© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 138 (2001): 129-136

Schwermetallakkumulierende und –hyperakkumulierende Pflanzen auf Bergbaustandorten im Ostalpenraum

Wolfgang PUNZ

Sproßschwermetallgehalte (Zn, Pb, Cu, Cd) ostalpiner Pflanzen von Bergbaustandorten werden tabellarisch dokumentiert. *Cardaminopsis halleri* und *Thlaspi caerulescens* sind Zink-Hyperakkumulatorpflanzen; Zinkspeicherung von weit mehr als 1 000 ppm kommt unter anderem bei den Gattungen *Alyssum, Cerastium, Dianthus, Erysimum, Euphrasia, Minuartia, Silene, Thlaspi* und *Viola* vor.

PUNZ W., 2001: Heavy metal accumulating and hyperaccumulating plants on mining areas in the Eastern Alps.
Heavy metal contents (Zn, Pb, Cu, Cd) of shoots in Eastern Alpine plants are compiled. *Cardaminopsis halleri* and *Thlaspi caerulescens* were found to hyperaccumulate zinc, while a number of other plants from the genera *Alyssum, Cerastium, Dianthus, Erysimum, Euphrasia, Minuartia, Silene, Thlaspi* and *Viola* were able to accumulate more than 1 000 ppm Zn.

Keywords: metal hyperaccumulation, Eastern alps, metallophytes.

Einleitung

Mit dem Begriff der „Akkumulation" bezeichnet man ganz allgemein die Eigenschaft mancher Pflanzen, Schwermetalle in größerem Ausmaß in oberirdischen Organen bzw. Organteilen zu speichern. BAKER (1981, 1987) stellt der Gruppe der pflanzlichen „accumulators" ausdrücklich die „excluders" gegenüber, welche konträr die Fähigkeit besitzen, die Aufnahme von Schwermetallionen in oberiridische Pflanzenteile zu verhindern bzw. zu erschweren; bei Vorliegen von Analysen ist die Unterscheidung der beiden Gruppen über das Sproß/Wurzel-Verhältnis („shoot/root-ratio") der Schwermetallgehalte möglich (vgl. dazu auch PUNZ & SIEGHARDT 1993). Der Terminus Hyper-Akkumulator wurde von BROOKS et al. (1977) geprägt; damit werden Pflanzen mit einen Schwermetallgehalt von mehr als 1 000 ppm in den oberirdischen Organen bezeichnet, wobei später der Schwellenwert für die Schwermetalle Zink und Mangan auf 10 000 erhöht wurde. Obwohl es sich im Grunde um eine willkürliche Festlegung handelt, hat sich diese Definition als praktikabel erwiesen und weitgehend durchgesetzt.

Dem Ostalpenraum, der bekanntlich reich an armen Lagerstätten ist, fehlen vollständig die spektakulären, großflächigen Schwermetalllager, die eine Voraussetzung für die Entstehung endemischer Spezies bilden und Lokalitäten wie Katanga, Rhodesien oder Neukaledonien für einschlägige Forschungen (vgl. die Übersicht bei ERNST 1974, 1990) so interessant gemacht haben. Es lagen daher bis vor kurzer Zeit nur wenige und eher punktuelle diesbezügliche Untersuchungsergebnisse für

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

das genannte Gebiet vor. Auf Grund einer großen Zahl eigener Aufsammlungen (die der aufnahmeökologischen, floristischen, pflanzensoziologischen und entomofaunistischen Dokumentation der Schwermetallstandorte dienen sollte; vgl. PUNZ & SIEGHARDT 1993, PUNZ 1995, PUNZ & MUCINA 1997, GIENTENREITER & PUNZ, in Vorb.) soll an dieser Stelle ein knapper Überblick über die Maximalwerte von Schwermetallgehalten ostalpiner Galmei- und Kupferpflanzen gegeben werden, wobei die Provenienz ausschließlich auf Bergbaustandorte beschränkt ist. Die vor allem in Hinblick auf die Hyperakkumulation von Nickel bemerkenswerten Serpentinpflanzen (BAKER et al. 1992, ROBERTS & PROCTOR 1992, BROOKS 1998) bleiben hier unberücksichtigt.

