzentrationen der Formicinae durchschnittlich eine Größenordnung über jenen der Myrmicinae, während sich die Kupferkonzentrationen kaum unterscheiden. Die Blei- und Zinkkonzentrationen

KER 1981, 1987) zeigen hingegen abweichende Beziehungsmuster (vgl. PUNZ 1998).

Während für viele Tiergruppen eine positive Korrelation zwischen Standortsbelastung und Schwermetallgehalten besteht (z. B. HOPKIN 1989), scheint diese Beziehung bei Spinnen weniger ausgeprägt zu sein (z. B. RABITSCH 1995c), wie auch die extrem flache Korrelation zwischen den Boden-Zinkgehalten und den Zinkkonzentrationen der Spinnen der Haldenstandorte in vorliegender Studie bestätigt (Abb. 3). Gegenüber den Literaturangaben von unbelasteten Standorten sind die meisten Metallkonzentrationen der Haldentiere (Tab. 1) deutlich erhöht (z. B. MARTIN & CAUGHTREY 1976, DMOWSKI & KAROLEWSKI 1979, CARTER 1983, BENTSSON & RUNDGREN 1984, GINTENREITER 1990a, HUNTER et al. 1987, VOGEL 1988a, 1988b, YLÄ-MONONEN et al. 1989, KNUTTI et al. 1988, LARSEN et al. 1994).

Betrachtet man die Schwermetallgehalte der untersuchten Tiere, so fällt bei Zink ein Mittelwert von 16.350 ppm für *Formica* am Standort Rubland auf, weitere 14 Proben (bes. Spinnen, Ameisen) liegen über 1.000 ppm. Die Kupferwerte der meisten Proben liegen vergleichsweise einheitlich zwischen ca. 10–100 ppm, während fast alle Spinnenproben dar-

Tabelle 1: Mittelwerte der Schwermetallgehalte (Cd, Pb, Cu, Zn) von Tieren an Schwermetallstandorten im Ostalpenraum. *Manica* = *M. rubida*, *Camponotus* = *C. ligniperda*, *Acheta* = *A. domestica*. Angaben in ppm, ganzzahlig gerundet. L = Larven; K = Kokon; n = Stichprobe; – = nicht gemessen, 1 = Werte zwischen 0 und 1,49. Standorte vgl. Abb. 1 und Text. – Average concentration of cadmium, lead, copper and zinc in animals from heavy metal contaminated sites in the Eastern Alps (in parts per million). L = larvae, K = cocoon; n = sample size, – = not measured, 1 = concentration between 0 and 1.49. For detailed description of sites see Fig. 1 and text.

Standort	Gruppe	Familie	Gattung	n	Cd	Pb	Cu	Zn
Alpe Grem I	Araneae	Gnaphosidae	<i>Drassodes</i>	1	118	2	115	783
Alpe Grem I	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	2	68	2	135	913
Alpe Grem I	Saltatoria	Acrididae	<i>Glyptobothrus</i>	L 1	4	3	40	397
Alpe Grem I	Saltatoria	Tettigoniidae	<i>Metrioptera</i>	L 1	22	868	23	4816
Alpe Grem II	Araneae	Salticidae		2	11	1	44	328
Alpe Grem II	Saltatoria	Acrididae	<i>Glyptobothrus</i>	L 1	1	2	113	385
Alpe Grem II	Saltatoria	Tetrigidae	<i>Tetrix</i>	1	22	6	71	379
Arera II	Araneae	Clubionidae	<i>Cheiracanthium</i>	1	10	1	100	65
Arera II	Araneae	Gnaphosidae	<i>Gnaphosa</i>	3	38	1	136	250
Arera III	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	3	90	59	29	1065
Arera III	Formicidae	Formicinae	<i>Lasius</i>	3	108	133	29	107
Arera III	Formicidae	Myrmicinae	<i>Stenamma</i>	9	9	3	16	120
Arera III	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	1	38	1	92	791
Arera III	Hemiptera	Cercopidae	<i>Cercopis</i>	5	7	1	82	466
Arera III	Saltatoria	Acrididae	<i>Glyptobothrus</i>	L 1	6	16	31	775
Arera IV	Araneae	Agelenidae	<i>Tegenaria</i>	1	12	8	54	370
Arera IV	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	2	126	1	263	1063
Arnoldstein	Coleoptera	Cantharidae	<i>Cantharis</i>	1	1	64	-	917
Arnoldstein	Formicidae	Myrmicinae	<i>Manica</i>	5	5	144	-	1007
Arnoldstein	Formicidae	Formicinae		4	15	189	-	1289
Arnoldstein	Araneae	Salticidae		2	16	92	-	1575
Arnoldstein	Araneae	Lycosidae		5	15	440	-	1314
Arnoldstein	Araneae	Pholcidae		1	19	597	-	2123
Bleiberg	Saltatoria	Tetrigidae	<i>Tetrix</i>	4	-	43	-	328
Bleiberg	Araneae	Lycosidae		5	23	123	-	632
Brixlegg	Araneae	Lycosidae	<i>Arctosa</i>	1	8	2	-	187
Brixlegg	Araneae	Lycosidae	<i>Alopecosa</i>	1	7	4	-	221
Brixlegg	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	K 2	4	110	2415	543
Brixlegg	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	K 2	-	29	-	89
Brixlegg	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	5	18	3	456	415
Cinque Valli	Formicidae	Myrmicinae	<i>Manica</i>	8	3	300	11	208
Deutschnofen	Formicidae	Myrmicinae	<i>Myrmica</i>	5	6	193	10	222
Deutschnofen	Formicidae	Formicinae	<i>Lasius</i>	6	27	2164	29	416
Faedo	Coleoptera	Cantharidae	<i>Cantharis</i>	2	1	113	-	121
Faedo	Araneae	Salticidae		1	43	2281	-	1033
Faedo	Araneae	Lycosidae		4	13	1056	-	729
Gafleintal	Formicidae	Formicinae		5	29	134	-	1360
Gafleintal	Araneae	Salticidae		2	45	40	-	-
Gafleintal	Araneae	Lycosidae		4	19	25	-	583
Hermdelehof	Araneae	Gnaphosidae	<i>Drassodes</i>	2	13	2	155	463

Standort	Gruppe	Familie	Gattung	n	Cd	Pb	Cu	Zn
Hermdelehof	Araneae	Salticidae		1	13	20	197	319
Hermdelehof	Araneae	Gnaphosidae	<i>Gnaphosa</i>	2	16	9	95	421
Hermdelehof	Formicidae	Formicinae	<i>Lasius</i>	3	26	18	54	248
Hermdelehof	Formicidae	Myrmicinae	<i>Manica</i>	13	4	10	20	97
Klausen	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	1	6	3	129	302
Klausen	Araneae	Salticidae		1	4	6	-	1523
Klausen	Formicidae	Formicinae	<i>Camponotus</i>	4	10	14	26	583
Klausen	Formicidae	Myrmicinae	<i>Myrmica</i>	27	6	14	28	120
Kreuzen	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	2	22	2768	52	1234
Kreuzen	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	2	9	98	10	235
Kreuzen	Formicidae	Formicinae	<i>Camponotus</i>	3	11	458	13	617
Lafatsch	Saltatoria	Tetrigidae	<i>Tetrix</i>	1	6	250	-	253
Lafatsch	Araneae	Lycosidae		1	18	23	-	843
Nogare	Formicidae	Formicinae	<i>Camponotus</i>	9	8	96	21	714
Obernberg	Coleoptera	Cicindelidae	<i>Cicindela</i>	1	3	62	-	277
Peroli Bassa	Formicidae	Formicinae	<i>Lasius</i>	3	78	131	151	946
Peroli Bassa	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	7	28	7	124	416
Peroli Bassa	Araneae	Lycosidae	<i>Tarantula</i>	1	16	4	143	803
Peroli Bassa	Araneae	Salticidae		1	4	1	37	243
Pflerschtal	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	8	10	15	70	433
Pflerschtal	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	1	1	2	37	82
Pflerschtal	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	K 1	3	2460	125	1425
Ramingstein	Formicidae	Formicinae	<i>Camponotus</i>	3	11	1817	30	554
Ridnaun	Formicidae	Myrmicinae	<i>Manica</i>	3	3	46	-	335
Ridnaun	Araneae	Salticidae		2	45	40	-	0
Ridnaun	Araneae	Lycosidae		4	52	23	-	842
Rubland	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	5	63	101	-	
Rubland	Araneae	Lycosidae		5	25	30	-	768
Rubland	Araneae	Thomisidae		2	-	2387	-	600
Rubland	Scorpiones	Euscorpiidae	<i>Euscorpius</i>	5	29	1	-	380
Schneeberg	Araneae	Gnaphosidae	<i>Drassodes</i>	3	143	24	131	762
Schneeberg	Araneae	Gnaphosidae	<i>Gnaphosa</i>	3	101	32	65	631
Schneeberg	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	5	15	7	125	380
Schneeberg	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	11	53	61	12	440
Schneeberg	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	3	11	19	45	283
Schneeberg	Formicidae	Myrmicinae	<i>Myrmica</i>	12	2	10	41	204
Schneeberg	Formicidae	Formicinae	<i>Camponotus</i>	2	29	616	13	457
Schwaz	Araneae	Thomisidae	<i>Xysticus</i>	1	13	1	-	340
Schwaz	Araneae	Salticidae		1	54	2	287	961
Schwaz	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	9	20	15	51	522
Schwaz	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	1	20	3	50	546
Schwaz	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	9	18	1	217	385
Schwaz	Araneae	Lycosidae		3	16	1	163	394
Seemoos	Coleoptera	Carabidae	<i>Cicindela</i>	2	4	397	32	219
Seemoos	Coleoptera	Carabidae	<i>Amara</i>	1	4	163	14	146
Seemoos	Araneae	Lycosidae	<i>Pardosa</i>	2	39	1549	227	4190
Tegestal I	Formicidae	Formicinae	<i>Formica</i>	5	14	5	22	467