Methodik

Pflanzenanalysen aus eigenen Aufsammlungen im Ostalpenraum wurden kompiliert und in Tabelle 1 zusammengefaßt. Diese wurde durch einige Literaturangaben ergänzt, wobei darauf geachtet wurde, daß entsprechende Angaben über den Reinigungsvorgang vorlagen, um Fehler durch anhaftendes Material auszuschließen. Mit solchen ist mit großer Wahrscheinlichkeit etwa bei der Analyse von Herbarmaterial zu rechnen, kann jedoch grundsätzlich bei Arbeiten ohne Beschreibung der „washing procedure" nicht ausgeschlossen werden. Diesbezüglich unterliegt BROOKS (1998) einem Trugschluß, wenn er zunächst schreibt: „...near mine dumps ... washing is clearly necessary," dann aber fortsetzt: „[the washing] problem is far less serious for hyperaccumulator plants ... because the metal content of the dried plant is usually higher than that of the soil in which it grows so that any wind-borne dust would have the effect of apparently diluting the true metal concentration in the plant." Seiner abschließenden Feststellung „nevertheless, there have been several errors in the literature derived from contaminated samples" ist freilich uneingeschränkt zuzustimmen. Aus den genannten Gründen wurden die Werte von RASCIO (1977), REEVES & BROOKS (1983a, b) und WENZEL & JOCKWER (1999), die sich ebenfalls auf ostalpine Standorte beziehen, nicht in die Tabelle aufgenommen (jedoch in der Besprechung berücksichtigt).

Die Angaben zu den Zink-, Blei-, Kupfer und Cadmiumgehalten in den Sprossen ostalpiner Metallophyten wurden in Tabelle 1 zusammengefaßt. Diese ist alphabetisch gegliedert, Hyperakkumulatoren sensu BROOKS sind fett hervorgehoben. Mehrere Angaben von der gleichen Pflanzenart sind nach absteigenden Zinkgehalten gruppiert. Grundsätzlich sind von jedem aufgenommenen Standort nur die jeweiligen Maximalwerte wiedergegeben. Eine Ausnahme hievon wurde lediglich beim Vorliegen verschiedener Werte vom gleichen Standort, jedoch unterschiedlichen Aufsammlungsterminen gemacht. Die Standorte sind entsprechend der Kompilation bei PUNZ (1999) angeführt.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Ergebnisse und Diskussion

Auf Schwermetallstandorten der Ostalpen treten sowohl Akkumulatoren sensu BAKER als auch Hyperakkumulatoren sensu BROOKS auf. Die Fähigkeit zur Hyperakkumulation von mehr als 10 000 ppm Zink scheint großenteils auf Brassicaceen beschränkt zu sein; es sei daran erinnert, daß BROOKS (1998) die Zahl der bisher überhaupt bekannten Zink-Hyperakkumulatoren mit 16 angibt, die ebenfalls aus der Familie der Brassicaceen sowie Violaceen stammen.

Die hinsichtlich ihrer Akkumulationseigenschaften für **Zink** spektakulärste Pflanze im Ostalpenraum stellt offensichtlich *Cardaminopsis halleri* dar: die durchwegs hohen (12 400–15 148 ppm) oberirdischen Gehalte übersteigen die entsprechenden Angaben von WENZEL & JOCKWER (1999) mit 8 570 ppm und sogar jene von ERNST (1968) mit 13 600 ppm. Die Akkumulator-Eigenschaft von *Cardaminopsis halleri* ebenso wie die der ähnlich stark akkumulierenden Pflanze *Thlaspi caerulescens* wurde bereits früher bei PUNZ (1998) dargetan. Vergleichbar hoch sind die Zinkgehalte bei *Thlaspi caerulescens,* welches lediglich an einem einzigen Standort untersucht werden konnte und Zinkgehalte bis zu 16 000 ppm aufwies. Zum Vergleich die Maximalwerte für Deutschland: 27 300 ppm (BAKER & BROOKS 1989) und Großbritannien: 21 147 (BAKER et al. 1994). Demgegenüber weist der Galmeiendemit *Thlaspi cepaeifolium* geringere Zinkgehalte auf (bis 7 000 ppm), was annähernd den Ergebnissen von RASCIO (1977) mit 5 500 ppm entspricht. Die wesentlich höheren Angaben von REEVES & BROOKS (1983a, b) mit 21 000 ppm Zn könnten eventuell auf Kontamination des untersuchten Herbarmaterials (Erzpartikel!) zurückzuführen sein. In einer ähnlichen Größenordnung liegen die Messungen für *Thlaspi rotundifolium* mit Maxima über 7 000 ppm (etwas höher WENZEL & JOCKWER 1999: 9 080 ppm). Die vierte Täschelkrautart, nämlich *Thlaspi minimum,* weist wesentlich niedrigere Zinkwerte (unter 3 000 ppm), allerdings auch einen Spitzenwert von 6 320 ppm auf; ein Deutungsversuch ist untenstehend zu finden.