Standort	Gruppe	Familie	Gattung	n	Cd	Pb	Cu	Zn
Tegestal I	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	6	21	1	51	543
Tegestal II	Araneae	Gnaphosidae	<i>Drassodes</i>	2	55	5	89	729
Tegestal II	Araneae	Gnaphosidae	<i>Gnaphosa</i>	1	27	4	104	602
Tegestal III	Araneae	Lycosidae	<i>Lycosa</i>	1	28	4	111	775
Terlan	Saltatoria	Gryllidae	<i>Acheta</i>	4	10	30	-	812
Terlan	Saltatoria	Tetrigidae	<i>Tetrix</i>	4	10	30	-	812
Tösens	Coleoptera	Chrysomelidae	<i>Chrysomela</i>	10	16	2	30	27

der Formicinae liegen – bei höherer Variation – ebenfalls meist über jenen der Myrmicinae. Ein Zusammenhang mit der unterschiedlichen Lebensweise (Nestbau) und Ernährung (Anteil Honigtau) ist zu vermuten. Durchwegs vergleichbare Metallkonzentrationen der Ameisenarbeiterinnen wurden von STARY & KUBIZNAKOVA (1987), VOGEL (1988b), MIGULA & GLOWACKA (1996) und RABITSCH (1995b, 1997) an belasteten Standorten festgestellt. Die Höchstwerte der Bleibelastung dieser Studie für Ameisen liegen bei 2.164 ppm (*Lasius* sp., Deutschnofen) und 1.817 ppm (*Camponotus ligniperda*, Ramingstein) bzw. der Cadmiumbelastung bei 108 ppm (*Lasius* sp., Arera). Bleikonzentrationen von über 2.000 ppm und Cadmiumkonzentrationen über 80 ppm wurden auch von RABITSCH (1997) bei Arbeiterinnen von *Formica pratensis* an einem chronisch belasteten Standort (Arnoldstein) festgestellt. Signifikante Unterschiede der Metallbelastung in Abhängigkeit von Art, Entwicklungszustand, Metall, Standort und Jahreszeit wurden für Ameisen in Umgebung der ehemaligen Blei/Zink-Hütte in Arnoldstein beobachtet (RABITSCH 1995b, 1997). Auch eine Abnahme der Belastung mit steigender Entfernung von der Emissionsquelle und nach Stopp der Belastung wurde festgestellt (RABITSCH 1995b). Ameisen zählen in belasteten aber auch in unbelasteten Gebieten zu den Tieren mit den höchsten Metallgehalten (z. B. BENGTTSSON & RUNDGREN 1984, HUNTER et al. 1987, KNUTTI et al. 1988, YLÄ-MONONEN et al. 1989, RABITSCH 1995a, 1995b). Dies ist vermutlich auf ihre hohe produktionsbiologische Bedeutung in terrestrischen Ökosystemen zurückzuführen.