Zinkspeicherung von mehr als 1 000 ppm in oberirdischen Organen tritt auch bei einer Reihe anderer Pflanzen auf. Der südalpine Endemit *Viola dubyana* weist nach Angaben von ERNST (1965) einen Zinkgehalt von 6 480 ppm auf. *Minuartia gerardii* (in älteren Arbeiten stets als *Minuartia verna* bezeichnet; nach FISCHER 1994 sind sämtliche diesbezüglichen ostalpinen Angaben als *Minuartia gerardii* aufzufassen) ist in der Tabelle mit Werten zwischen 2 000 und 5 800 ppm Zn vertreten; WENZEL & JOCKWER (1999) fanden als Höchstwert 7 700 ppm. Zum Vergleich einige Maximalwerte von *Minuartia verna* aus der Literatur: 17 300 ppm Zn bei BROOKS et al. (1995), knapp 10 000 ppm bei ERNST (1975) und 2 000–7 000 ppm bei BARRY & CLARK (1978). Dagegen liegen die Werte des Schwermetallpioniers par excellence, *Silene vulgaris,* lediglich zwischen 2 000 und 3 700 ppm.

Betrachtet man die Zinkgehalte von *Linaria alpina,* so fällt auf den ersten Blick eine Diskrepanz zwischen drei Zinkwerten von 1 500–2 300 ppm und einem vier-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Tab. 1: Sproßschwermetallgehalte ostalpiner Pflanzen von Bergbaugebieten. Angeführt sind: Pflanzenart, Lokalität, Schwermetallgehalte (Zink, Blei, Kupfer, Kadmium) in ppm (parts per million) Trockensubstanz, Herkunft. Hyperakkumulatoren und die entsprechenden Werte sind fett hervorgehoben. – Shoot heavy metal contents of Eastern Alpine plants from mining areas. The columns show: species, site, heavy metal contents (zinc, lead, copper, cadmium) in parts per million dry weight, source. Hyperaccumulating plants and values are given in bold letters.

PFLANZE		Zn	Pb	Cu	Cd	Zitat
Agrostis stolonifera	Deutschnofen	434	**1100**	19	2	Punz et al. 1994
Alyssum ovirense	Hochobir	2983	**1966**	5	44	Sieghardt & Punz unveröff.
Alyssum wulfenianum	Raibl	1242	111	9	3	Punz unveröff.
Cardamine resedifolia	Ladums	2750	29	22	18	Punz et al. 1994
Cardamine resedifolia	Telfer Weißen	1313	25	2	5	Punz et al. 1994
Cardaminopsis halleri	Schwarzenberg	**15148**	-	-	87	Punz unveröff.
Cardaminopsis halleri	Raibl	**14232**	207	10	11	Punz et al. 1993
Cardaminopsis halleri	Galmeikogel	**14143**	23	-	11	Punz unveröff.
Cardaminopsis halleri	Arera	**12400**	-	-	-	Ernst 1965
Cardaminopsis halleri	Hochobir	6120	19	-	-	Punz 1991
Cardaminopsis halleri	Hochobir	5320	112	12	190	Punz et al. 1993
Cerastium uniflorum	St. Martin	2610	790	47	28	Punz et al. 1995
Cerastium uniflorum	St. Martin - Seemoos	2560	845	26	32	Punz et al. 1990
Dianthus sylvestris	Arnoldstein	2260	41		4	Punz 1988
Epipactis atrorubens	Bleiberg	1370	660	-	-	Sieghardt 1987
Equisetum arvense	Deutschnofen	1924	140	8	2	Punz et al. 1994
Erysimum sylvestre	Bleiberg	5800	**1360**	7	53	Körber-Ulrich unveröff.
Euphrasia salisburgensis	Arera	4240	-	-	-	Ernst 1965
Linaria alpina	St. Martin - Seemoos	**11188**	**1833**	106	113	Punz&Wieshofer 1989
Linaria alpina	St. Martin	2342	284	14	12	Punz et al. 1995
Linaria alpina	St. Martin	1564	176	10	9	Punz et al. 1990
Linaria alpina	Hochobir	2325	**2569**	10	33	Sieghardt & Punz unveröff.
Minuartia gerardii	Bleiberg	5798	814			Sieghardt 1987
Minuartia gerardii	St. Martin	5586	**1963**	127	39	Punz&Wieshofer 1989
Minuartia gerardii	Jauken	5020	-	-	-	Ernst 1965
Minuartia gerardii	St. Martin - Seemoos	3004	724	26	37	Punz et al. 1995
Minuartia gerardii	Arera	2659	-	-	-	Ernst 1965
Minuartia gerardii	Bleiberg	2060	**1295**	6	57	Körber-Ulrich unveröff.
Scrophularia juratensis	Bleiberg	1505	425	-	-	Sieghardt 1987
Silene pusilla	Boden	1067	120	5	8	Punz et al. 1993
Silene rupestris	Cinque valli	1432	27	18	14	Punz&Wieshofer 1989
Silene rupestris	Ridnaun	1311	45	-	9	Punz 1988
Silene vulgaris	Raibl	3701	400	14	2	Sieghardt unveröff.
Silene vulgaris	Jauken	3532	295	25	11	Sieghardt unveröff.
Silene vulgaris	Jauken	4180	-	-	-	Ernst 1965
Silene vulgaris	Arnoldstein	2180	36	-	1	Punz 1988
Silene vulgaris	Terlan	1925	5	-	5	Punz 1988
Silene vulgaris	Hochkönig	34	-	238	-	Körber-Ulrich 1996
Stereocaulon alpinum	St. Martin	771	**5948**	132	12	Punz et al. 1990
Thlaspi caerulescens	Ramingstein	**16147**	47	4	6	Punz & Engenhart 1990
Thlaspi caerulescens	Ramingstein	**10394**	153	10	169	Punz et al. 1994
Thlaspi cepaeifolium	Raibl	**10953**	**1395**	8	25	Sieghardt unveröff.
Thlaspi cepaeifolium	Arnoldstein	7176	350	-	19	Punz 1988
Thlaspi cepaeifolium	Maglern	3775	288	4	10	Sieghardt & Punz unveröff.
Thlaspi minimum	Hochobir	6320	**1171**	24	140	Punz et al. 1994
Thlaspi minimum	Hochobir	2762	105	-	42	Punz 1991
Thlaspi minimum	Hochobir	1800	124	12	45	Punz & Maier 1999
Thlaspi rotundifolium	Tegestal	7538	8	6	8	Punz 1990
Thlaspi rotundifolium	Jauken	6512	589	28	32	Sieghardt unveröff.
Thlaspi rotundifolium	Latatsch	2647	815	15	22	Punz et al. 1994
Viola dubyana	Arera	6480	-	-	-	Ernst 1965