Die Cadmium-, Zink- und auch die meisten Bleikonzentrationen der untersuchten Spinentaxa liegen in vergleichbaren Konzentrationsbereichen wie für Formicinae. Deutlich höhere Werte sind jedoch für Kupfer zu beobachten, vermutlich wegen des höheren Bedarfs für das Sauerstofftransportprotein Haemocyanin. Wie bei den Ameisen ist die größte Variabilität der Messwerte bei den Bleikonzentrationen zu beobachten. Eine hohe Cadmiumakkumulationsrate bei Spinnen fanden VAN HOOK & YATES (1975), VAN STRALEN & VAN WENSEM (1986) und RABITSCH (1995c). Durchwegs vergleichbare Metallkonzentrationen bei Spinnen wurden von BENGTTSSON & RUNDGREN (1984), HUNTER et al. (1987) (für Cd), KOPONEN & NIEMELÄ (1995), RABITSCH (1995c) und WILCZEK & MIGULA (1996) an belasteten Standorten festgestellt.

Die ökotoxikologische Relevanz der vorliegenden Daten ist schwer abzuschätzen, da die angegebenen Werte sowohl die physiologisch unwirksame Oberflächenkontamination und den im Verdauungstrakt befindlichen Nahrungsbrei als auch die tatsächlich aufgenommenen Schwermetallionen einschließt (z. B. BEEBY 1990). Negative Auswirkungen durch Schwermetallintoxikation sind jedoch mehrfach belegt (z. B. Wachstums- und Fertilitätsreduktion, erhöhte Sterblichkeit, verminderte Abundanzen und Populationsrückgang, BENGTTSSON et al. 1983, HOPKIN 1989, KOPONEN & NIEMELÄ 1995, JONES & HOPKIN 1998, FOUNTAIN & HOPKIN 2004, u. v. a.). Die Schwermetallkonzentrationen im Boden liegen jedenfalls über den von BENGTTSSON & TRANVIK (1989) vorgeschlagenen

„Grenzwerten“, bei deren Überschreiten mit negativen Auswirkungen auf die Bodenfauna zu rechnen ist. Die hohe Varianz individueller und populationsökologischer Reaktionsmöglichkeiten auf Stressfaktoren in der Umwelt lassen jedoch kaum Verallgemeinerung zu und machen standortspezifische Untersuchungen unter Berücksichtigung lokaler Faktoren notwendig (TYLER et al. 1989). Auch ist zu berücksichtigen, dass die Schwermetallkonzentration noch nichts über deren Toxizität aussagt.

Die Belastung eines Tieres mit Schwermetallen ist von einer Vielfalt von Variablen abhängig. Als signifikante Einflussgrößen sind die Art und ihre Lebensgewohnheiten (z. B. MARCZYK et al. 1993, RABITSCH 1995a, 1995b, 1995c, WILCZEK & MIGULA 1996), die Jahreszeit (z. B. HUNTER et al. 1987, JANSSEN et al. 1990, RABITSCH 1997), der Entwicklungszustand (z. B. RABITSCH 1995a, 1995b), das jeweilige Metall (z. B. HUNTER et al. 1987) bzw. weitere „Stressfaktoren“ und die Belastungsgeschichte des Standortes zu nennen. Besonders an Standorten mit chronischer Belastungssituation wirken Selektion und Adaptation über Mechanismen wie Detoxifikation (z. B. Erhöhung der Exkretionsleistung oder der intrazellulären Kompartimentierung) oder „life-history“ Parameter (z. B. früher einsetzende Reproduktion) auf die Populationen dieser Standorte (z. B. POSTHUMA & VAN STRAALLEN 1993, POSTHUMA et al. 1992, 1993, NEWMAN et al. 1994, POSTMA et al. 1996). Obwohl besonders Spinnen und Ameisen an belasteten Standorten regelmäßig vorkommen, hat sich keine eigenständige „Schwermetallfauna“ herausgebildet.