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

ten Wert von rund 11 000 ppm auf, was einen Meßfehler nahelegt. Auch die bereits früher (PUNZ 1998) festgestellte Excluder-Charakteristik von *Linaria alpina* würde für eine solche Interpretation sprechen. Es gibt aber auch noch eine andere Deutungsmöglichkeit, die hier erörtert werden soll: Der Resistenzmechanismus bei *Linaria alpina* ist – in dem Begriffsystem von LEVITT 1972 – zweifellos als Avoidance-Mechanismus aufzufassen: die Pflanze ist imstande, die Schwermetallaufnahme zumindest in die oberirdischen Organe mehr oder weniger zu verhindern. Es findet sich bereits im ursprünglichen Konzept von BAKER (1981) die Vermutung, daß diese Schwermetallexklusion unter bestimmten Umständen versagen, ja „zusammenbrechen" kann; im Beispiel (BAKER 1981: p. 646) bei einer extrem hohen Bodenschwermetallkonzentration. Eine weitere Belastung für die Schwermetallresistenz stellt zweifellos auch die lange Einwirkungsdauer dar: Schon ERNST (1974) spricht vom „Kumulationstyp" der Schwermetalle, welcher primär das Kennzeichen aller Schwermetallpflanzen der Erde sein soll (und welcher früher oder später eine Erschöpfung der Speicherkapazität zur Folge haben muß). Wenn als dritter Streßfaktor für die Pflanzen extreme ökologische Bedingungen wie in unserem Beispiel (alpiner Standort in 2 300 m Höhe) hinzukommen, so erscheint die Interpretation dieses „Ausreißer"-Werts von 11 000 ppm als Zusammenbruch der Ionenexklusion – und den dadurch verursachten unkontrollierten Einfluß von Schwermetallen – plausibel.

Erwähnt seien schließlich noch zwei weitere Pflanzenarten, welche nicht in der Tabelle enthalten sind. Für *Anthyllis vulneraria* vom Standort Raibl gibt RASCIO (1977) einen Zinkgehalt von 3 300 ppm an; der gleiche Autor fand bei *Biscutella laevigata* (ebenfalls aus Raibl) 2 200 ppm im Sproß (4 870 ppm bei WENZEL & JOCKWER 1999).

Wieweit eine streßbedingte Hyperakkumulation auch die zum Teil beträchtlich hohen Gehalte an **Blei** bedingt, ist schwer zu entscheiden. Für *Alyssum ovirense* (Hochobir), *Linaria alpina* (St. Martin, Hochobir) und *Thlaspi minimum* (Hochobir) erscheint dies denkbar. REEVES & BROOKS (1983a, b) rapportieren 8 200 ppm Blei für *Thlaspi cepaeifolium* aus Raibl, RASCIO (1977) immerhin noch 5 500 ppm; für *Thlaspi rotundifolium* geben WENZEL & JOCKWER (1999) 1 930 ppm Blei an. Grundsätzlich ist dazu festzuhalten, daß gemäß der allgemein in der Literatur vertretenen Auffassung (vgl. etwa HOCK & ELSTNER 1988) Blei im Wurzelbereich festgehalten und praktisch nicht in die oberirdischen Organe transportiert wird. Der hohe Bleigehalt von *Stereocaulon* wird dagegen mit Sicherheit auf die bekannte Speicherfähigkeit des Pilzpartners (schon BROWN & SLINGSBY 1972, jünger TYLER 1989) zurückzuführen sein.

Bei **Kupfer** liegen die maximalen Sproßschwermetallgehalte bei 238 ppm; diese wurden bei einer Kupferpopulation von *Silene vulgaris* am Hochkönig gefunden. Die **Cadmium**-Maximalwerte liegen bei 170 ppm (*Thlaspi caerulescens*) bzw. 190 (*Cardaminopsis halleri*); WENZEL & JOCKWER (1999) geben hier als Höchstwert 108 ppm (für *Thlaspi rotundifolium*) an.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Um Mißverständnisse zu vermeiden, sei hier noch festgehalten, daß sowohl Akkumulatoren als auch Exkluder als „echte" Metallophyten sensu ERNST (1990) bezeichnet werden müssen, das heißt, es handelt sich in beiden Fällen um „Pflanzen, welche eine Population auf Standorten mit hoher Schwermetallbelastung aufbauen und aufrechterhalten können".

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen legen angesichts der großen Zahl ostalpiner Lagerstätten die Vermutung nahe, daß mit dem Auffinden weiterer Akkumulator- resp. Hyperakkumulatorpflanzen gerechnet werden kann. Bei Aufsammlung und Analyse ist jedoch große Sorgfalt auf die Reinigungsprozedur zu legen, um Zweifel an den gewonnenen Ergebnissen (vgl. auch die Ausführungen im Kapitel Methoden) zu vermeiden.

Literatur

BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutrition 3, 643-654.

BAKER A. J. M., 1987: Metal tolerance. New Phytol. 106, 93-111.

BAKER A. J. M. & BROOKS R. R., 1989: Terrestrial higher plants which accumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery 1, 81-126.

BAKER A. J. M., PROCTOR J. & REEVES R. D. (Eds.), 1992: The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. Intercept, Andover (Hampshire).

BAKER A. J. M., REEVES R. D. & HAJAR A. S. M., 1994: Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. PRESL (Brassicaceae). New Phytol. 127, 61-68.

BARRY S. A. S. & CLARK S. C., 1978: Problems of interpreting the relationship between the amounts of lead and zinc in plants and soil on metalliferous wastes. New Phytol. 81, 773-783.

BROOKS R. R., DUNN C. E. & HALL G. E. M., 1995: Biological Systems in mineral exploration and processing. Ellis Horwood, Hemel, Hempstead.

BROOKS R. R. (Ed.), 1998: Plants that hyperaccumulate heavy metals. CAB International, Oxon, New York.

BROOKS R. R., LEE J., REEVES R. D. & JAFFRÉ T., 1977: Detection of nickeliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. J. Geochem. Explor. 7, 49-57.

BROWN D. H. & SLINGSBY D. R., 1972: The cellular location of lead and potassium in the lichen *Cladonia rangiformis* (L.) HOFFM. New Phytol. 71, 297-305.

ERNST W., 1965: Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. Abh. Landesmus. Naturkde. Münster (Westf.) 27, 1-54.

ERNST W., 1968: Zur Kenntnis der Soziologie und Ökologie der Schwermetallvegetation Großbritanniens. Ber. Dt. Bot. Ges. 81, 116-124.

ERNST W., 1974: Schwermetallvegetation der Erde. G. Fischer, Stuttgart.

ERNST W. H. O. [= ERNST W.], 1975: Physiology of heavy metal resistance in plants. Proc. Int. Conf. on Heavy Metals in the Environment II, Toronto (Canada), p. 121-136.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

ERNST W. H. O. [= ERNST W.], 1990: Mine vegetation in Europe. In: SHAW A. J. (Ed.), Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects, p. 21-37. CRC Press, Boca Raton.

FISCHER M. A. (Ed.), 1994: Exkursionsflora von Österreich. Ulmer, Stuttgart, Wien.

HOCK B. & ELSTNER E. F., 1988: Schadwirkungen auf Pflanzen. BI Wissenschaftsverlag, Mannheim Wien, Zürich.

KÖRBER-ULRICH S. M., 1996: Physiologische Untersuchungen zur Schwermetallresistenz von Normal- und Kupferpopulationen des Gemeinen Leinkrautes *Silene vulgaris* (MOENCH) GARCKE im österreichischen und norditalienischen Ostalpenraum. Diss. Univ. Wien.

LEVITT J., 1972: Responses of plants to environmental stress. Academic Press, New York.

PUNZ W. (Red.), 1988: Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1987 (MAIER/PUNZ). Protokoll. Typoskript, vervielfältigt.

PUNZ W. (Red.), 1991: Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1990 (MAIER/PUNZ). Protokoll. Mit einem Anhang: Schwermetallstandorte und deren Vegetation im Raum Kärnten. Typoskript, vervielfältigt.

PUNZ W., 1995: Metallophytes in the Eastern Alps. With special emphasis on higher plants growing on calamine and copper localities. Phyton 35, 295-309.

PUNZ W., 1998: Pflanzen auf Schwermetallstandorten. Vorkommen und Anpassungsstrategien von Erzpflanzen im Ostalpenraum. 4. Arbeitstagung Umwelt und Gesundheit (UG'98-G8). Österr. Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, Wien. Tagungsband, p. 249-253.

PUNZ W., 1999: Kartierung von Schwermetallbiotopen im Ostalpenraum. Sauteria 10, 61-76.