Die Daten der vorliegenden Studie sind mit angemessener Vorsicht zu interpretieren. Zwischen nahe verwandten Taxa wie auch innerhalb einer Art bestehen große Unterschiede in der Metallassimilation und -exkretion. Beträchtliche intraspezifische Variationen der Metallkonzentrationen je nach Population, Geschlecht, Sammelzeitpunkt usw. erfordern einen größeren Stichprobenumfang als er hier zur Verfügung stand. Die vorliegende Studie kann daher nur einen sehr groben Überblick über die Belastungssituation von Haldentieren alpiner Bergbaustandorte geben. Die offen gebliebenen Fragen können jedoch vielleicht einen Anreiz für weitere Untersuchungen (z. B. zur Frage der Adaptation an chronisch belasteten Standorten) liefern.

Literatur

- BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metal. *J. plant nutrition* 3, 643–654.
- BAKER A. J. M., 1987: Metal tolerance. *New Phytol.* 106, 93–111.
- BEEBY A., 1990: Toxic metal uptake and essential metal regulation in terrestrial invertebrates: a review. In NEWMAN M. C. & McINTOSH A. W. (eds): *Metal ecotoxicology: concepts and applications*. Lewis Publishers Inc, Chelsea Michigan, 65–89.
- BENGTSSON G., GUNNARSON T. & RUNDGREN S., 1983: Growth changes caused by metal uptake in a population of *Onychiurus armatus* (Collembola) feeding on metal polluted fungi. *Oikos* 40, 216–225.
- BENGTSSON G. & RUNDGREN S., 1984: Ground-living invertebrates in metal-polluted forest soils. *Ambio* 13, 29–33.
- BENGTSSON G. & TRANVIK L., 1989: Critical metal concentrations for forest soil invertebrates. *Water, Air, and Soil Pollution* 47, 381–417.
- CARTER A., 1983: Cadmium, copper and zinc in soil animals and their food in a red clover system. *Can. J. Zool.* 61, 2751–2757.

- DMOWSKI D. & KAROLEWSKI M. A., 1979: Cumulation of zinc, cadmium and lead in invertebrates and in some vertebrates according to the degree of an area contamination. *Ecologia Polska* 27, 333–349.
- ERNST W., 1965: Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. *Abh. Landesmus. Naturkde. Münster (Westfalen)* 27, 1–54.
- ERNST W., 1974: *Schwermetallvegetation der Erde*. Fischer, Stuttgart.
- FOUNTAIN M. T. & HOPKIN S. P., 2004: A comparative study of the effects of metal contamination on collembola in the field and in the laboratory. *Ecotoxicology* 13, 573–587.
- GINTENREITER S., 1990a: Die Schwermetallbelastung von Spinnen an zwei unterschiedlich exponierten Standorten. Diplomarbeit Univ. Wien.
- GINTENREITER S., 1990b: Die Schwermetallbelastung von Arthropoden verschiedener Haldenstandorte (Tirol–Lombardei). In: PUNZ W. (Red.): *Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1989 Tirol–Lombardei*. Protokoll Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien.
- GINTENREITER S. & VOGEL W., 1990: Zur Schwermetallbelastung haldenbewohnender Arthropogen im Mittleren Alpenraum. In: PUNZ W., KOVACS G., MAUTHNER G., SAPELZA W., ULRICH S.M., WIELÄNDER B. & WIESHOFFER I.: *Zur Ökologie und Ökophysiologie der Vegetation im Bereich des Bergbaugesbietes St. Martin am Schneeberg im Passeier*. *Schlern* 64, 480–515.
- HOPKIN S. P., 1989: *Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates*. Elsevier Appl. Sci., London.
- HUNTER B. A., JOHNSON M. S. & THOMPSON D. J., 1987: Ecotoxicology of copper and cadmium in a contaminated grassland ecosystem. II. Invertebrates. *J. Appl. Ecol.* 24, 587–599.
- JANSSEN, M. P. M., JOOSSE E. N. G., VAN STRAALEN N. M., 1990: Seasonal variation in concentration of cadmium in litter arthropods from a metal contaminated site. *Pedobiologia* 34, 257–267.
- JONES D. T. & HOPKIN S. P., 1998: Reduced survival and body size in the terrestrial isopod *Porcellio scaber* from a metal-polluted environment. *Environ. Pollut.* 99, 215–223.
- KOPONEN S. & NIEMELÄ P., 1995: Ground-living arthropods along pollution gradient in boreal pine forest. *Entomol. Fennica* 6, 127–131.
- KNUTTI R., BUCHER P., STENGL M., STOLZ M., TREMP J., ULRICH M. & SCHLATTER C., 1988: Cadmium in the invertebrate fauna of an unpolluted forest in Switzerland. *Environm. Toxin Ser.* 2, 171–189.
- LARSEN K. J., BREWER S. R. & TAYLOR, D. H., 1994: Differential accumulation of heavy metals by web spiders and ground spiders in an old-field. *Environ. Toxicol. Chem.* 13, 503–508.
- MARCZYK G., MIGULA P. & TRZCIONKA E., 1993: Physiological response of spiders to environmental pollution in the Silesian Region (Southern Poland). *Science Tot. Environ., Suppl.*, 1315–1322.
- MARTIN M. H. & CAUGHTREY P. J., 1976: Comparisons between the levels of lead, zinc and cadmium within a contaminated environment. *Chemosphere* 1, 15–20.
- MIGULA P. & GLOWACKA E., 1996: Heavy metals as stressing factors in the red wood ants (*Formica polyctena*) from industrially polluted forests. *Fresenius J. Anal. Chem.* 354, 653–659.
- NEWMAN, M. C., MULVEY, M., BEEBY, A., HURST, R. W. & RICHMOND, L. 1994: Snail (*Helix aspersa*) exposure history and possible adaptation to lead as reflected in shell composition. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 27, 346–251.
- POSTHUMA L. & VAN STRAALEN N.M., 1993: Heavy-metal adaptation in terrestrial invertebrates; a review of occurrence, genetics, physiology and ecological consequences. *Comp. Biochem. Physiol.* 106C, 11–38.