PUNZ W. & ENGENHART M., 1990: Zur Vegetation zweier Bergwerkshalden im Bereich der Niederen Tauern. Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Math.-Nat. Kl., Abt. I 198, 1-12.

PUNZ W. & MUCINA L., 1997: Vegetation on anthropogenic metalliferous soils in the Eastern Alps. In: MUCINA L., PIGNATTI S., RODWELL J. S., SCHAMINÉE J. H. J. & CHYTRÝ M. (Eds.), European vegetation survey: case studies, p. 177-189. Special Features in Vegetation Science 14. Opulus Press, Uppsala.

PUNZ W. & MAIER R., 1999: Zur Ökologie der Vegetation auf den Bergbauhalden des Hochobir. In: Der Hochobir. Aus Natur und Geschichte. Naturw. Ver. Kärnten, Klagenfurt, p. 185-190.

PUNZ W. & ORASCHE I. Chr., 1995: Pflanzen auf Schwermetallpflanzen im Ostalpenraum und deren Häufigkeitsverteilung. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 132, 61-80.

PUNZ W. & SIEGHARDT H., 1993: The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. Environ. Exp. Bot. 33, 85-98.

PUNZ W. & WIESHOFER I. (Red.), 1989: Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1988 (MAIER/PUNZ) – Protokoll. Mit einem Beitrag von S. ULRICH. Typoskript, vervielfältigt.

PUNZ W., KOVACS G., MAUTHNER G., SAPELZA W., ULRICH S. M., WIELÄNDER B. & WIESHOFER I., 1990: Zur Ökologie und Ökophysiologie der Vegetation im Bereich des Bergbaugebietes St. Martin am Schneeberg im Passeier. Mit einem Beitrag von S. GINTENREITER & W. VOGEL. Der Schlern 64, 480-515.

PUNZ W., ENGENHART M., KÖRBER-ULRICH S., KOVACS G., PUNZ-GUSCHLBAUER U., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFER I., 1993: Pflanzen auf Schwermetallhalden im Ostalpenraum – Neue Befunde. Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Math.-Nat. Kl., Abt. I 200, 1-16.

PUNZ W., KÖRBER-ULRICH S. M., KOVACS G., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFER I., 1994: Schwermetallstandorte im Mittleren Alpenraum – Neue Befunde. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 131, 1-26.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

PUNZ W., KÖRBER-ULRICH S. M., ENGENHART M., MAUTHNER G., SAPELZA W. P., SIEGHARDT H., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFER I., 1995: Pflanzenökologische Befunde vom Bergbaugebiet Schneeberg/Monteneve im Passeier (Südtirol/I). Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Math.-Nat. Kl., Abt. I 201, 67-81.

RASCIO N., 1977: Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. Oikos 29, 250-253.

REEVES R. D. & BROOKS R. R., 1983a: European species of *Thlaspi* L. (Cruciferae) as indicators of nickel and zinc. J. Geochem. Explor. 18, 275-283.

REEVES R. D. & BROOKS R. R., 1983b: Hyperaccumulation of lead and zinc by tho metallophytes from a mining area in Central Europe. Environ. Poll. 31, 277-287.

ROBERTS B. A. & PROCTOR J., 1982: The ecology of areas with serpentinized rocks. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.

SIEGHARDT H., 1987: Schwermetall- und Nährelementgehalte von Pflanzen und Bodenproben schwermetallhaltiger Halden im Raum Bleiberg in Kärnten (Österreich) I. Krautige Pflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 150, 129-134.

TYLER G., 1989: Uptake, retention and toxicity of heavy metals in lichens. Water Air and Soil Pollution 47, 321-333.

WENZEL W. W. & JOCKWER F., 1999: Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralised soils of the Austrian Alps. Environ. Poll. 104, 145-155.

Manuskript eingelangt: 2001 04 27

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

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Frueher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 138

Autor(en)/Author(s): Punz Wolfgang

Artikel/Article: Schwermetallakkumulierende und -hyperakkumulierende Pflanzen auf Bergbaustandorten im Ostalpenraum 129-136