- POSTHUMA L., HOGERVORST, R. F. & VAN STRAALEN N. M., 1992: Adaptation to soil pollution by cadmium excretion in natural populations of *Orchesella cincta* (L.) (Collembola). Arch. Environ. Contam. Toxicol. 22, 146–156.
- POSTHUMA L., VERWEIJ R. A., WIDIANARKO B. & ZONNEVELD C. 1993: Life-history patterns in metal-adapted Collembola. Oikos 67, 235–249.
- POSTMA J. F., VAN NUGTEREN P. & BUCKERT-DE JONG M., 1996: Increased cadmium excretion in metal-adapted populations of the midge *Chironomus riparius* (Diptera). Environ. Toxicol. Chem. 15, 332–339.
- PUNZ W., 1988: Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1987. Protokoll Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien.
- PUNZ W., 1990: Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1989 Tirol–Lombardei. Protokoll Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien.
- PUNZ W., 1998: Pflanzen auf Schwermetallstandorten. Vorkommen und Anpassungsstrategien von Erzpflanzen im Ostalpenraum. 4. Arbeitstagung Umwelt und Gesundheit (UG'98-G8). Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Wien, Tagungsband, 249–253.
- PUNZ W., 1999: Kartierung von Schwermetallstandorten im Ostalpenraum. Sauteria 10, 61–76.
- PUNZ W., 2001: Schwermetallakkumulierende und –hyperakkumulierende Pflanzen auf Bergbaustandorten im Ostalpenraum. Verh. Zool.-Bot. Ges. 137, 129–136.
- PUNZ W. & ENGENHART M., 1990: Zur Vegetation zweier Bergwerkshalden im Bereich der Niederen Tauern. Sitzg.ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem. naturw. Kl. Abt. I. 198, 1–12.
- PUNZ W. & SIEGHARDT H., 1993: The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. In: BARLOW W. (Ed.): The impact of the environment on roots and root systems. Pergamon Press Oxford, 85–98.
- PUNZ W. & WIESHOFFER I. (Red.), 1989: Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1988. Protokoll. Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien. Mit einem Beitrag von S. ULRICH.
- PUNZ W., KOVACS G., MAUTHNER G., SAPELZA W., ULRICH S. M., WIELÄNDER B. & WIESHOFFER I., 1990: Zur Ökologie und Ökophysiologie der Vegetation im Bereich des Bergbaugebietes St. Martin am Schneeberg im Passeier. Mit einem Beitrag von GINTENREITER S. & VOGEL W. Schlern 64, 480–515.
- PUNZ W., ENGENHART M., KÖRBER-ULRICH S., KOVACS G., PUNZ-GUSCHLBAUER U., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFFER I., 1993: Pflanzen auf Schwermetallhalden im Ostalpenraum – Neue Befunde. Sitzg.ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem. naturw. Kl. Abt. I 200, 1–16.
- PUNZ W., KÖRBER-ULRICH S. M., KOVACS G., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFFER I., 1994: Schwermetallstandorte im Mittleren Alpenraum – Neue Befunde. Verh. Zool.-Bot. Ges. 131, 1–26.
- PUNZ W., KÖRBER-ULRICH S. M., ENGENHART M., MAUTHNER G., SAPELZA W. P., SIEGHARDT H., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFFER I., 1995: Pflanzenökologische Befunde vom Bergbaugebiet Schneeberg/Monteneve im Passeier (Südtirol/I). Sitzg.ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem. naturw. Kl. Abt. I 201, 67–81.
- RABITSCH W., 1995a: Metal accumulation in arthropods near a lead/zinc smelter in Arnoldstein, Austria. Environ. Pollut. 90, 221–237.
- RABITSCH W., 1995b: Metal accumulation in arthropods near a lead/zinc smelter in Arnoldstein, Austria. II. Formicidae. Environ. Pollut. 90, 239–247.
- RABITSCH W., 1995c: Metal accumulation in arthropods near a lead/zinc smelter in Arnoldstein, Austria. III. Arachnida. Environ. Pollut. 90, 249–257.
- RABITSCH W., 1997: Seasonal metal accumulation patterns in the red wood ant *Formica pratensis* (Hymenoptera) at contaminated and reference sites. J. Appl. Ecol. 34, 1455–1461.

- STARY P. & KUBIZNAKOVA J., 1987: Content and transfer of heavy metal air pollutants in populations of *Formica* spp. wood ants (Hym., Formicidae). J. Appl. Ent. 104, 1–10.
- TYLER G., BALSBERG PAJLSSON A.-M., BENGTSSON G., BAATH E. & TRANVIK L., 1989: Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. A review. Water, Air and Soil Pollution 47, 189–215.
- VAN HOOK R. I. & YATES A. J., 1975: Transient behaviour of cadmium in a grassland arthropod food chain. Environ. Res. 9, 76–83.
- VAN STRAALEN N. M. & VAN WENSEM J., 1986: Heavy metal content of forest litter arthropods as related to body-size and trophic level. Environ. Pollut. 42, 209–221.
- VOGEL W., 1988a: Die Schwermetallbelastung der Makrofauna von Abraumhalden. In: PUNZ W. (Hrsg.): Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1987. Protokoll Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien.
- VOGEL W., 1988b: Die Belastung von Arthropoden mit Blei und Cadmium in unterschiedlich schadstoffexponierten Waldgebieten. Mitt. schweiz. Entomol. Ges. 61, 205–261.
- WILCZEK G. & MIGULA P., 1996: Metal body burdens and detoxifying enzymes in spiders from industrially polluted areas. Fresenius J. Anal. Chem. 354, 643–647.
- YLÄ-MONONEN L., SALMINEN P., WUORENRINNE H., TULISALO E. & NUORTEVA P., 1989: Levels of Fe, Al, Zn and Cd in *Formica aquilonia*, *F. polyctena* and *Myrmica ruginodis* (Hymenoptera, Formicidae) collected in the vicinity of spruces showing different degrees of needle-loss. Ann. Entomol. Fennici 55, 57–61.

Manuskript eingelangt: 2004 05 28

Anschrift:

Ass.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ, Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich.

Dr. Wolfgang RABITSCH, Mag. Susanne GINTENREITER, Institut für Zoologie der Universität Wien, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich.

E-Mail: wolfgang.punz@univie.ac.at